



CONPAT2021 BRASIL

XVI CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN y
XVIII DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

19, 20 Y 21 DE OCTUBRE DEL 2021



ANNAIS

REALIZAÇÃO



PATROCINADOR DIAMANTE



PATROCINADOR OURO



PATROCINADOR PRATA



INSTITUIÇÕES COLABORADORAS



APOIADORES INSTITUCIONAIS





XVI CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN y
XVIII DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

19, 20 Y 21 DE OCTUBRE DEL 2021

MENSAGEM DA ALCONPAT BRASIL AOS CONGRESSITAS

Em 2019, em Chiapas, México, durante o CONPAT 2019, ficou decidido que o CONPAT 2021 seria realizado em Gramado, Brasil. Como em todas as demais edições, desde 1991, em Córdoba, Argentina, seria presencial. Na ALCONPAT-Brasil a decisão foi muito comemorada, pois seria a segunda vez na história dos CONPATs - (CONGRESOS LATINO-AMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN y CONGRESOS DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN) que o evento seria realizado no Brasil. Além disso, seria a possibilidade de comemorar com todos o Aniversário de 30 anos dos Congressos CONPATs. Naquele momento não imaginávamos que o mundo passaria por transformações tão grandes devido a ação de um terrível vírus.

Em 2020 o planeta foi surpreendido pela Pandemia de COVID-19, o que nos impediu de realizar em 2021 o congresso de forma presencial.

Em meio aos desafios, a comissão organizadora do evento, da ALCONPAT Brasil, em parceria com a ALCONPAT Internacional, migrou o evento para o formato virtual. É a primeira vez nos 30 anos de história dos Congressos CONPATs que o evento é realizado nesta modalidade.

O evento virtual conta com excelentes palestras de renomados profissionais que representam instituições de destaque mundial na produção de ciência e tecnologia em temas de interesse da ALCONPAT Internacional. Também tem uma sessão comemorativa aos 30 anos dos Congressos CONPATs e mais de 12 sessões de apresentações de trabalhos técnicos e científicos, submetidos e avaliados pelo Comitê Científico, além de minicursos, apresentações dos patrocinadores e entrega de prêmios.

As interações e trocas de experiências entre os pesquisadores, profissionais e empresas da América Latina, Portugal e Espanha não experimentarão os prejuízos de uma lacuna técnica e científica! Muito pelo contrário, o CONPAT segue sendo o maior fórum ibero-americano de discussão sobre “Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação da Construção”. Estaremos seguros em nossos lares e conectados à comunidade da ALCONPAT Internacional pelo sistema virtual.

Esperamos que em 2023 o controle da pandemia nos permita um lindo e emocionante encontro presencial.

Desejamos a todos os congressistas um excelente evento.

Comissão Organizadora Nacional



XVI CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y
XVIII DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

19, 20 Y 21 DE OCTUBRE DEL 2021

MENSAJE DE ALCONPAT INTERNACIONAL A LOS CONGRESISTAS

A pesar de las circunstancias que significaron organizar un evento online debido a la pandemia que ha golpeado al planeta entero desde 2019, la solidez del equipo organizador, bajo el estandarte de Alconpat Brasil, ha puesto muy en alto el nombre de CONPAT 2021 y de Alconpat Internacional.

Alconpat Internacional, que trabaja como una Federación, es la franquiciataria de los Congresos CONPAT realizados cada dos años en año impar. Para seleccionar una sede de CONPAT se sigue un proceso riguroso de convocatoria, selección y cumplimiento de parámetros de calidad previamente establecidos. Alconpat Brasil ha cumplido todos los compromisos establecidos con alta calidad. Algunos de ellos son, mas no se limitan, a memorias electrónicas de alto nivel con número DOI e ISBN, utilización de una plataforma profesional para construir las memorias, las presentaciones, las ceremonias, los debates, etc. El Congreso cumplió, a satisfacción de Alconpat Internacional, con las expectativas de conferencistas invitados de renombre mundial y con ser un escaparate de nivel mundial para nuestra querida asociación.

Alconpat Internacional celebró en 2021 los 30 años de la institución y de los congresos CONPAT en este magno evento. Se hicieron una serie de actividades durante 2021, todas virtuales, para celebrar estos acontecimientos, así como los 10 años de la Revista Alconpat. Entre ellos cuentan la creación de los Webinars de Puentes con la Sociedad, el Boletín Técnico, las Recomendaciones Técnicas, el Boletín de Noticias, los Cursos de formación continua, etc. Todas estas actividades han tenido un cierre a la altura de las expectativas con el Congreso CONPAT.

La Junta Directiva Internacional, con la voz del Consejo Superior, el Consejo Científico, el Consejo Consultivo la Dirección General y la Sede de Alconpat Internacional desea agradecer a Alconpat Brasil haberse puesto la camiseta de lujo de nuestra Alconpat Internacional, y organizar uno de los mejores eventos mundiales. Enhorabuena y muchas felicidades.

*Junta Directiva Internacional
Alconpat Internacional
Mérida, Yucatán, México*



XVI CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN y
XVIII DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

19, 20 Y 21 DE OCTUBRE DEL 2021

MENSAJE DE ALCONPAT BRASIL A LOS CONGRESISTAS

En 2019, en Chiapas, México, durante CONPAT 2019, se ha decidido que CONPAT 2021 se celebraría en Gramado, Brasil. Como en todas las demás ediciones, desde 1991, en Córdoba, Argentina, sería presencial. En ALCONPAT Brasil la decisión ha sido muy celebrada, ya que sería la segunda vez en la historia de CONPATs (CONGRESOS LATINO-AMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN y CONGRESOS DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN) que el evento se celebraría en Brasil. Además, sería la posibilidad de celebrar con todos el 30 Aniversario de los Congresos CONPATs. En ese momento no imaginábamos que el mundo sufriría transformaciones tan grandes debido a la acción de un virus terrible.

En 2020 el planeta ha sido sorprendido por la Pandemia del COVID-19, que nos impidió celebrar el Congreso CONPAT 2021 de forma presencial.

En medio de los desafíos, el comité organizador del evento, de ALCONPAT Brasil, en asociación con ALCONPAT Internacional, migró el evento al formato virtual. Es la primera vez en los 30 años de historia de los Congresos de CONPATs que el evento se realiza en esta modalidad.

El evento virtual cuenta con excelentes conferencias a cargo de reconocidos profesionales que representan a instituciones líderes mundiales en la producción de ciencia y tecnología en temas de interés para ALCONPAT Internacional. También cuenta con una sesión conmemorativa del 30 Aniversario de Congresos CONPATs y más de 12 sesiones de presentaciones de trabajos técnicos y científicos, presentados y evaluados por el Comité Científico, además de cursos cortos, presentaciones de patrocinadores y premios.

¡Las interacciones e intercambios de experiencias entre investigadores, profesionales y empresas de América Latina, Portugal y España no experimentarán el daño de un vacío técnico y científico! Por el contrario, CONPAT sigue siendo el mayor foro Iberoamericano de debate sobre “Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción”. Estaremos seguros en nuestros hogares y conectados a la comunidad internacional de ALCONPAT a través del sistema virtual.

Esperamos que en 2023 el control de la pandemia nos permita un hermoso y emocionante encuentro presencial.

Deseamos a todos los congresistas un excelente evento.

Comité Organizador Nacional

Comités

ORGANIZACIÓN

COMITÉ ORGANIZADOR NACIONAL

Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo (UFG)
Presidente CONPAT 2021

Prof. Dra. Edna Possan (UNILA)
Presidente Comité Científico CONPAT 2021

Prof. MSc. Cesar Henrique Sato Daher (IDD)
Presidente ALCONPAT BRAZIL

Prof. Dr. Roberto Christ (UNISINOS)
Vice Presidente ALCONPAT BRAZIL

Dr. Alexandre Lorenzi (UFRGS)
Secretário Executivo ALCONPAT BRAZIL

Prof. Dr. Vinicius de Kayser Ortolan (FEEVALE)
Secretário Executivo ALCONPAT BRAZIL

Prof. Dr. João Luiz Calmon Nogueira Da Gama (UFES)
Diretor Técnico ALCONPAT BRAZIL

Eng. Michel Haddad
Diretor de Normatização ALCONPAT BRAZIL

Prof. Dra. Fernanda Pacheco (UNISINOS)
Diretora Administrativa ALCONPAT BRAZIL

Dra. Camila Simonetti (UFRGS)
Diretora de Eventos ALCONPAT BRAZIL

Prof. MSc. Luis César Siqueira de Luca (IDD)
Delegado Nacional ALCONPAT BRAZIL

Prof. MsC. Emerson Felipe Felix
USP - Brasil

Eng. Raquel Pedroso Dias
UNILA - Brasil

COMITÉ ORGANIZADOR INTERNACIONAL

Prof. Dra. Carmen Andrade Perdrix
*Presidente
ALCONPAT INTERNACIONAL*

Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo (UFG)
*Vice Presidente Técnico
CONPAT INTERNACIONAL*

Ing. Luis Álvarez Valencia (ICCG)
*Vice Presidente Administrativo
ALCONPAT INTERNACIONAL*

Angélica Ayala Piola
*Presidente de Honra
ALCONPAT INTERNACIONAL*

Prof. Dr. Pedro Castro Borges
*Diretor General
ALCONPAT INTERNACIONAL*

Prof. Dr. Paulo do Largo Helene
*Gestor
ALCONPAT INTERNACIONAL*

COMISIÓN DE HONOR (Presidentes de CONPAT/Sede)

Dante Domene
Córdoba, Argentina (1991)
Liana Arrieta de Bustillos
Barquisimeto, Venezuela (1993)

Vitervo O'Reilly
La Habana, Cuba (1995)

Dario Klein
Porto Alegre, Brasil (1997)

Ana Inés de la Fuente
Montevideo, Uruguay (1999)

Máximo Corominas
Santo Domingo, República Dominicana (2001)

Pedro Castro Borges
Telchac, México (2003)

Angélica Ayala
Asunción, Paraguay (2005)

Rody Cabezas
Quito, Ecuador (2007)

Patricia Martínez
Valparaiso, Chile (2009)

Francisco Ruiz
La Antigua, Guatemala (2011)
Sergio Espejo
Cartagena de Indias, Colombia (2013)

Fernando Branco
Lisboa, Portugal (2015)

Margita Kliewer
Asunción, Paraguay (2017)

Francisco Alonso Farrera
Chiapas, Mexico (2019)

COORDINADORES DE EJES

PRESIDENTE COMITÉ CIENTÍFICO

Dra Edna Possan | UNILA - Brasil

PRESIDENTE DEL CONPAT 2021

Dr. Enio José Pazini Figueiredo | UFG - Brasil

EDITORES DE LAS MEMÓRIAS

Dra Edna Possan | UNILA - Brasil
Dra Camila Simonetti | UFRGS, Brasil
Dr. Alexandre Lorenzi | UFRGS - Brasil
Dr. Enio José Pazini Figueiredo | UFG - Brasil
MSc. Cesar Henrique Sato Daher | IDD - Brasil

COORDINADORES DE EJES TEMÁTICOS

Control de calidad de las construcciones

Dr. Yury Andrés Villagrán Zaccardi (Argentina)
Dra. Camila Simonetti (UFRGS, Brasil)

Patología de las construcciones

Dra. Edna Possan (UNILA, Brasil)
Dr. Arthur Medeiros (UFPR, Brasil)

Recuperación de las construcciones

Dra. Ana Carolina Parapinski dos santos (UNILA, Brasil)

REVISORES

COMISIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL

Abel Castañeda Valdés <i>Cuba</i>	Jordi Payá <i>Espanha</i>	Margita Kliewer <i>Paraguai</i>	Oscar Alfredo Cabrera <i>Argentina</i>
Andrés Antonio Torres Acosta <i>México</i>	José Angel Cabral <i>México</i>	María Josefina Positieri <i>Argentina</i>	Pedro Castro Borges <i>México</i>
Fernando Branco <i>Portugal</i>	José Antonio Tenorio <i>Espanha</i>	María Inés Schierloh <i>Uruguai</i>	Pedro Garcés Terradillos <i>Espana</i>
Filippo Ubertini <i>Italia</i>	Jose Ivan Escalante Garcia <i>México</i>	Miguel Angel Baltazar Zamora <i>México</i>	Raúl Husni <i>Argentina</i>
Francisco Alberto Alonso Farrera <i>México</i>	José Manuel Mendoza Range <i>México</i>	Miguel Ángel Climent Llorca <i>Espanha</i>	Ravindra Gettu <i>India</i>
Gerardo Fajardo San Miguel <i>México</i>	Manuel Fernández Cánovas <i>Espana</i>	Noemi Graciela Maldonado <i>Argentina</i>	Susan Andrea Bernal Lopez <i>Inglaterra</i>
Ivan Escalante García <i>México</i>	Manuel Jesús Carretero Ayuso <i>Espanha</i>	Oladis Troconis de Rincón <i>Venezuela</i>	Yury Villagrán-Zaccardi <i>Argentina</i>

COMISIÓN CIENTÍFICA NACIONAL

Aldo Giuntini de Magalhães Aldo Giuntini Alexandre Lorenzi Aline Bensi	Eduardo Rigo Emerson Felipe Felix Étore Funchal de Faria	Laísa Do Rosário Souza Carneiro Leila Cristina Meneghetti Valverdes Leonardo Covatti de Oliveira	Pietra Borges Raduan Krause Lopes Rafaela Goulart Gomes Oliveira
Ana Cristian Alves de Magalhães Andressa Gobbi	Fernanda Bianchi Pereira da Costa Fernanda Pacheco	Lidiane Fernanda Jochem Lucas Onghero	Raquel Pedrosa Dias Renner De Assis Garcia Sobrinho
Andriele Nascimento Souza	Fernando Antonio da Silva Fernandes	Luciani Somensi Lorenzi	Ricardo Luis Deboni
Andrielli Morais de Oliveira Andrielli Ariela Silva Torres Arthur Medeiros Camila Simonetti	Filipe Augusto Alves da Costa Giovanna P. Gava Oymada Gláucia Maria Dalfré Gustavo Savaris	Luiza Gabinazzi Pacheco Delonghi Maria Vânia Nogueira Nascimento Peres	Roberto Christ Ruan Carlos de Araújo Moura Tamara Baggio
César Winter de Mello	Hinoel Zamis Ehrenbring	Mariana Posterli Monica Garcez Morgane Bigolin Nayara Klein	Tatiane Isabel Hentges Tiago Canavarro Cavalcante
Cézar Augusto Casagrande Dayna R.B. Oliveira	Humberto Bolognini	Nicole Hasparyk Noe Villegas Flores	Tito José Rodrigues Balabuch Uziel C. de M. Quinino
Diego Henrique Almeida Edna Possan Eduardo Damin Eduardo Polesello	Jacinto Manuel Antunes de Almeida Jairo José de Oliveira Andrade João Luiz Calmon Nogueira Joaquin Humberto Aquino Rocha	Paula Manica Lazzari Paulo Helene Paulo Ricardo de Matos	Vanessa Fatima Pasa Dutra Vinicius Kayser Ortolan Vitória Silveira da Costa
	Kathleen Dall Bello de Souza Risson		

Sumário

CONTROL DE CALIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES

INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN FRIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE CILINDROS DE MORTERO Y CILINDROS DE TIERRA COMPRIMIDA (CTC) <i>H. Cañola, G. Barreto, F. Granda-Ramírez, A. Urrego</i>	2
ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DOS SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAL CONFECCIONADOS COM ALVENARIA DE ROCHAS <i>Helena Rodrigues Leite, Roberto Christ, Fernanda Pacheco, Hinoel Zamis Ehrenbring, Maria Fernanda de Oliveira</i>	15
COMPARACIÓN DE LA PENETRACIÓN DE IONES CLORURO EN LOS PILOTES DE HORMIGÓN ARMADO DE LA TERMINAL DE CRUCEROS EN LA BAHÍA DE LA HABANA, CUBA <i>A. Castañeda, C. Valdés, J. Viña, U. Verdecia, F. Corvo, R. Marrero</i>	30
ANÁLISE DE CUSTOS GERADOS PELA ASSISTÊNCIA TÉCNICA EM EDIFÍCIOS CLASSE A <i>F. F. Gaedke, A. Lorenzi, L.S. Lorenzi</i>	44
DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES: ESTUDO COMPARATIVO DAS NORMAS DO BRASIL (NBR 15575 COM EMENDAS 2021 E NBR 15220) E DO REINO UNIDO (BUILDING REGULATIONS - PART L) <i>T. C. C. Kingscott, L. M. Martins, V. F. Mendes, L. Caetano, J. C. Mendes</i>	59
ESTUDO DE CASO DAS PATOLOGIAS DE UM RESERVATÓRIO POR MEIO DO USO DE VANT <i>V. N. V. Tinoco, R. T. V. Fernandes, J. M. M. Gurgel, B. D. A. da Silveira, A. M. de Sousa Junior</i>	70
ASPECTOS DE NORMATIZAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE HABITAÇÕES: MAPEAMENTO SISTEMATIZADO DA LITERATURA (MSL) <i>J. M. Ribeiro, A. A. P. Silva, M. T. M. Carvalho</i>	80
TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE POROSIDADE PARA O CONTROLE DE MISTURAS DE CONCRETO PERMEÁVEL <i>R. J. Mikami, E. Pereira</i>	92
ANÁLISE DAS SOLICITAÇÕES DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA - ESTUDO DE CASO PARA EDIFICAÇÕES EM RESIDENCIAIS MULTIFAMILIARES <i>P. P. B. Pires, F. Pacheco, C. Simonetti, H. Z. Ehrenbring, R. Christ</i>	107
ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DE ITENS APONTADOS EM UMA INSPEÇÃO PREDIAL REALIZADA EM EMPREENDIMENTO EM FASE DE USO - ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO MISTO DE GRANDE PORTE <i>Janine Pedroso, Fernanda Pacheco, Camila Simonetti</i>	119

MODELO PARA ESPECIFICAR, EJECUTAR Y CONTROLAR LA IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTAS PLANAS EN CONCRETO REFORZADO CONSTRUIDAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. <i>C. Chinome, C. Rios-Fresneda</i>	133
NOVO MÉTODO DE ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NO DESEMPENHO TÉRMICO TOTAL <i>V. F. Mendes, W. Fardin, R. R. Barreto, L. M. Martins, L. F. Caetano, J. C. Mendes</i>	150
ANÁLISE ESTÁTICA DA SUPERESTRUTURA DA PONTE DO PEIXE GORDO, TABULEIRO DO NORTE, CEARÁ. <i>J. Beserra Filho, E. Mesquita</i>	163
ANÁLISE DINÂMICA DA SUPERESTRUTURA DE UMA PONTE: ALVO DE ATAQUES CRIMINOSOS EM 2019, EM TABULEIRO DO NORTE, CEARÁ <i>J. Beserra Filho, E. Mesquita</i>	173
RETRAÇÃO POR SECAGEM, PROPRIEDADES MECÂNICAS, CUSTOS E EMISSÕES EM MATERIAIS DE REPARO A BASE DE CIMENTO <i>R. Oliveira, C. Rampanelli, G. Pedry, E. Possan, R. Rizzi</i>	182
ANÁLISE DA AUTORREGENERAÇÃO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS ATRAVÉS DE DIFERENTES MÉTODOS DE INSERÇÃO DE SOLUÇÕES QUÍMICAS E BACTERIANAS. <i>A. Loeff, F. Pacheco, V. Müller, H. Z. Ehrenbring, R. Christ, R. C. E. Modolo, B. F. Tutikian</i>	197
ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM ESTRUTURAS DE CROSS LAMINATED TIMBER E CONCRETO <i>J. M. S. Siqueira, Nilson T. Mascia, R. Vilela</i>	212
ANÁLISE DA VIDA ÚTIL A PARTIR DE ENSAIOS DE CARBONATAÇÃO EM POSTES DE CONCRETO <i>L. A. Reginato, A. Lorenzi, L. S. Lorenzi, L. F. Caetano, L. C. P. Silva Filho</i>	227
CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND – ESTUDO DE CASO <i>Cristiane Carine dos Santos, Marina Munaretto Copetti, Tássia Fanton</i>	239
INFLUÊNCIA DO FATOR DE FORMA DO AGREGADO GRAÚDO NO DESEMPENHO MECÂNICO E HIDRÁULICO DO CONCRETO PERMEÁVEL <i>G. D. Brazeiro, F. C. de Campos, T. F. Dutra, P. N. Hartmann, F. B. Pereira da Costa</i>	251
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL EM CONCRETOS ADITIVADOS COM PET (POLITEREFTALADO DE ETILENO) EM SUBSTITUIÇÃO AOS AGREGADOS <i>A. F. R. Cruz, C. R. Alves, D. B. Silva, L. N. Benedito</i>	263
AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO AO SUBSTITUIR FRAÇÕES DO AGREGADO MIÚDO POR BORRACHA DE PNEU <i>M. R. Caetano, K. A. da Cruz, N. S. Aguiar, O. G. Teixeira</i>	278
ENSAIOS DINÂMICOS NÃO DESTRUTIVOS EM ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA – PIT (PILE INTEGRITY TEST): ESTUDO DE CASO DE OBRA EM CANOAS/RS <i>J. Sebben, H. Z. Ehrenbring, F. Pacheco, R. Christ, C. Simonetti</i>	287
EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DEL PILE INTEGRITY TESTER EN EL CONTROL DE LA INTEGRIDAD DE PILOTES HORMIGONADOS EN EL LUGAR (IN SITU) PERTENECIENTES A LA CIMENTACIÓN DEL PROYECTO TP-SECTOR OASIS, VARADERO <i>H. Rodríguez, C. M. Aguilar</i>	302
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE CURA NA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM O TEMPO <i>C. S. de Faria, J. V. F. Altoé, C. L. Pereira, G. S. Verissimo, M. C. Petruski</i>	316
ANÁLISE DE NÃO CONFORMIDADES EM EDIFÍCIOS NOVOS <i>V. S. A. Pasin, A. Lorenzi, L. S. Lorenzi</i>	331
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE ALUMINATO DE ESTRÔNCIO EM MICROCONCRETOS <i>Ítalo Ribeiro Gonçalves Lima, Yuri Sotero Bomfim Fraga</i>	347

ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO <i>A. Costa, C. Santos, L. Marques, M. Rocha, R. Oliveira, W. Li, A. Santos</i>	356
ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN POR MEDIO DEL ENSAYO DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO (VPU) <i>N. G. Cayo-Chileno, C. Moran-Velásquez, J. H. A. Rocha</i>	371
APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA A LA TECNOLOGÍA DE LOS “DIGITAL TWINS” EN ESTRUCTURAS. <i>S. Villalba, V. Alegre, V. Ródenas</i>	383
EMPLEO DE AGUA PROVENIENTE DEL LAVADO DE CAMIONES MIXERS EN LA PRODUCCIÓN DE HORMIGONES SUSTENTABLES: EVALUACIÓN DE LA TRABAJABILIDAD Y RESISTENCIA <i>C. G. Caballero, A. J. Palacio, A. Alzogaray, F. A. Avid, J. D. Sota</i>	398
ADECUACIÓN DE UN MÉTODO DE CURADO ACELERADO PARA HORMIGONES ELABORADOS CON CEMENTOS PORTLAND CPC40 Y ÁRIDOS DE LA ZONA DE CONCEPCIÓN DEL URUGUAY <i>M. I. Schierloh, V. C. Rougier, J. D. Sota</i>	411
ACTIVADORES ALTERNATIVOS PARA CEMENTOS DE ACTIVACIÓN ALCALINA. <i>J. Payá, J. Monzó, M. V. Borrachero, L. Soriano, M. M. Tashima</i>	427
PRODUCCIÓN DE HORMIGONES VERDES CON LA ADICIÓN DE CEMENT – KILN – DUST (CKD) <i>R. Hernández-Saturno</i>	442
UNA COMPARATIVA NORMATIVA – EXPERIMENTAL SOBRE EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS SOMETIDO A ESFUERZO DE CORTE DIRECTO <i>A. Picazo, M. G. Alberti, A. Enfedaque, J. C. Gálvez</i>	454
CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETOS COM BAIXO CONSUMO DE CIMENTO PORTLAND <i>T. G. Cândido, G. R. Meira, M. Quattrone, D. E. Angulo, V. M. John</i>	466
ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS DE DOSAGENS PARA MODELOS DE PREVISÃO E ESTIMATIVAS DE RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS <i>D. Targino, I. Sousa, I. Freitas, A. Dantas, L. Babadopulos</i>	481
EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DEL SOTERRAMIENTO DE LA CARRETERA M-30 Y LA CREACIÓN DE MADRID RÍO EN MADRID, ESPAÑA <i>A. P. Pérez-Fortes, L. López-de Abajo, M. G. Alberti, J. C. Gálvez</i>	496

PATOLOGÍA DE LAS CONSTRUCCIONES

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM MARQUISES: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO CENTRAL DE PALMEIRA DOS ÍNDIOS – AL <i>E. Lopes de Sousa, I. Maria Porfirio da Rocha, M. Mariano Alencar Filho, J. Felipe Barbosa Baía, R. Calheiros Soares</i>	508
ESTUDO SOBRE A SUBSTITUIÇÃO DE ARMADURA DE AÇO POR BARRAS DE GFRP EM VIGAS DE CONCRETO ARMADAS À FLEXÃO. <i>A. Mazzù, G. Dalfré, F. Ferreira</i>	521
PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CONCRETO EM CÂMARA DE NÉVOA SALINA – ANÁLISE DO EFEITO DA CLASSE DE RESISTÊNCIA E DO TIPO DE REVESTIMENTO. <i>N. Brugnera, F. Pacheco, R. Christ, H. Z. Ehrenring</i>	531
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS NOS CENTROS URBANOS <i>A. R. S. Oliveira, M. A. Salomão, R. C. Santos, M. T. G. Barbosa</i>	542
AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EXPOSTAS EM AMBIENTES INDUSTRIAIS DO POLO PETROQUÍMICO DE TRIUNFO/RS – ESTUDO DE CASO. <i>F. Coutinho, F. Pacheco, G. Bolezina, G. C. Menegussi, R. Christ, H. Z. Ehrenbring, B. F. Tutikian</i>	555

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE CONCRETOS COM DIFERENTES MÉTODOS DE INSERÇÃO DE SILICATO DE SÓDIO NEUTRO PARA AUTOCICATRIZAÇÃO <i>F. P. de Souza, F. Pacheco, R. P. de Souza, H. Z. Ehrenbring, R. C. E. Modolo, B. F. Tutikian</i>	570
AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA, FUNCIONALIDADE E QUALIDADE DAS PARADAS DE ÔNIBUS LOCALIZADAS NA CIDADE DE JUIZ DE FORA <i>M. Salomão, A. R. S. Oliveira, R. C. Santos M. T. Barbosa</i>	585
PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO PARA RESTAURO E REPARO EM ESQUADRIAS DE MADEIRA DE PATRIMÔNIO HISTÓRICO <i>J. T. Ferreira, M. T. Barbosa</i>	598
SISTEMAS HIDRÁULICOS: PROCEDIMENTOS SUSTENTÁVEIS APLICÁVEIS À MANUTENÇÃO DOS EDIFÍCIOS <i>Rita de Cássia Teixeira Assis, Maria Teresa Gomes Barbosa</i>	609
INSPEÇÃO PREDIAL EM EDIFICAÇÕES DE CAPÃO DA CANOA – ELABORAÇÃO DE LAUDO TÉCNICO DE INSPEÇÃO PREDIAL (LTIP) <i>D. S. Pinto, G. C. Menegussi</i>	622
EVOLUÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES APÓS VINTE ANOS DE EXPOSIÇÃO <i>Milton Paulino Costa Junior, Lucas Friedrich Behrend, Geilma Lima Vieira</i>	637
LEVANTAMENTO DO QUADRO PATOLÓGICO DO COMPLEXO DO GINÁSIO POLIESPORTIVO ISMAELINO MOREIRA PONTES NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ/PA. <i>Jehmye da Silva Damasceno Santos, Jefferson Taveiro Cruz Santos, Janiele Moreira Roland, Jéssyca Carolinne Santos Lacorte, Dinilza Melo Cohen Ribeiro</i>	653
ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM VIADUTO: ESTUDO DE CASO EM BARRETOS-SP. <i>G. H. V. Gonçalves, L. B. G. da Rocha, J. da C. Marques Neto, S. M. B. Serra</i>	668
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS NO MUNICÍPIO DE VIRADOURO - SP. <i>G. H. V. Gonçalves, L. B. G. da Rocha, J. da C. Marques Neto, S. M. B. Serra</i>	680
AVALIAÇÃO DA SATISFAÇÃO DO USUÁRIO QUANTO AO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE CONJUNTOS HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL DO PAR: ESTUDO DE CASO <i>T. M. Brandelli, V. S. Costa, C. M. Paliga, A. S. Torres</i>	692
IMPERMEABILIZAÇÃO DE CONCRETOS COM SÍLICA ATIVA VISANDO A SUSTENTABILIDADE PARA AS OBRAS <i>G. Terci, J. M. Carelli, M. Foiato</i>	707
LEVANTAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UM SISTEMA ESTRUTURAL METÁLICO: ESTUDO DE CASO DE UMA BENFEITORIA MILITAR NA CIDADE DE SANTIAGO/RS <i>T. Fanton, J. Hardt, E. Saragozo, R. C. A. de Lima, O. R. S. Almeida, E. D. Balbi</i>	719
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES EN LA ESTRUCTURA DEL TEATRO CAMPOAMOR DE LA HABANA <i>A. H. Oroza, A. Romeo Saéz, P. Braña Nuez, R. Castello Bello</i>	732
MAPEAMENTO E ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: ESTUDO DE CASO ESTÁDIO ROSENÃO EM PARAUAPEBAS – PA. <i>A. L. S. Pinto, A. C. Costa, L. N. P. Cordeiro, A. A. Palma e Silva, J. M. Ribeiro</i>	744
VIABILIDADE DA RECUPERAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA VENDA NO MUNICÍPIO DE BOA VENTURA DE SÃO ROQUE - PR <i>A. S. de Souza, B. P. Dala Costa, A. Frare</i>	759
ESTUDO DE CASO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA EDIFICAÇÃO DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO EM CANDÓI-PR <i>B. de F. Martins, C. R. Eberle, B. P. Dala Costa, A. Frare</i>	771
ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE FRANCISCO BELTRÃO - PR <i>T. V. de Toledo, C. R. Eberle, B. P. Dala Costa, A. Frare</i>	782

IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO EN EDIFICIOS ESCOLARES SISMORRESISTENTES EN ZONA DE LICUACIÓN DURANTE LA PANDEMIA. <i>N. Maldonado, I. Maldonado, A. Cueto, P. Martín, D. Buss.</i>	794
DESEMPEÑO EN AMBIENTE NATURAL DE HORMIGONES DISEÑADOS PARA RESISTIR CARBONATACIÓN <i>C. Pico-Cortés, C. Zega, Y. Villagrán-Zaccardi</i>	804
ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS DE PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO <i>F. M. Padilha, L. R. S. Carneiro, J. C. Santos, F. S. J. Poggiali</i>	818
PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS FROM THE PRESENCE OF MOISTURE IN BUILDINGS: MAINTENANCE PROPOSAL <i>Rita de Cássia Teixeira Assis, Julie Catherine Siqueira Santana, Kariny Ferreira Moreira, Richard de Paula Silva</i>	833
DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL – ESTUDO DE CASO <i>C. A. Monteiro Penha Júnior</i>	846
DEGRADATION OF MORTAR RENDER FAÇADES: CASE STUDY IN RESIDENTIAL BUILDINGS <i>R. Dias, D. Benjamin, N. Tsutsumoto, J. Martins, C. Fioriti</i>	859
MARCO DO CENTENÁRIO: DEGRADAÇÃO, CONSERVAÇÃO E RESTAURO DE UM PAINEL MODERNISTA EM MOSAICO <i>F. Costa, M. T. Barbosa</i>	874
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS CAUSADAS POR ERROS EM CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS ALTOS: UM ESTUDO DE CASO <i>D. V. C. Teles, D. M. Santos, R. N. Cunha, C. S. Vieira, D. L. N. F. Amorim</i>	886
APLICAÇÃO DA TEORIA DO DANO CONCENTRADO COMO FERRAMENTA DE DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS: ESTUDO DE CASO DE VARANDA COLAPSADA <i>R. N. Cunha, D. V. C. Teles, D. M. Santos, C. S. Vieira, D. L. N. F. Amorim</i>	899
A INSPEÇÃO PREDIAL NO APOIO AS AÇÕES JUDICIAIS: ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM RECIFE/PE. <i>N. C. M S da Silva, R. G. D. Freire</i>	910
ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM OBRAS PÚBLICAS EDIFICADAS EM ESTRUTURAS DE AÇO, APLICANDO TECNOLOGIA BIM COMO PROPOSTA DE REPARAÇÃO. <i>L. P. Teixeira, R. A. Ribas</i>	923
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE PATOLOGÍAS DEBIDAS A CORROSIÓN EN UNA PLANTA INDUSTRIAL. <i>L. Montani, H. A. Donza, O. A. Cabrera</i>	938
SIGOA-DF: PLATAFORMA PARA INSPEÇÃO E GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS NO DISTRITO FEDERAL UTILIZANDO A METODOLOGIA DO GDE/UNB <i>G. Berbert-Born, A. Nascimento Filho, J. G. Monteiro, M. E. Pereira, M. H. Oliveira, C. Saraiva</i>	952
MATRIZ DE CRITICIDADE EM ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO PRÉ-FABRICADOS <i>H. D. Alves, C. E. L. Melo</i>	967
AUTOCONSTRUÇÃO: ESTUDOS DE CASO SOBRE OS RISCOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA O AUTOCONSTRUTOR <i>L. S. Silva, C. R. Medeiros, K. R. Batista</i>	979
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ORIUNDAS DA FALTA DE ESTANQUEIDADE EM PAVILHÃO DE LABORATÓRIOS DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO PÚBLICA <i>L. Cardoso Gabriel, W. da Silva Pereira, A. Cruz Passuello</i>	991
CORROSÃO EM RESERVATÓRIO DE CONCRETO ARMADO EM FASE DE OBRA, ESTUDO DE CASO: POTENCIAL DE CORROSÃO, FRENTE DE CARBONATAÇÃO E PREVISÃO DE VIDA ÚTIL <i>G. Modesti, C. C. Albert, L. A. Modesti</i>	1005

INSPEÇÃO PREDIAL EM EDIFÍCIO HISTÓRICO – ESTUDO DE CASO DA CAPELA DE LEITÃO DA CUNHA NO MUNICÍPIO TRAJANO DE MORAES – RJ <i>A. C. G. Lessa, R. G. Faisca, P. F. P. C. Fazzioni, C. S. T. Carmo, N. A. Bernardino</i>	1022
ESTUDO DE CASO: DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO. <i>C. M. Quintão, C. S. P. Rodrigues, F. K. Cardoso, M. C. R. Castro, S. V. Pompilho, D. C. S. Garcia</i>	1032
INFLUÊNCIA DE ESPAÇADORES NA CORROSÃO DE ARMADURAS EM CONCRETOS INDUZIDOS POR CARBONATAÇÃO <i>P. H. R. J. Marques, R. B. V. Andrada, E. C. B. Monteiro, W. W. Silva</i>	1047
PATOLOGÍA Y DAÑOS DEL LENGUAJE TÉCNICO. <i>V. Alegre</i>	1062
DEF INDUCTION IN THE LABORATORY AND EFFECT OF SILICA FUME ON THE EXPANSIONS OF MORTARS <i>S. Oliveira, A. M. Oliveira, N. P. Hasparyk</i>	1077
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE TRAÇÃO SIMPLES E DE CISLHAMENTO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO MECÂNICO DE UM COMPOSTO POLIMÉRICO DE DISPERSÃO AQUOSA PARA ASSENTAMENTO DE PISOS E REVESTIMENTOS DE PAREDES <i>J. Daudt, F. Gossler, S. Medeiros, P. Curti, F. Fagundes</i>	1088
CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PASTAS E ARGAMASSAS DE CIMENTOS PORTLAND DURANTE O PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO ACELERADA <i>P. G. Goulart, R. P. Dias, A. C. P. dos Santos</i>	1103
AVALIAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA DA PONTE LOCALIZADA NO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA NO RS <i>G. D. Brackmann, C. de Vargas, E. M. de Carli, G. F. dos Santos, R. C. A. de Lima, A. S. de Vargas</i>	1118
CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM MARQUISES NA CIDADE DE GURUPI-TO <i>F. Fernandes, T. Rodrigues, T. Melo, D. Freitas</i>	1130
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA (GDE/UNB) EM UM VIADUTO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA/RS <i>C. de Vargas, G. D. Brackmann, G. F. dos Santos, E. M. de Carli, A. S. de Vargas, R. C. A. de Lima</i>	1145
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UNB (2015) DE INSPEÇÃO EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE QUATRO PAVIMENTOS. <i>Guilherme Teixeira, Leonidas Filho, Fábio Leonel, Juliano Silva</i>	1158
PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UM EDIFÍCIO EM ANÁPOLIS-GO <i>G. Teixeira Filho, L. Dias Filho, F. Leonel, J. Silva, E. Alves</i>	1170
ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA <i>D. Muniz, A. Silva, F. Leite, I. Prazeres, J. Souza, E. Monteiro, A. Lordsleem Jr</i>	1181
VERIFICAÇÃO DO EMPREGO DE ENDURECEDORES DE SUPERFÍCIE COMO ALTERNATIVA PARA RECUPERAÇÃO DE FACHADA COM SUPERFÍCIE PULVERULENTA <i>Francisco Gabriel Santos Silva, Marcus Mendes, Vinícius Almeida Coelho, A. R. A. Omoro</i>	1196
PRINCIPIAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS EM EDIFÍCIOS DE PAREDES DE CONCRETO NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA <i>Carlos Henrique Azeredo, Marcus Mendes, Matilde Melo, Wesley Menezes</i>	1207
ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO <i>F. Pasqualotti, V. S. Costa, M. Aurich, A. S. Torres</i>	1219
ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADA DE EDIFICAÇÃO LITORANEA: ESTUDO DE CASO EM SALVADOR/BA <i>A. R. A. Omoro, V. A. Coelho, M. V. A. S. Mendes, F. G. S. Silva</i>	1230

RECUPERAÇÃO DE FACHADAS COM REVESTIMENTO PÉTREO ASSENTADO SOBRE ARGAMASSA COM ARGILOMINERAL – ESTUDO DE CASO EM SALVADOR-BA <i>V. A. Coelho, M. V. A. S. Mendes, A. R. A. Omoro, F. G. S. Silva</i>	1245
AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE EDIFÍCIO COM MAIS DE 20 ANOS DE IDADE <i>P. Welltten Camargos</i>	1254
USO DE DRONES NA ÁREA DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES: ANDAMENTO DA PESQUISA NO BRASIL <i>B. Rosa, V. Gonçalves, J. Luz, W. Pereira A. Passuello</i>	1269
ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS PROVENIENTES DA UMIDADE ATRAVÉS DE ESTUDO DE CASO EM BOA VISTA DO BURICÁ/RS <i>D. A. Hanauer, A. P. Maran, M. F. F. Menna Barreto, M. M. Copetti, J. E. Wille</i>	1284
AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EXPOSTAS A DEJETOS SUÍNOS UTILIZANDO ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E SEMIDESTRUTIVOS <i>C. L. Balbinot, J. S. Jacob, T. I. Hentges</i>	1297
VIDA ÚTIL EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO DE INTERESSE HISTÓRICO-CULTURAL NA REGIÃO DA SERRA GAÚCHA <i>J. Daudt, G. Prager, Y. Petereit, C. Silva, B. Tutikian</i>	1312
AVALIAÇÃO DE FISSURAS EM EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR <i>G. Ferreira, V. Santana, D. Garcia, J. Mendes</i>	1325
ANÁLISE DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA DE PASSARELAS EM MANAUS, BRASIL. <i>T. C. Cavalcante, V. S. Araújo</i>	1339
DESENVOLVIMENTO DE UM GUIA DE REPAROS PARA DIFERENTES TIPOS DE PATOLOGIA RELATIVOS À UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES <i>J. Neves, D. Garcia, V. Santana, C. Lopes, J. Mendes</i>	1352
AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PILARES DE EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR LOCALIZADO EM AMBIENTE AGRESSIVO. <i>L. Onghero, J. Stocco</i>	1366
IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO DOS TERMINAIS DE ÔNIBUS NA CIDADE DE MANAUS <i>A. R. M. Colares, H. M. Murchie, R. P. Vasconcelos</i>	1379
APLICAÇÃO DO MÉTODO DE GRAVIDADE, URGÊNCIA E TENDÊNCIA (GUT) NO LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: ESTUDO DE CASO NO EDIFÍCIO DUQUE DE CAXIAS. <i>P. R. A. R. Santos, A. M. A. da Silva, L. L. B. da Silva, M. S. de Almada, C. Vidrih Ferreira</i>	1391
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO GUT PARA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES DO OESTE DO RIO GRANDE DO NORTE <i>R. Santos, A. Queiroz, G. Albuquerque, C. Cruz</i>	1405
INSPEÇÃO ROTINEIRA NA PONTE SOBRE O CÓRREGO MUTUCA NO MUNICÍPIO DE GURUPI - TO <i>F. M. David, M. M. de Souza, F. A. S. Fernandes, D. F. A. dos Santos</i>	1416
AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE ESCOLAS PÚBLICAS DO LESTE POTIGUAR APLICANDO A MATRIZ GUT <i>R. Rodrigues dos Santos, J. L. da Silva Sabino, J. S. de Oliveira Neto, M. V. Dias Marques, C. Patrícia Torres Cruz</i>	1427
MODELAGEM NUMÉRICA DOS EFEITOS DA RAA CONFORME A TEMPERATURA <i>Edmilson Lira. Madureira</i>	1441

PRODUÇÃO DE CIMENTOS GEOPOLIMÉRICOS PARA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND. <i>M. Valenga, R. Przybysz, E. Pereira, E. Pereira</i>	1455
PATOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL EM DECORRÊNCIA DA FALTA DE VERGAS E CONTRAVERGAS EM PORTAS E JANELAS CONFORME AS NORMAS TÉCNICAS. <i>Jameson Alho, Vanderlúcio Ramalho, Jamile Ferreira, Cledeinei Amanajás</i>	1470
DESENVOLVIMENTO DAS REAÇÕES ÁLCALI-AGREGADO EM MATRIZ DE CIMENTO PORTLAND COM SÍLICA ATIVA E AGREGADO REATIVO <i>R. Lima, M. Valenga, E. Pereira, E. Pereira</i>	1481
CORROSÃO NA CAPELA DE SANTA EDWIRGES <i>J. C. Sales</i>	1494
AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DA CIDADE DE BRASÍLIA PELA METODOLOGIA DO GRAU DE DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA <i>G. Berbert-Born, J. G. Monteiro, A. Nascimento Filho, L. Chaves, M. E. Pereira, M. H. Oliveira</i>	1506
IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS DOS TERMINAIS DE ÔNIBUS NA CIDADE DE MANAUS <i>H. M. MURCHIE, A. R. M. Colares, R. P. VASCONCELOS</i>	1520
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE DIFERENTES TIPOS DE CIMENTOS NA MITIGAÇÃO DAS REAÇÕES ÁLCALI-AGREGADO (RAA) <i>Marina Munaretto Copetti, Cristiane Carine dos Santos, Tássia Fanton, Ana Paula Maran, Cristian Dauinheimer Miranda</i>	1534
REVISÃO SOBRE A INFLUÊNCIA DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E SEUS PRINCIPAIS MÉTODOS DE PROTEÇÃO E REABILITAÇÃO <i>B. B. Mariani, M. S. C. Silva</i>	1546
PATOLOGIA DE EDIFICAÇÕES NO ESTADO DO PARÁ <i>S. Raiol, D. Oliveira, P. Helene</i>	1559
IDENTIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO DA PONTE PRESIDENTE DUTRA. <i>Anderson Henrique Barbosa</i>	1572
INVESTIGAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO PRÉDIO DE UMA UNIDADE DE SAÚDE NA CIDADE DE GRAVATÁ-PE <i>A. J. Bento, D. C. M. Neves, E. C. B. Monteiro</i>	1584
APLICAÇÃO DA MATRIZ GUT EM MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE ESCOLAS PÚBLICAS DO CENTRO POTIGUAR <i>R. R. dos Santos, J. C. de Lima, K. F. B. G. da Silva, C. T. Cruz</i>	1599
PROBABILITY OF CORROSION INITIATION IN RC STRUCTURES BY CHLORIDES – CASE STUDY OF A PIER IN BRAZIL <i>M. Barbosa, D. Val</i>	1612
AVALIAÇÃO PATOLÓGICA DO NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE EDIFICAÇÕES PÚBLICAS DE ENSINO – ESTUDO DE CASO. <i>B. M. G. M. P. Moya, D. A. Silva, A. Frere</i>	1626
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE NANOPARTÍCULAS BASE SILICIO EN MORTEROS SOMETIDOS AL ATAQUE FÍSICO DE SULFATO DE SODIO <i>D. L. Silva, G. Fajardo-San Miguel, G. Escadeillas, D. Cruz-Moreno</i>	1639
EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF RICE HUSK-ASH IN MITIGATING DEF IN CONCRETE. <i>G. Amantino, N. Hasparyk, F. Tiecher</i>	1653
DETERMINAÇÃO DA ABSORTÂNCIA PELO MÉTODO DE PADRÕES COMPARATIVOS <i>G. G. Nobre, E. Bauer</i>	1667

DIAGNÓSTICO Y PATOLOGÍA DEL PUENTE DE HIERRO SOBRE EL RÍO JATIBONICO. <i>R. Pérez, J. Nápoles</i>	1677
DEFECTOS EN LAS INSTALACIONES DOMÉSTICAS CON AGUA DEBIDO A DISPUTAS LEGALES: EL CASO DE BARCELONA <i>M. J. Carretero-Ayuso, M. T. Pinheiro-Alves, J. D. Bienvenido-Huertas, D. Marín-García</i>	1691
CIVIL CONSTRUCTION PATHOLOGIES <i>E. D. Reis, G. M. Gava, M. A. Souza, B. C. Silva</i>	1705
VERIFICAÇÃO DA ESTANQUEIDADE DO LEITO DE SECAGEM EM CONCRETO ARMADO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) <i>V. K. Ortolan, P. P. Ortolan, D. C. M Arnold</i>	1718
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS: ESTUDO DE CASO EM DUAS EDIFICAÇÕES NO BAIRRO DO DORON – SALVADOR/BA <i>P. C. Nunes, P. V. G. Freitas, A. R. A. Omoro, M. A. Machado, V. A. Coelho, F. G. S. Silva</i>	1731
AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CONCRETOS IMERSOS EM ÁGUA DO MAR POR MEIO DA ASPERSÃO DE NITRATO DE PRATA <i>J. V. Tito, F. G. S. Silva</i>	1742
ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS QUE PASSARAM POR PROCESSOS DE REABILITAÇÃO <i>R. de A. Garcia Sobrinho, L. A. de C. Motta, P. R. C. Guterres</i>	1757
INSPEÇÃO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL UTILIZANDO A METODOLOGIA GDE/UNB <i>D. F. Ribeiro, M. A. Machado, A. R. A. Omoro, P. V. G. Freitas, V. A. Coelho, F. G. S. Silva;</i>	1772
RESISTENCIA AL ATAQUE ÁCIDO EN PASTAS DE ACTIVACIÓN ALCALINA BASADAS EN ESCORIA DE ALTO HORNO <i>A. Marcillo, A. Mellado, M. V. Borrachero, J. Monzó, L. Soriano, J. Payá</i>	1786
MÉTODO FRANCÊS VERSUS MÉTODO BRASILEIRO PARA AVALIAR A DEF EM CONCRETO. <i>R. H. R. Q. Melo, D. Schovanz, F. Tiecher, N. P. Hasparyk, S. C. Kuperman</i>	1803
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO: ESTUDO DE CASO EM UM SUPERMERCADO NO BAIRRO DO RIO VERMELHO – SALVADOR/BA <i>P. V. G. Freitas, P. C. Nunes, A. R. A. Omoro, M. A. Machado, V. A. Coelho, F. G. S. Silva</i>	1815
REVESTIMENTOS DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS DO SÉCULO XIX EM SALVADOR: REFLEXÕES SOBRE DANOS E SUAS CAUSAS. <i>A. Magalhães, R. Muñoz</i>	1830
ESTUDIO TERMOGRÁFICO DE LAS MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS POR HUMEDADES Y DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA CUBIERTA DE LA BASÍLICA DE SANTA MARÍA. <i>D. Bru, S. Ivorra</i>	1844
AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS: ESTUDO DE CASO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EM SALVADOR/BA. <i>P. Z. Costa, P. V. G. Freitas, A. R. A. Omoro, M. A. Machado, V. A. Coelho, F. G. S. Silva</i>	1859
A IMPORTÂNCIA DA CORRETA DOSAGEM DE ADITIVO CONTROLADOR DE HIDRATAÇÃO: ESTUDO DE CASO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA BACIA DE CONTENÇÃO <i>C. A. M. H. da Luz, F. M. Pereira</i>	1874
AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA PONTE SOBRE O RIO DA DONA NO RECÔNCAVO DA BAHIA. <i>A. Santos, L. Farias, L. de Sousa</i>	1887
VIDA ÚTIL À FADIGADO CONCRETO: ESTUDO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO E DA RESISTÊNCIA DO MATERIAL <i>E. F. Felix, R. Carrazedo, E. Possan</i>	1901

AVALIAÇÃO DA TENSÃO DE ADERÊNCIA EM SISTEMA DE REFORÇO EXTERNAMENTE ADERIDO APÓS EXPOSIÇÃO A PROTOCOLO DE DEGRADAÇÃO ACELERADO <i>G. M. Dalfré, G. A. Parsekian, L. A. Sarti Júnior, C. J. R. V. Araújo</i>	1916
AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS: ESTUDO DE CASO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EM SALVADOR/BA. <i>P. Z. Costa, P. V. G. Freitas, A. R. A. Omoro, M. A. Machado, V. A. Coelho, F. G. S. Silva</i>	1927
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS E TÉCNICAS AVANÇADAS DE MONITORAMENTO <i>A. G. Quintino, J. F. M. Paixão</i>	1943
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA RESIDÊNCIA DO PROGRAMA HABITACIONAL EM SANTO ANTÔNIO DE JESUS- BA. <i>A. Barboza, L. Farias, L. De Sousa</i>	1958
ANÁLISE E QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS POR MEIO DE FATORES DE DANOS <i>L. L. S. Batista, B. S. Vale, C. M. S. Castro, H. S. B. Soares, A. C. C. Lopes, L. C. Queiroz</i>	1973
IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UNIDADE EDUCACIONAL DE CASTRO ALVES – BA: UM ESTUDO DE CASO <i>R. Santos, L. Farias, L. de Sousa</i>	1987
ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ASSOCIADAS A UMIDADE EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES EM SANTO ANTÔNIO DE JESUS – BAHIA <i>D. Nascimento, L. Farias, L. de Sousa</i>	2000
ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE ANÁLISES ESTATÍSTICAS <i>D. C. Gomes, R. de A. Garcia Sobrinho, R. V. Ribeiro, Lima M. K. G. de</i>	2014
ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONDOMÍNIO ROGACIANO LEITE NA CIDADE DE FORTALEZA <i>J. C. Sales</i>	2023
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM VEDAÇÕES VERTICAIS INOVADORAS: ORIGENS, CAUSAS E TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO. <i>T. S. Barros, G. M. da Costa, C. V. S. A. de Vasconcelos, E. L. da Silva Júnior, J. M. de Oliveira, J. F. B. Baía, A. C. Lordsleem Júnior</i>	2037
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS CONSTRUÇÕES: UMA DISCUSSÃO DE ENGENHARIA X DIREITO <i>Anderson Henrique Barbosa</i>	2052
ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CAIXAS D'AGUA CONSTRUÍDAS DE CONCRETO ARMADO E AÇO NA CIDADE DE SOBRAL <i>J. R. Sabino, G. L. A. Albuquerque, J. C. Sales</i>	2059
INSPEÇÃO E ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA PONTE SOBRE O RIO CANINDÉ, NO PIAUÍ. <i>T. B. M. Alves, L. O. Bento, A. R. O. Dias</i>	2073
DURABILIDAD DE HORMIGONES DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL: RESISTENCIA A LA CARBONATACIÓN <i>H. Gurdíán, P. Garcés, E. Zornoza, E. García Alcoel</i>	2086
ELABORAÇÃO DE MAPAS DE DANOS E A INFLUÊNCIA DE INTEMPÉRIES EM FACHADAS: ESTUDO DE CASO NO PRÉDIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM LETRAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. <i>C. Castro, H. Soares, L. Batista, B. Vale, A. Lopes, L. Queiroz</i>	2100
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS PONTES DE CONCRETO ARMADO SOBRE O RIO ARACATIAÇU NO ESTADO DO CEARÁ NO BRASIL <i>J. C. Sales</i>	2114
AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE DIFUSÃO DE CLORETOS COMO PARÂMETRO DE DURABILIDADE EM CONCRETOS COM DIFERENTES CLASSES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA E SEM ADIÇÕES MINERAIS <i>R. C. Lopes, A. M. Oliveira, O. Cascudo</i>	2124

ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CAMPUS DO ITAPERI DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ (UECE) <i>J. C. Sales</i>	2135
LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA CATEDRAL PARÓQUIA NOSSA SENHORA DA PENHA <i>I. Feitosa, J. Bezerra L. Rodrigues, N. Rodrigues</i>	2145
EFFECTS OF BINDERS CHARACTERISTICS AND CONCRETE DOSING PARAMETERS ON THE CHLORIDE DIFFUSION COEFFICIENT <i>Daniel V. Ribeiro, Silas A. Pinto, Nilson S. Amorim Júnior, José S. Andrade Neto, Ivan H. L. Santos, Saulo L. Marques, Mavisson J. S. França</i>	2159
APLICAÇÃO DE METODOLOGIA BASEADA EM CRITÉRIOS EMPÍRICOS PARA PRIORIZAÇÃO DE INSPEÇÕES DIAGNÓSTICAS EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA, EM SERGIPE. <i>Francisco Luiz Campos Lopes, Monalisa Matisse Barreto Oliveira, Natalia Shirley Carvalho Matos, Emerson Meireles de Carvalho.</i>	2173
SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN EN TÚNELES URBANOS <i>L. López-de Abajo, J. C. Gálvez, M. G. Alberti</i>	2186
TEORÍA DE CORTE-FRICCIÓN APLICADA AL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO <i>A. Picazo, J. C. Gálvez, M. G. Alberti, A. Enfedaque</i>	2199
ANÁLISIS DE GELES C-S-H MEDIANTE ESPECTROS DE 29SI MAS-RMN <i>A. I. Ruiz, E. Reyes, C. Argiz, M. A. de la Rubia, A. Moragues</i>	2212
CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO EN CONCRETO REFORZADO CON EL USO DE RESIDUO MINERO JAL <i>J. J. Mejía Briseño, F. J. Olguín Coca, L. D. López León, I Castañeda Robles, L. Lizarraga Mendiola, F. Almeraya Calderon, J. A. Cabral Miramontes, A. Carreño Avila, M. A. Baltazar Zamora, E. Sanchez Murillo, E. Hernandez Perez</i>	2225
MAPEAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA DE CAMPINA GRANDE: A ESTAÇÃO FERROVIÁRIA COMO PATRIMÔNIO ART DÉCO <i>E. M. Mendes, M. P. Viana, T. P. Albuquerque, T. B. Araújo</i>	2235
APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO EM EMPREENDIMENTO EDUCACIONAL. <i>T. B. Araújo, T. P. Albuquerque, E. M. Mendes</i>	2249
RECUPERACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES	
ESTUDO DA AÇÃO DE AGENTES DE DEGRADAÇÃO DE FACHADAS ASSOCIADOS À TEMPERATURA E A CHUVA DIRIGIDA EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS. <i>A. L. Ramos, E. Bauer</i>	2265
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NUTRIENTES NO PROCESSO DE AUTOCICATRIZAÇÃO DE FISSURAS EM MATERIAIS A BASE DE CIMENTO A PARTIR DO EMPREGO DA BACTÉRIA BACILLUS SUBTILIS (AP 91) <i>P. Ghellere, S. Lenz, M. R. Z. Passarini, A. C. P. dos Santos, E. Possan</i>	2278
RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURA SUBAQUÁTICA: ESTUDO DE CASO EM SALVADOR/BA <i>A. R. A. OMORE, V. A. COELHO, M. V. A. S. MENDES, F. G. S. SILVA</i>	2293
ANÁLISE DE FISSURAS EM EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS COM SISTEMA ESTRUTURAL PRÉ-MOLDADO NA CIDADE DE SANTA ROSA/RS <i>K. S. B. Chrischum, A. P. Maran, M. F. F. Menna Barreto, M. M. Copetti</i>	2304
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE INIBIDORES DE CORROSÃO ANÓDICOS E CATÓDICOS NA PROTEÇÃO DE BARRAS DE AÇO INSERIDAS EM ARGAMASSA POLIMÉRICA E GRAUTE CIMENTÍCIO <i>J. E. A. Bezerra, A. E. B. Cabral, O. Angel</i>	2315
PERFORMANCE ANALYSIS OF GRAVITY CHEMICAL BLOCKERS IN THE TREATMENT OF RISING DAMP IN MASONRY WALLS <i>R. Malaquias, G. Bruschi, D. Brisotto</i>	2327

VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS SEGUNDO A TÉCNICA TRM: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA <i>M. H. M. Moraes, H. M. Francklin, G. M. Dalfrè, B. Ghiassi</i>	2342
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UNB PARA AVALIAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÃO – ESTUDO DE CASO EM SALVADOR/BA <i>L. N. Caires, V. A. Coelho, A. R. A. Omoro, M. A. Machado, P. V. G. Freitas, F. G. S. Silva</i>	2358
TABIQUES NO CONVENCIONALES A BASE DE RESIDUOS PLÁSTICOS DESTINADOS A VIVIENDAS RURALES <i>J. A. Zea, D. Hernández, J. E. Mandujano, A. López, P. Garnica</i>	2369
ANÁLISE DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE GETÚLIO VARGAS NA ILHA DE ITAMARACÁ <i>B. Liberal, S. Marques, F. Maranhão, J. Moura, H. Batista, B. Almeida</i>	2384
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO TRADICIONAL Y CONCRETO CON MATERIALES RECICLADOS. <i>E. Sánchez Murillo, F. J. Olguin Coca, L. D. López León, I. Castañeda Robles, L. Lizárraga Mendiola, F. Almeraya Calderon, J. A. Cabral Miramontes, M. A. Baltazar Zamora, J. J. Mejía Briseño, E. Hernández Perez</i>	2399
NUEVOS CEMENTOS ECO-EFICIENTES ELABORADOS CON LA FRACCIÓN FINA DE HORMIGÓN RECICLADO PARA FUTURAS APLICACIONES INGENIERILES <i>M. Monasterio, M. Frias, R. García, R. Vigil de la Villa, S. Martínez, L. Fernández, E. Lahoz, I. Vegas, J. Moreno</i>	2407
EFICACIA DE INHIBIDORES COMERCIALES DE CORROSIÓN EN PROBETAS DE MORTERO CON 2% DE CL- CON RELACIÓN AL PESO DE CEMENTO EN AGUA DE AMASADO. <i>A. Bonilla, A. Moragues, J. Gálvez</i>	2420
JUSTIFICACIÓN TEÓRICA DE LA REPARACIÓN DE UN EDIFICIO DE CONCRETO CON VALOR HISTÓRICO <i>J. A. Briceño-Mena, P. Castro-Borges</i>	2435
COMPORTAMIENTO A FATIGA DE MORTEROS QUE INCLUYEN RESIDUOS INDUSTRIALES DERIVADOS DEL POLIURETANO <i>V. Calderón, A. Alonso, R. Arroyo, L. Alameda, S. González-Moreno, S. Gutiérrez-González</i>	2445
ÍNDICE DE AUTORES	2452
ÍNDICE DE PALABRAS CLAVE	2460

CONTROL DE CALIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES

Influencia del porcentaje de sustitución de emulsión asfáltica en frío en las propiedades físicas de cilindros de mortero y cilindros de tierra comprimida (CTC)

H. Cañola^{1*}, G. Barreto², F. Granda-Ramírez³, A. Urrego⁴

*Hernán Cañola: hernan.canola@colmayor.edu.co

¹ Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia

² Departamento de Gestión de la Construcción, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile

³ Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia

⁴ Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia

RESUMEN

Se estudiaron las variaciones de los Coeficientes de Absorción Capilar (CAC) y la Resistencia a la Penetración de Agua (RPA) en Cilindros de Tierra Comprimida (CTC) y Cilindros de Concreto (CC) adicionados con emulsiones asfálticas en frío. Las mezclas de los CC fueron adicionadas con porcentajes de emulsión entre el 10% y el 40% respecto al peso del cemento y para las mezclas de CTC se utilizó entre el 25% y el 100% respecto al peso del agua. Se lograron incrementos del 10241% para RPA del CTC y de 4593% para los CC; además el uso de la emulsión permitió una reducción del CAC del 91.4% para los CTC y del 97.5% para los CC, demostrando ser una modificación eficiente.

Palabras clave: Cilindros de tierra comprimida; Cilindros de concreto; Correlaciones; Propiedades físicas; Emulsión asfáltica.

ABSTRACT

Variations of Capillary Absorption Coefficients (CAC) and Resistance of Water Penetration (RWP) in Compressed Earth Cylinders (CEC) and Mortar Cylinders (CC) added with cold asphalt emulsions were studied. The CC mixtures were added with emulsion percentages between 10% and 40% respect to the weight of the cement and for the CEC mixtures between 25% and 100% respect to the weight of the water was used. Increases of 10241% were achieved for RWP of the CEC and 4593% for the CC; Furthermore, the use of the emulsion allowed a reduction of the CAC of 91.4% for the CEC and 97.5% for the CC, proving to be an efficient modification.

RESUMO

Foram estudadas as variações dos Coeficientes de Absorção Capilar (CAC) e da Resistência à Penetração de Água (RPA) em Cilindros de Terra Comprimida (CTC) e Cilindros de morteiro

(CC) adicionados com emulsões asfálticas a frio. As misturas de CC foram adicionadas com percentagens de emulsão entre 10% e 40% em relação ao peso do cimento e para as misturas de CTC entre 25% e 100% em relação ao peso da água. Aumentos de 10241% foram alcançados para RPA do CTC e 4593% para o CC; Além disso, o uso da emulsão permitiu uma redução do CAC de 91,4% para o CTC e 97,5% para o CC, demonstrando ser uma modificação eficiente.

1. INTRODUCCIÓN

Se entiende como durabilidad en el área de la construcción, a la capacidad que presentan los elementos constructivos de conservar sus atributos físicos en el tiempo sin que se presenten mantenimientos prematuros o intervenciones constructivas no previstas, dependiendo siempre y cuando de las características físico-mecánicas y atributos físicos de los elementos constructivos con relación a su uso y condiciones ambientales (Broto and Soria, 2005; Monjo and Maldonado, 2001; Silva et al., 2017). Sin embargo, los sistemas constructivos como la mampostería para fachada (ladrillos, bloques de tierra comprimida, bloques de concreto), mampostería para sobrecimiento (bloques de concreto) y muros de medianería se encuentran sometidos a agentes externos como la lluvia y el agua proveniente del terreno que afectan la estabilidad física y estructural de estos elementos como consecuencia de la presencia de humedad durante largos periodos de tiempo (Jiménez, 2005; Anastasopoulos, 2013; Tokimatsu, 2012; Adam and Agib, 2001); Por otro lado (Cañola et al., 2020) determinan que el contacto de los sistemas de mampostería con agentes externos como el agua lluvia y el agua contenida en el terreno, pueden afectar los diferentes componentes de los muros como los mampuestos y morteros debido a la formación de agentes salinos correspondientes a las eflorescencias; por otra parte (Tsukagoshi et al., 2012; Saija, 1995) determinan que aunque los elementos constructivos como los morteros presenten sistemas de impermeabilización como barreras físicas en poliuretano frente a los agentes externos como el agua, estos elementos con el paso del tiempo pierden sus características físicas y espesor, haciendo que los sustratos en mortero sean mas vulnerables a los procesos de degradación por la carbonatación y procesos de agrietamiento. Es por lo anterior que (Othman et al., 2015; Shoemaker and House, 2006) determinan que el control y solución a las problemáticas de humedad en especial en edificaciones hospitalarias, es de vital importancia para garantizar la funcionalidad de las edificaciones y garantizar el confort de sus residentes. Como consecuencia del proceso de deterioro que sufren los morteros y los elementos constructivos debido a los agentes ambientales externos, (Falchi et al., 2013; Lanzón and García-Ruiz, 2009) determinaron que el uso de morteros con adiciones de puzolana-cal y Silano permite la mejo de las propiedades mecánicas de estos elementos y la repelencia al agua, lo que reduce las formaciones de eflorescencias. Teniendo presente que el agua contenida en el terrenos es considerada un agente degradante para los muros y morteros en las edificaciones, (Shoemaker and House, 2006) establecen que la humedad capilar es considerada como una de las principales causas de degradación en los sistemas de mampostería; la cual ocasiona procesos de condensación al interior de la edificación, cristalización de sales, corrosión, procesos de desprendimientos de acabados arquitectónicos, configura condiciones óptimas para el crecimiento de moho, afectar la salud y el confort de los residentes (Shoemaker and House, 2006; Carrer et al., 2015; Karagiannis et al., 2017).

Actualmente, el conocimiento con relación a la permeabilidad en los materiales de construcción ha cobrado relevancia debido a las problemáticas derivadas de la humedad presentes en sistemas constructivos como: revoques, estucos, mamposterías y demás acabados; estas problemáticas o lesiones patológicas debidas a la carencia de tratamientos preventivos, tratamientos correctivos y controles técnicos; por esta razón, la presencia incontrolada de humedad en los materiales de

construcción ha sido considerada como uno de los factores responsables de la pérdida de durabilidad (Karagiannis et al., 2017). Se han desarrollado métodos para minimizar las problemáticas asociadas a la humedad mediante la implementación de sistemas impermeables externos como es el caso de barreras químicas (hidrorepelentes) o la inclusión de aditivos en las mezclas utilizadas en la fabricación de bloques de concreto y bloques de tierra comprimida entre otros. Pero ninguna de las alternativas anteriormente mencionadas han logrado desarrollar un mampuesto que presente total hidrorepelencia (Adam and Agib, 2001; Cañola and Echavarría 2017; Cañola et al., 2018; Pereira et al., 2018). Algunas investigaciones en las cuales se ha estudiado la problemática de humedad, sus efectos y la hidrorepelencia en muros se muestran a continuación:

Cho et al. (Cho et al., 2017) determinaron que el exceso de humedad en los concretos afecta las propiedades físicas del mismo como el módulo de elasticidad, contracción por secado, deformación y propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión; además, determinaron que para predecir cuantitativamente el deterioro del concreto, es necesario identificar las condiciones ambientales en las cuales se encuentra expuesto el material y establecer el movimiento del aire y la velocidad de reacción del concreto con relación a la transferencia de calor y humedad. Así mismo, Muhammad et al. (Muhammad et al., 2015) establecieron que someter elementos constructivos de concreto a la penetración continua de agua y otros fluidos genera una reducción con relación a la durabilidad. Además, determinaron que la asociación entre el entorno y los componentes de constitución determinan la vida útil a largo plazo de los concretos. Por otro lado, Cui et al. (Cui et al., 2012) determinaron que el uso de cenizas volantes como alternativa al uso del cemento en los elementos constructivos a base de concreto pueden mejorar la impermeabilidad y estanqueidad hasta en un 50% con relación a las mezclas traicionales; dicho estudio fue corroborado por Teng et al. (Teng et al., 2014).

También Litvan (Litvan, 1996) demostró que el uso de barreras físicas impermeables aumenta la durabilidad y longevidad de los elementos constructivos en concreto y proporciona protección al acero de refuerzo frente al ataque por carbonatación. Del mismo modo, Almusallam et al. (Almusallam et al., 2002) establecieron que el uso de resinas de poliuretano y epoxi superficiales son alternativas para la mejora de la permeabilidad, reducción de la penetración de cloruros, difusión y disminución del ataque de sulfatos en elementos de concreto en comparación a otros productos como agentes de recubrimiento. Sin embargo, Zhu et al (Zhu et al, 2013) y Muhammad et al. (Muhammad et al., 2015) establecen que el uso de aditivos en los elementos constructivos a base de concreto como el silano mejoran su durabilidad en comparación a los sistemas de impermeabilización superficial; sin embargo, el uso de estos aditivos presentan una reducción de las propiedades mecánicas del concreto como la resistencia a la compresión en un 10%; al igual que el uso del silano. La implementación de emulsiones asfálticas como aditivo reductor de la permeabilidad en morteros o concretos también ocasiona una reducción de las propiedades mecánicas de estos elementos constructivos (Bołtryk and Małaszkiwicz, 2013). Además de los anteriores autores, Cañola et al. (Cañola et al., 2018) estudiaron el uso de compuestos bituminosos en Bloques de Tierra Comprimida (BTC), encontrando que a mayor uso de estos aditivos menores son las propiedades mecánicas, sin embargo, determinaron que los BTC sometidos a agentes externos como el agua presentan pérdidas de masa de un 8%, pero las adiciones de compuestos bituminosos en un 25% en relación a la cantidad de agua minimizan esta problemática.

Basados en las problemáticas derivadas de la permeabilidad, para determinar la impermeabilidad de elementos constructivos es necesario estimar su coeficiente de absorción capilar, según Zürcher et al (Zürcher and Frank, 2014) los elementos constructivos con coeficientes menores a $0.030 \text{ kg s}^{-1/2} \text{ m}^{-2}$ son repelentes al agua y con valores menores a $0.008 \text{ kg s}^{-1/2} \text{ m}^{-2}$ son considerados hidrófugos. Debido a lo anterior Cañola et al. (Cañola and Echavarría, 2017) obtuvieron en su estudio de bloques de concreto con emulsión de parafina coeficientes de absorción capilar entre

0.076 kg s^{-1/2} m⁻² y 0.005 kg s^{-1/2} m⁻². También encontraron resistencias a la penetración de humedad entre 9.30E6 s m⁻² y 5.93E7 s m⁻². Por otro lado, Badogiannis et al. (Badogiannis et al., 2015) en su investigación sobre durabilidad de concretos autocompactantes con metacaolín determinaron velocidades de absorción capilar entre 1.30E-5 m s^{-1/2} y 3.10E-5 m s^{-1/2}, del mismo modo Wilson et al. (Wilson et al., 1994) analizaron la velocidad de absorción en materiales porosos para la construcción como morteros, con valores comprendidos entre 8.90E-5 m s^{-1/2} y 1.86E-4 m s^{-1/2}.

En diferentes investigaciones se han desarrollado tratamientos para la disminución de los coeficientes de adsorción capilar en diferentes materiales de construcción como BTC, morteros y bloques de concreto, pero no se ha generado una correlación del comportamiento de estos materiales entre sí con relación al uso de emulsiones asfálticas como aditivo reductor de la permeabilidad, es por lo anterior que en esta investigación se pretende establecer la variación de propiedades físicas como los coeficientes de adsorción capilar, porosidad y resistencia a la penetración de humedad entre muestras cilíndricas elaboradas con mezclas para la fabricación de bloques de concreto y BTC.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de esta investigación se realizaron 100 probetas cilíndricas de cada una de las mezclas utilizadas en la fabricación de bloques de concreto y BTC, ambos adicionados con emulsión asfáltica en frío (Sika®). Para la fabricación de las probetas fueron utilizados los siguientes materiales descritos en la Tabla 1, de los cuales se determinó su densidad por medio de correlaciones volumétricas y masas.

Tabla 1. Densidades de los materiales utilizados en la fabricación de cilindros de mortero y CTC.

Materiales	Densidad (kg/m³)
Arena de pega	1600
Agua	1000
Cemento Portland tipo 1	3150
Emulsión asfáltica	1060
Tierra	1390

Las mezclas utilizadas para la fabricación de cilindros de mortero fueron adicionadas con emulsión asfáltica en frío con porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40% respecto al peso del cemento y las mezclas utilizadas para la fabricación de cilindros en tierra compactada fueron elaboradas con porcentajes de emulsión asfáltica de 25 %, 50 %, 75 % y 100 %, respecto al peso del agua.

El desarrollo experimental de la investigación se dividió en cuatro etapas: la primera consistió en la caracterización granulométrica del árido utilizado para fabricación de cilindros de mortero y CTC según la norma ASTM D422 (ASTM, 2007a), en la segunda etapa se estudió la succión capilar para evaluar el coeficiente de absorción capilar, la resistencia a la penetración del agua y la porosidad, lo anterior bajo parámetros de la norma ASTM C1585-04 (ASTM, 2007b) y la norma UNE PrUNE 83.982 (UNE, 2007), en la tercera y última etapa se realizó un análisis de correlación con la finalidad de verificar la influencia del porcentaje de sustitución de emulsión en el RPA (Resistencia a la penetración de agua) de CTC y de los cilindros de mortero.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el análisis granulométrico de la tierra y la arena de pega se tomó una muestra de 2000 gramos por cada material a analizar, posteriormente, de cada muestra cuarteada, fue tomada una muestra de 500g, las cuales fueron secadas al horno durante 24 horas a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, una vez secas las muestras, estas fueron sometidas a un proceso de vibrado de manera independiente con una serie de tamices de diámetros variable en disposición vertical. Una vez analizados los pesos, se obtuvo los porcentajes de arena de pega y tierra retenidos y pasantes en cada tamiz, con lo cual se determinaron las curvas granulométricas y sus respectivos módulos de finura equivalentes a 2,98% para la arena y de 1.80% para la tierra; a partir de lo anterior se estimó entonces que la arena corresponde a una arena media y la tierra a un suelo fino granular según la norma ASTM D422 (ASTM, 2007a) (Figura 1).

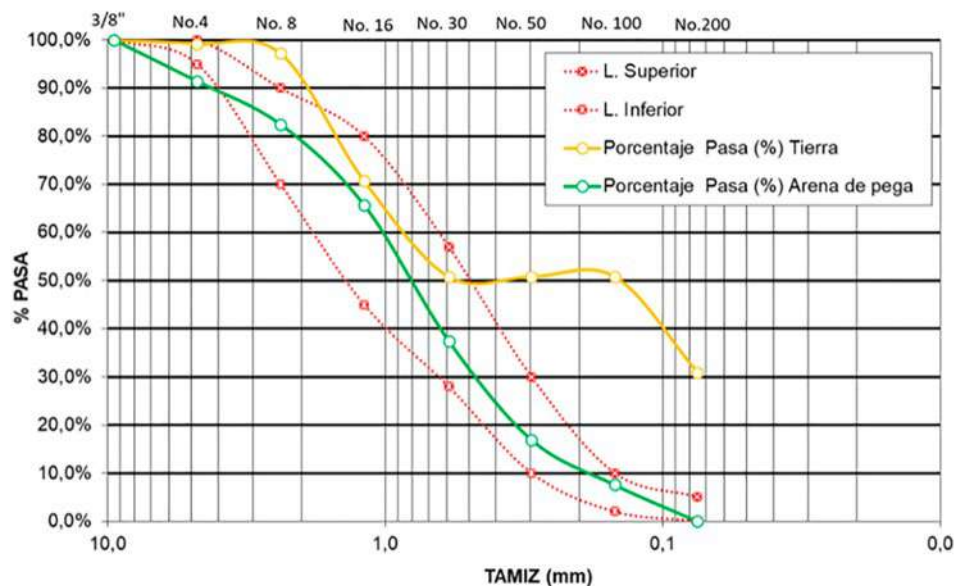


Figura 1. Curvas granulométricas de tierra y arena de pega.

Para la segunda etapa relacionada con el análisis de succión capilar bajo parámetros de las normas ASTM C1585-04 (ASTM, 2007b) y UNE PrUNE 83.982 (UNE, 2007) mediante el uso de probetas cilíndricas con radio de 0.05 m y altura de 0.05 m, se determinaron el coeficiente de absorción capilar (1), la porosidad (2) y la resistencia a la penetración de humedad (3) de mezclas para CTC y cilindros de mortero (Figura 2).

$$k = \frac{Q_n - Q_0}{\sqrt{t_n}} \frac{1}{A} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{Q_n - Q_0}{Ah\rho} \quad (2)$$

$$m = \frac{t_n}{h^2} \quad (3)$$

Donde:

k: Coeficiente de absorción capilar.

Q_n : Masa de la probeta en el punto crítico (Kg).

Q_0 : Masa de la probeta al inicio (Kg).

t_n : Tiempo en el punto crítico de saturación de la probeta (s).

A: Área de succión de la probeta (m^2).

ϵ : Porosidad.

h: Altura o espesor total de la probeta (m).

ρ : Densidad del agua ($kg\ m^{-3}$)

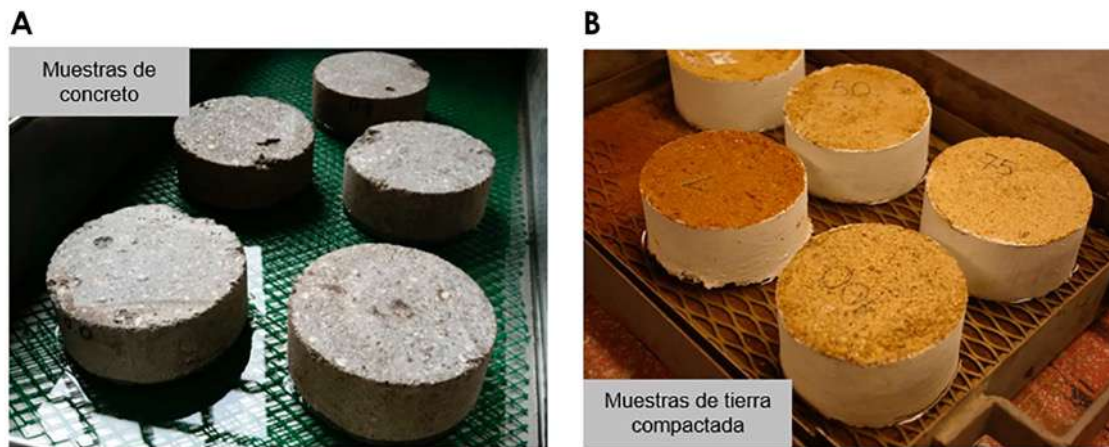


Figura 2. A) Muestra cilíndricas de mortero; B) Muestras cilíndricas de tierra compactada bajo análisis de succión capilar.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de resistencia a la penetración, coeficiente de absorción capilar, y porosidad efectiva con relación a los porcentajes de sustitución de emulsión para el BTC.

Tabla 2. Resultados sustitución de emulsión en CTC.

Mezcla	% de sustitución	(RPA) Resistencia a la penetración del agua ($10^6\ s\ m^{-2}$)	(CAC) Coeficiente de absorción capilar ($kg\ s^{-1/2}\ m^{-2}$)	Porosidad efectiva (%)
0% emulsión	0	1,56	0,233	29
25% emulsión	25	34,56	0,058	34
50% emulsión	50	127,81	0,027	30
75% emulsión	75	127,81	0,025	29
100% emulsión	100	159,76	0,020	26

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 2), se observa que a medida que fue aumentando el porcentaje de sustitución de emulsión, la resistencia a la penetración del agua aumento de forma gradual. En el caso del coeficiente de absorción capilar este tuvo una reducción a medida que iba aumentando el porcentaje de emulsión llegando a una reducción máxima del 91%

aproximadamente para la sustitución del 100%. Finalmente, la porosidad efectiva no tuvo una variación representativa teniendo solo una reducción del 10% en relación a la referencia.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de resistencia a la penetración, coeficiente de absorción capilar y porosidad efectiva para los porcentajes de sustitución de emulsión para los cilindros de mortero.

Tabla 3. Resultados sustitución de emulsión para los cilindros de mortero.

Mezcla	% se sustitución	(RPA) Resistencia a la penetración del agua (10^6 s m^{-2})	(CAC) Coeficiente de absorción capilar ($\text{kg s}^{-1/2} \text{ m}^{-2}$)	Porosidad efectiva (%)
0% emulsión	0	9,29	0,081	0,247
10% emulsión	10	89,25	0,014	0,140
20% emulsión	20	133,88	0,005	0,060
30% emulsión	30	401,65	0,002	0,050
40% emulsión	40	426,66	0,002	0,045

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 3), se observa que a medida que fue aumentando el porcentaje de sustitución de emulsión la resistencia a la penetración del agua aumento concordando con los resultados para el BTC, como se muestra en las Tablas 2 y 3. En el caso del coeficiente de absorción capilar este tuvo una reducción a medida que iba aumentando el porcentaje de emulsión llegando a una reducción máxima del 97% aproximadamente para la sustitución del 100%. Finalmente, la porosidad efectiva no tuvo una variación representativa teniendo solo una reducción del 82% en relación a la referencia.

Con el fin de verificar la influencia del porcentaje de sustitución de emulsión en el RPA del BTC y de los cilindros de mortero se realizó una correlación de los parámetros estudiados (Figura 3).

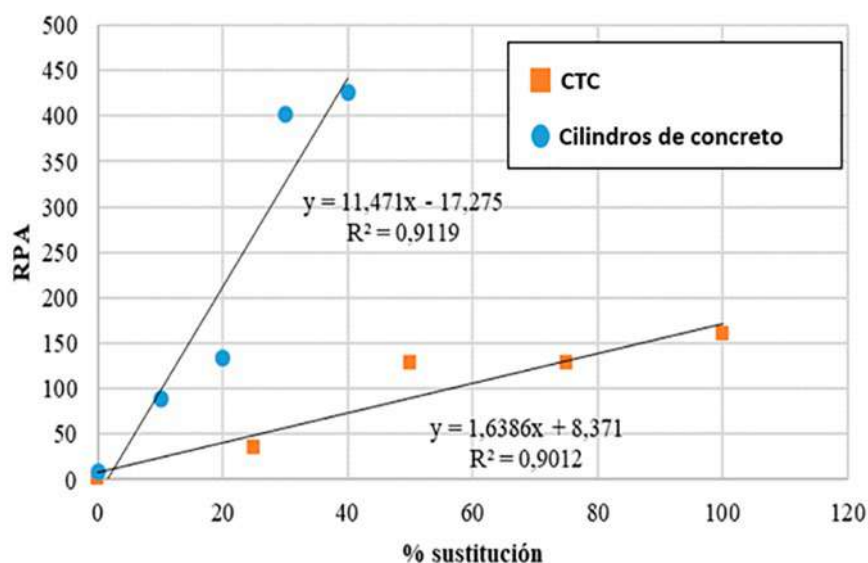


Figura 3. Correlación entre la sustitución y la RPA.

En la Figura 3 se muestra que la sustitución de emulsión es notablemente más efectiva con los cilindros de mortero presentando una tendencia preponderantemente lineal, ya en el caso de los

CTC mejora el RPA sin embargo su mejoría no llega a ser tan notable ya que la pendiente de su línea de tendencia es notablemente más baja.

De igual forma fue analizada la relación entre el CAC y el porcentaje de sustitución de emulsión para el CTC y los cilindros de mortero (Figura 4).

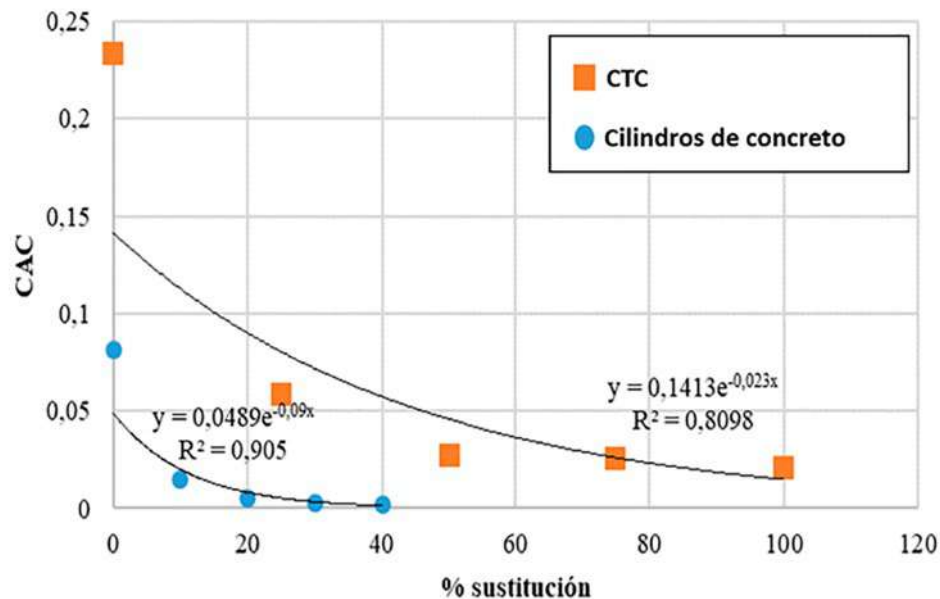


Figura 4. Correlación entre la sustitución y el CAC.

La variación del CAC en función del porcentaje de sustitución de emulsión presenta un comportamiento exponencial para los cilindros de mortero, ya que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de emulsión disminuye de forma notable el CAC con los dos materiales estudiados. La sustitución de emulsión se mostró más efectiva con los cilindros de mortero como fue mostrado en la Figura 5, la pendiente de la línea de tendencia es más elevada cuando es comparada al CTC, llegando a valores de CTC más bajos con un menor porcentaje de emulsión. De igual forma la variación de la porosidad en función del porcentaje de sustitución de emulsión presenta un comportamiento exponencial para los cilindros de concreto como visualizado en la Figura 5.

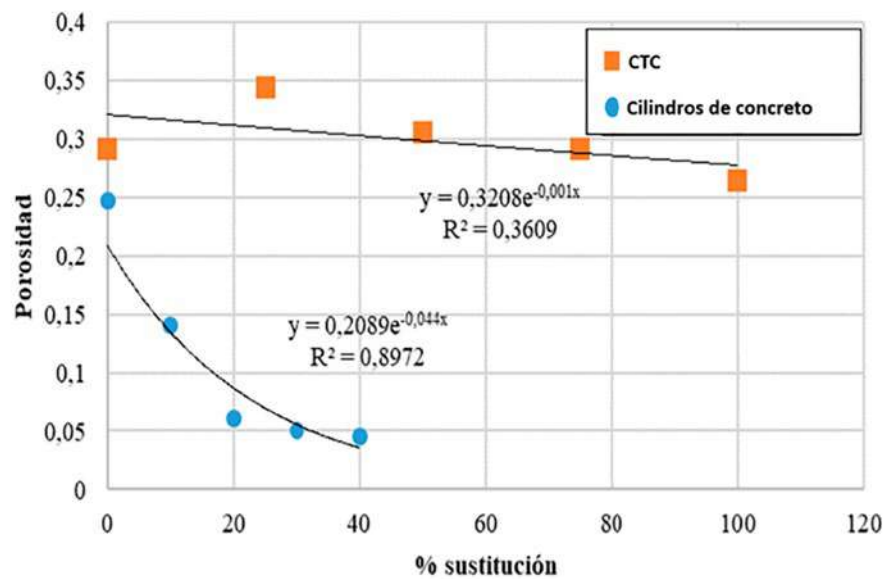


Figura 5: Correlación entre la sustitución y la porosidad.

Dadas las correlaciones mostradas en la Figura 6, las disminuciones más grandes de porosidad se presentaron con los bloques de concreto, esto debido a ser un material más homogéneo cuando comparado al CTC. En el caso de los CTC las disminuciones de porosidad fueron más bajas debido a que es un material más heterogéneo lo que explica la baja efectividad de la reducción de la porosidad.

En la Figura 6 se presentan los *boxplot* relacionados a CAC, porosidad efectiva y RPA en función de los porcentajes de sustitución de emulsión.

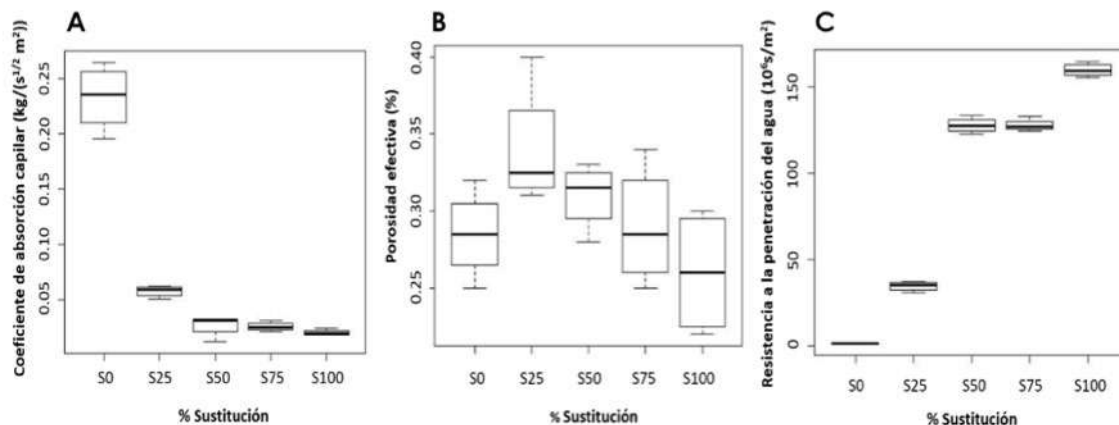


Figura 6: Boxplot: A) CAC, B) Porosidad efectiva y C) RPA.

Como fue mostrado en la Figura 6A, la referencia y la adición de emulsión del 25% fueron las mezclas que presentaron diferencia significativa con los otros porcentajes analizados. La adición del 50%, 75% y 100% de emulsión no presentaron diferencia significativa entre ellas, por lo tanto, después del 50% de adición no es tan funcional continuar aumentando la emulsión en el material para reducir el coeficiente de absorción capilar.

En la Figura 6B se muestran los resultados del *boxplot* de los porcentajes de adición de emulsión y la porosidad efectiva del material. La referencia no presentó diferencia significativa con ningún porcentaje de sustitución analizado, luego la adición de emulsión no influye tanto esta propiedad estadísticamente hablando.

Finalmente, en la Figura 6C se puede analizar que la referencia presenta diferencia significativa con todos los porcentajes de adición de emulsión analizados al igual que la adición del 25%. Por otro lado, las adiciones de 50% y 75% no presentan diferencia significativa entre ellas.

4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que el uso de emulsión asfáltica en frío permite mejoras con relación CAC, RPA y porosidad, tanto en cilindros de mortero como en CTC, logrando incrementos porcentuales de 10224,8% para RPA del CTC con 100% de emulsión asfáltica y de 4589,03% para los bloques de concreto con 40% de aditivos respectivamente; además el uso de la emulsión permite una reducción del CAC del 91.4% con 100% de emulsión para los BTC y del 97.5% para las muestras cilíndricas en mortero con 40% de aditivo. De igual manera se presentaron mejoras con relación a la reducción de la porosidad en ambos materiales analizados, para el CTC con 100% se presentó una reducción de 10.3% y para los bloques de concreto se presentó una reducción del 81.8% con 40% de emulsión respectivamente.

Además de lo anterior, fue verificada la correlación proporcional entre el porcentaje de sustitución de emulsión y el RPA para los dos materiales analizados, siendo la sustitución más efectiva siempre en los cilindros de mortero dada la naturaleza más homogénea del material. Por otra parte, la relación de CAC y porcentaje de sustitución de emulsión es inversamente proporcional para los datos analizados, siendo mayormente efectiva esta reducción en los cilindros de mortero.

En el caso de la porosidad, esta fue ampliamente reducida con el aumento de la sustitución de emulsión, las mayores reducciones se presentaron en el caso de los cilindros de mortero, tal hecho es explicado por la homogeneidad del material.

Con relación a los resultados obtenidos entre los dos materiales analizados, tierra y mortero, se determina que el uso de emulsión asfáltica conlleva a la mejora de las características de impermeabilidad de ambos materiales, lo que nos permite establecer que el uso de compuestos bituminosos puede contribuir al incremento de la durabilidad de los sistemas de mampostería; es por esta razón que independiente del tipo de construcción aplicada, bien sea tradicional, donde los morteros juegan un gran papel en los sistemas constructivos ó construcción vernácula donde la tierra es uno de los principales materiales utilizados, la humedad en ambas tipologías de construcción genera deterioro, por lo siguiente los compuestas bituminosos se convierten en una alternativas eficiente a la solución de problemas ligados a las humedades debidas a la permeabilidad y porocidad de materiales, logrando una mayor eficiencia este aditivo bituminoso en los morteros sin menospreciar su uso con relación a la tierra compactada.

Para futuras investigaciones se recomienda analizar el uso de las emulsiones asfálticas como reductores de la presencia de eflorescencias en bloques de concreto y BTC (Bloques de tierra comprimida), lo anterior como elemento de mejora de la durabilidad de mampuestos para sistemas de mampostería.

5. REFERENCIAS

Adam E. and Agib, A. (2001) “*Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan*”, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, Francia.

Almusallam, A. A. Khan, F. M. Dulaijan, S. U. and Al-Amoudi, O. S. (2002) Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability, *Cement and Concrete Composites*, 473–481. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00087-2](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00087-2).

American Society for Testing and Materials (ASTM), C 1585-04. (2007) Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes, ASTM Annual book of standards, West Conshohocken, Pa.

American Society for Testing and Materials (ASTM), D 422. (2007) Standard test method for particle - Size analysis of soils, ASTM Annual book of standards. West Conshohocken, Pa

Anastasopoulos, I. (2013) Building damage during nearby construction: Forensic analysis, *Engineering Failure Analysis*, 34:252–267.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.08.003>.

Badogiannis, E. G. Sfikas, I. P. Voukia, V. D. Trezos, K. G. and Tsivilis, S. G. (2015) Durability of metakaolin Self-Compacting Concrete, *Construction and Building Materials*, 82:133–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.023>.

Bai, J. (2016) “*Durability of sustainable construction materials*”, Second Edition. Elsevier Ltd.

Bołtryk, M. and Małaszkiwicz, D. (2013) Application of anionic asphalt emulsion as an admixture for concrete, *Construction and Building Materials*, 40:556–565.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.110>.

Broto, C. and Soria, V. (2005) “*Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*”, 6, Structure , Madrid, España.

Cañola, H. and Echavarría, C. (2017) Concrete blocks with paraffin wax, *Lámpsakos*, 17:14–19.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2346>.

Cañola, H., Granda-Ramírez, F., & Arroyave-Rojas, J. (2020). Emulsión asfáltica como alternativa de reducción de la presencia de eflorescencias en morteros de pega. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), 103–114. DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021009>

Cañola, H. D. Builes-Jaramillo, A. Medina, C. A. and González-Castañeda, G. E. (2018) Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos bitumen emulsión, *Tecnológicas*, 21(43):135–145. DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.1061>.

Carrer, P. Wargocki, P. Fanneti, A. Bischof, W. De Oliveira, E. Hartmann, T. Ke`halopoulos, S. Palkonen, S. and Seppänen, O. (2015) What does the scientific literature tell us about the ventilation e health relationship in public and residential buildings?, *Building and Environment*, 94 (1):273-286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.011>.

Cho, B. Park, D. Kim J. and Hamasaki, H. (2017) Study on the heat-moisture transfer in concrete under real environment, *Construction and Building Materials*, 132:124–129.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.121>.

Cui, C. Yuan, Z. and Li, Y. (2012) Fly-Ash Usage in New Cement-Based Material for Concrete Waterproofing, *Advanced Materials Research*, 535–537:1902–1906.
DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.535-537.1902>.

- Falchi, L. Müller, U. Fontana, P. Izzo F. C. and Zendri, E. (2013) Influence and effectiveness of water-repellent admixtures on pozzolana-lime mortars for restoration application, *Construction and Building Materials*, 49: 272–280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.030>.
- Jiménez López, L. (2005) “*Humedades en la construcción*”, CEAC, Barcelona, España.
- Karagiannis, N. Karoglou, M. Bakolas, A. Krokida M. and Moropoulou, A. (2017) Drying kinetics of building materials capillary moisture, *Construction and Building Materials*, 137: 441–449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.094>.
- Lanzón M. and García-Ruiz, P. A. (2009) Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars made with powdered waterproofing additives, *Construction and Building Materials*, 23(10):3287–3291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.05.002>.
- Litvan, G. G. (1996) Waterproofing of parking garage structures with sealers and membranes: the Canadian experience, *Construction and Building Materials*, 10(1):95–100. DOI: [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00061-5](https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00061-5).
- Monjo Carrió, J. and Maldonado Ramos, L. (2001) “*Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*”, MUNILLALER, Barcelona, España.
- Muhammad, N. Z. Keyvanfar, A. Zaimi, M. Majid, A. Shafaghat, A. and Mirza, J. Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches, *Construction and Building Materials*, 101:80–90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.048>.
- Othman, N. L. Jaafar, M. Harun W. M. and Ibrahim, F. (2015) A Case Study on Moisture Problems and Building Defects, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 170:27–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.011>.
- Pereira, C. De Brito, J. and Silvestre, J. D. (2018) Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings, *Engineering Failure Analysis*, 90:103–115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.028>.
- Saija, L. M. (1995). Waterproofing of portland cement mortars with a specially designed polyacrylic latex, *Cement and Concrete Research*. 25(3):503–509. DOI: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00039-F](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00039-F).
- Shoemaker, R. C. and House, D. E. Sick building syndrome (SBS) and exposure to water-damaged buildings: Time series study, clinical trial and mechanisms, “*Neurotoxicology and Teratology*”, 28:573–588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2006.07.003>.
- Silva, E. F. Morerira, M. Manzano, M. A. and Blanco, R. (2017) Case study of permeability-reducing admixture use in anti-flotation slabs: building in Brasilia, Brazil, *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 2 (1):1- 9. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41024-016-0014-5>.
- Teng, L. Huang, R. Chen, J. Cheng A. and Hsu, H. (2014) A Study of Crystalline Mechanism of Penetration Sealer Materials, *Materials*, 7(1):399–412. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma7010399>.

Tokimatsu, K. Tamura, S. Suzuki H. and Katsumata, K. (2012) Building damage associated with geotechnical problems in the 2011 Tohoku Pacific Earthquake, *Soils and Foundations*, 52(5): 956–974. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2012.11.014>.

Tsukagoshi, M. Miyauchi, H. and Tanaka, K. (2012) Protective performance of polyurethane waterproofing membrane against carbonation in cracked areas of mortar substrate, *Construction and Building Materials*, 36: 895–905. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.072>.

UNE: PrUNE 83.982 (2007). Durabilidad del hormigón. Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido, Método Fagerlund.

Wilson, M. A. Hoff, W. D. and Hall, C. (1994) Water movement in porous building materials—XI. Capillary absorption from a hemispherical cavity, *Building and Environment*, *Building and the Environment*, 29(1):99–104. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(94\)90058-2](https://doi.org/10.1016/0360-1323(94)90058-2).

Zhu, Y. Kou, S. Poon, C. Dai, J. and Li, Q. (2013) Cement & Concrete Composites Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Composites*, 35(1):32–38.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.008>.

Zürcher, C. and Frank, T. (2014) “Physique du bâtiment: construction et énergie”, 1st ed. vdf Hochschulvlg AG an der ETH Zürich. Zürich. Alemania.

Análise do desempenho térmico dos sistemas de vedações vertical confeccionados com alvenaria de rochas

Helena. Rodrigues Leite^{1*}, Roberto. Christ², Fernanda Pacheco³, Hinoel Zamis Ehrenbring⁴,
Maria Fernanda de Oliveira⁵
*e-mail: helenarleite93@gmail.com

¹ Especialista em Engenharia Civil, pelo Curso de Especialização em Patologia e Desempenho das Construções da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Porto Alegre/RS, Brasil.

² Doutor em Engenharia Civil, Professor e Pesquisador da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS- itt Performance, São Leopoldo/RS, Brasil.

³ Doutora em Engenharia Civil, Professora e Pesquisadora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS- itt Performance, São Leopoldo/RS, Brasil.

⁴ Doutor em Engenharia Civil, Pesquisador da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS- itt Performance, São Leopoldo/RS, Brasil.

⁵ Doutora em Engenharia Civil, Professora e Pesquisadora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS- Coordenadora geral do itt Performance, São Leopoldo/RS, Brasil.

RESUMO

Durante o desenvolvimento das civilizações uma série de construções foram constituídas a partir de rochas. Atualmente, muitas delas se tornaram patrimônios históricos e culturais. Com a homologação da norma de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013), foi possível identificar entre os profissionais do setor da construção civil a importância de se considerar o desempenho térmico das edificações, entre outros, objetivando melhorar o conforto do usuário. Assim, este artigo busca analisar e comparar a resistência, transmitância e capacidade térmica de sistemas de vedação vertical em rochas, e verificar o atendimento dos requisitos de desempenho térmico conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para as zonas bioclimáticas do sul do Brasil. Os resultados deste trabalho mostram que as propriedades térmicas das rochas mudam não só em função da espessura dos elementos, mas também em relação à densidade do material, que culmina na diferenciação do tipo de rocha. Este artigo contribuiu para incrementar o conhecimento sobre o desempenho térmico que cada rocha proporciona em um sistema de vedação e assim o bem estar dos usuários com relação ao conforto térmico das edificações.

Palavras-chave: desempenho térmico; rochas; sistema de vedação; patrimônios históricos e culturais.

1. INTRODUÇÃO

Durante anos, a pedra natural foi um dos principais materiais utilizados na construção civil, por apresentar grande durabilidade e ser encontrada em abundância (BRITO; FLORES, 2003). A rocha

sempre esteve presente na vida humana, desde ferramentas para serem usadas como lanças como em construções (ANTUNES LANZER, 2005). Passados os anos, segundo Brito e Flores (2003) muitas construções foram produzidas com rochas e perduram até hoje, como a Pirâmide de Gizé, a Grande Muralha da China e a Torre de Belém. Hoje, elas são atrações turísticas e patrimônios histórico-culturais.

Antunes e Lanzer (2005) destacam que a rocha basalto é abundante em toda a região nordeste do Rio Grande do Sul (RS), por este motivo, foi utilizada em diversas construções locais. Já no Nordeste do Brasil, a alvenaria feita com rocha calcária foi bastante utilizada no litoral paraibano quando os Portugueses chegaram, na realização de igrejas fortificações e outras construções coloniais por ser um material local da região (MOURA, 2013).

No passado, a escolha do artefato para confecção de paredes, se justificava pela sua durabilidade e permitia que os porões mantivessem as condições ideais de umidade e temperatura para a conservação dos alimentos (POSENATO, 1983). Anos passaram, e desenvolveram outros materiais mais leves e industrializados, que substituíram as rochas na construção de alvenarias, como blocos cerâmicos e de concreto. Brito e Flores (2003) explicam que as alvenarias com rocha hoje em dia são raras, devido ao elevado custo e à falta de mão-de-obra especializada neste tipo de construção. Ferreira et al (2017) destacam que o uso desse tipo de construção era predominante em zonas rurais, provavelmente em decorrência da dificuldade de outros insumos em tais regiões.

No entanto, ainda existem muitas construções de alvenaria com rocha, as quais pertencem a um patrimônio histórico, cultural e arquitetônico da região. É necessário analisar as condições dessas edificações e suas características de conforto. (MOURA, 2013). Percebe-se nacionalmente lacunas nessa área de investigação.

De modo complementar, é pertinente destacar que o fraco desempenho térmico das edificações é um dos responsáveis por uma série de danos patológicos à edificação e ao usuário, tais como a condensação, formação de bolor e presença de fungos, eficiência energética, entre outros (SILVA; ROTTA; GARCIA, 2020). É um problema não visível das edificações, mas é perceptível pelos usuários das edificações. O desempenho térmico de sistemas de vedações verticais pode ser analisado segundo a NBR 15575-4 (ABNT-2013) com características dos materiais, cálculos e simulação computacional.

Assim, esse estudo tem como objetivo analisar e comparar a resistência, transmitância e capacidade térmica de sistemas de vedações vertical feitas com diferentes rochas e espessuras, além de avaliar se atendem os parâmetros mínimos e máximos de desempenho térmico da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para as regiões bioclimáticas do sul do Brasil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Alvenaria

Segundo Caporrino (2018) o sistema de alvenaria de vedação vertical é o mais empregado nas construções do Brasil e no mundo com a função de dividir ambientes internos e externos. O motivo da sua ampla utilização é atribuído principalmente pelo baixo custo e à facilidade de execução quando comparada com outros sistemas. Brito e Flores (2005) explicam que alvenaria constitui de um conjunto de elementos de pequena dimensão, como pedras, tijolos ou blocos, sobrepostos e arrumados, ligados ou não por argamassa, compondo paredes, pontes, fundações ou muros, quando ela resiste a cargas da construção, denomina-se por alvenaria estrutural.

Conforme Silva e Moreira (2017) a vedação vertical, é constituída por paredes, esquadrias e revestimentos e é entendida como um subsistema do edifício que tem como função proteger a edificação contra a ação de agentes indesejáveis como intempéries, animais, ruído e poeira, ela define os ambientes internos e devem também oferecer segurança estrutural, estanqueidade, resistência ao fogo, isolamento térmico, isolamento acústico e durabilidade.

A função das alvenarias depende de sua localização, interna ou externa (FERREIRA, 2003). As vedações verticais exteriores têm como principal finalidade proteger o interior da construção dos agentes atmosféricos, como água da chuva e vento, a fim de proporcionar estanqueidade do interior. Também, tem como função garantir o isolamento térmico e acústico. (FERREIRA, 2003). Ainda, Ferreira (2003) cita que as construções até o início do século XX continham paredes exteriores com espessura de, aproximadamente, 65 cm e elevado peso próprio, contudo, apresentavam um comportamento deficiente no que concerne a solicitações horizontais.

Conforme Pinho (2011) como características específicas, estas paredes apresentam, de uma forma geral, uma espessura excessiva e são constituídas por materiais heterogêneos, formando elementos rígidos e pesados, com boa resistência à compressão, menor resistência ao corte e baixa resistência à flexão e tração, excetuando, neste último caso, as paredes exteriores de edifícios com andares altos.

As alvenarias em rocha, de acordo com Brito e Flores (2003) são classificadas conforme o uso da argamassa, são elas: seca, que dispensa a utilização da argamassa; e ordinária, que é constituída por rochas de formas irregulares e diversas dimensões. Ferreira et al (2017) pontuam que o uso de ligantes era uma opção na formação de tais sistemas de parede. Para compreender os requisitos que as paredes de alvenaria em rocha devem atender, é preciso entender a origem das rochas e suas propriedades químicas e físicas.

2.2 Rochas

As rochas são resultado de processos naturais como vulcões, terremotos, inundações, geleiras, entre outros, que ocorreram ao longo do tempo (ANTUNES; LANZER 2005). Conforme Moreira (2009), são agregados compostos por um ou mais minerais que representam parte da crosta terrestre e pode ser nitidamente individualizado. As pedras são rochas no estado sólido natural e com dimensões macroscópicas, o petróleo e a areia são algumas rochas que não são consideradas como pedras (MOREIRA, 2009).

As rochas utilizadas na construção de alvenaria podem apresentar naturezas distintas, elas podem ser classificadas como ígneas, sedimentares e metamórficas, de acordo com o seu processo de formação geológica, como explica Martinho (2013). Ainda segundo o autor, as rochas ígneas intrusivas são de granulação grossa, pois o resfriamento lento proporciona que os cristais cresçam lentamente, e constituiu uma das pedras mais comuns na construção civil, tais como o granito. As rochas ígneas extrusivas, possuem granulação fina, pois o rápido esfriamento faz com que os cristais não se desenvolvam bem, e tem-se como exemplo o basalto, também de relevante uso (MARTINHO, 2013). Segundo Moreira (2009) as propriedades mecânicas das rochas metamórficas variam de acordo com o nível de xistosidade (ausente, fraca ou forte), composição mineralógica e textura.

2.2.1 Classificação das Rochas

Allen e Iano (2009) citam que a ASTM C 119 classifica a pedra utilizada na construção em seis grupos: granito, calcário, pedras a base de quartzo, ardósia, mármore e outros.

De acordo com Cafezeiro (2016) os granitos são rochas ígneas, de estrutura granular compacta e cristais de grandes dimensões. Segundo Luz e Coelho (2005) consistem principalmente em quartzo, mica e feldspato. Ela possui uma porosidade geralmente muito baixa, além disso, é considerado uma pedra sólida forte e durável, resistentes às intempéries (ALLEN; IANO, 2009). Possui diversas cores, do mais claro ao mais escuro, podendo ser branco, amarelo, verde, marrom, azul, cinza, vermelho e preto. (REDAÇÃO, 2020). O basalto, assim como o granito, é classificado como uma rocha magmática bastante densa e durável (ALLEN; IANO, 2009). Esta rocha é encontrada coloração acinzentado escuro, classificando-se como máfica (cores escuras) (FERREIRA, 2018a).

Conforme Allen e Iano 2009, o calcário é um dos dois principais tipos de rocha sedimentares aplicado na construção civil. Encontra-se em forma altamente estratificada e ou em depósitos que apresentam pouca estratificação (arenito) (ALLEN; IANO, 2009). De acordo com Sampaio e Almeida (2005) a calcita (CaCO_3) é o principal componente dos calcários e mármore com alta pureza. Cafezeiro (2016) cita que os calcários possuem elevada porosidade e pouca resistência aos agentes atmosféricos, sendo suscetível a danos por congelamento. Alguns calcários densos podem ser polidos, deste modo são classificados como mármore, mas a maioria é classificado com vários graus de textura superficial (ALLEN; IANO, 2009). A coloração das rochas calcárias pode alternar entre branca, cinza, preto, vermelho, amarelo, azul e verde (FERREIRA, 2018b)

De acordo com Allen e Iano (2009), o arenito é o segundo tipo de rocha sedimentar mais usado na construção civil. Apresentam, em suas generalidades, quartzo, sílica, mica e feldspato como minerais fundamentais, variando em razão das rochas mães que deram origem ao material lítico (CAFEZEIRO, 2016). Os arenitos possuem variações de cores de acordo com a formação e os materiais cimentantes, sendo essas cores cinza, amarela, branca e vermelha (FERREIRA, 2018c).

Conforme Rodrigues (2016), a ardósia é uma pedra metamórfica também utilizada na construção civil, composta de argila ou cinzas vulcânicas. É densa e dura, sendo fácil separá-la em lâminas, útil para pavimentações, telhas e finos revestimentos de parede (ALLEN; IANO, 2009). Rodrigues (2016) explica que a dureza é média, possui baixa porosidade, alta resistência mecânica, alto nível de absorção d'água e alta resistência à ácidos, sendo uma opção para revestir pavimentos, paredes, fachadas, tampos de mesas e outros objetos de decoração, tanto de uso interno como externo. Sua coloração depende dos seus constituintes mineralógicos, as mais comuns são, cinzenta e preta, dependendo do teor de matéria orgânica transformada em grafita, e verde, com clorita. As menos comuns são vermelha e púrpura, que contêm compostos férricos (BINDA, 2019).

Segundo Dalmas (2019) o mármore é um dos principais grupos de rochas metamórficas, formado a partir de calcário, são macias, pouco abrasivas, e com pouca resistência às intempéries, tem menor porosidade e de absorção de água (DALMAS, 2019). É facilmente esculpido e polido, possuindo uma variedade de cores e texturas. Em termos mecânicos é uma pedra frágil e pouco resistente, por isso, mais suscetível a riscos e lascas (ALLEN; IANO, 2009). Sua cor é comumente branca, no entanto, na região em Caçapava do Sul há variedades de cores desta rocha. (DALMAS apud FABRIS, 2019)

Já o grupo de outras rochas, segundo Allen e Iano (2009), inclui rochas como travertino, uma rocha calcítica (composição química idêntica ao do calcário) relativamente rara. Também são classificados como outros as pedras alabastro, xisto e a pedra sabão (ALLEN; IANO, 2009). Conforme Silva apud Padula e Costa Neto (2017) o xisto tem coloração acinzentada, cinza-escuro, castanha e negra.

2.3 Propriedades Termofísicas dos Materiais

A densidade é uma grandeza estabelecida pela razão entre a massa de uma determinada substância, que, no processamento mineral, pode ser uma amostra de rocha, minério ou mineral, e o seu volume (Atkins e Jones, 2001). Matematicamente, a densidade (d) é a razão entre a massa de uma substância (m) e o seu volume (V) (ATKINS; JONES, 2001).

Uma das principais propriedades termofísicas dos materiais utilizados é a condutividade térmica. Conforme Incropera e Dewitt apud Rosemann (2011) a condutividade térmica (λ) é a capacidade do material de transportar calor, e corresponde a taxa de calor transferida ao longo da espessura de um material por unidade de diferença de temperatura, e é expressa em W/m.K , no sistema internacional de medidas. Ainda Rosemann (2011) explica que quanto menor a condutividade térmica do material, maior isolamento térmico ele oferece. Complementarmente, materiais com elevado calor específico armazenam altas quantidades de calor, e contribuem para o atraso térmico nos sistemas construtivos. Tanto a condutividade térmica quanto p calor específico

dos materiais, são relacionados às suas espessuras e densidades, para que se possa concluir sobre seu desempenho térmico. Sendo assim, a eficiência de uma parede em fornecer isolamento térmico depende da baixa condutividade térmica e da elevada capacidade térmica.

Já a resistência térmica é descrita por Costa (2003) como a propriedade de um sistema ou material suportar a transmissão de calor, e é obtida pelo cociente da espessura pela condutividade térmica. Portanto, quanto menor for a condutividade térmica e maior a espessura do elemento, maior será sua resistência térmica. Conforme a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), a resistência térmica total (R_T) é a soma do conjunto de resistências térmicas parciais correspondentes às camadas de um elemento ou componente, acrescentando as resistências superficiais interna e externa.

O cálculo da resistência térmica (R_T , em $m^2.K/W$) é feito de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2008), sendo a relação entre sua espessura da camada (e , em m) e condutividade térmica (λ , em $W/m.K$), expressa na Equação 1.

$$R_T = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

A resistência térmica de ambiente a ambiente representa os efeitos das trocas de calor por radiação e convecção entre as superfícies do material e o meio que circunda (OLIVEIRA, 2020). A NBR 15220-2 (ABNT, 2008) expressa a resistência térmica superficial na Equação 2.

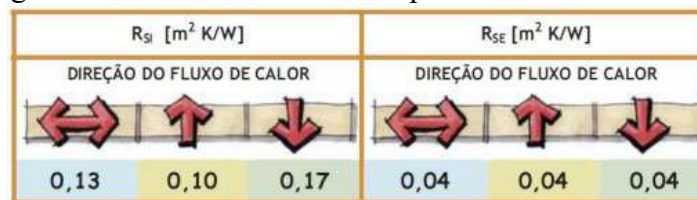
$$R_T = R_{se} + R_T + R_{si} \quad (2)$$

Onde:

R_T – resistência térmica de superfície a superfície em $((m^2.K)/W)$;

R_{se} e R_{si} – resistências superficiais externa e interna, respectivamente obtidas na Figura 1 abaixo.

Figura 1 – Resistência térmica superficial interna e externa



Fonte: Lamberts et. al. (2014) Adaptado da NBR 15220-2 (ABNT, 2008)

A transmitância de calor ou térmica (U) constitui o inverso da resistência térmica de um elemento (MENDONÇA, 2005). A NBR 15220-2 (ABNT, 2008) apresenta a Equação 3 abaixo.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

Onde:

U – transmitância térmica ($W/m^2.K$);

R_T – resistência total do elemento $((m^2.K)/W)$.

Por fim, a capacidade térmica ou calor específico, segundo Costa (2003), indica a quantidade de calor necessário para variar em 1 K por m^2 sua temperatura. A NBR 15220-2 (ABNT, 2008) informa que a capacidade térmica pode ser determinada pela Equação 4 a seguir.

$$CT = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (4)$$

Onde:

CT – capacidade térmica de um componente em $(KJ/(m^2.K))$

λ_i – condutividade térmica do material da camada i^a ($W/(m.K)$);

R_i – resistência térmica da camada i^a $((m^2.K)/W)$;

e_i – espessura da camada em (m);

c_i – é o calor específico do material da camada i^a ($kJ/(kg.K)$);

ρ_i - é a densidade de massa aparente do material da camada i^a em (kg/m^3).

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

No Brasil, há lacuna de pesquisas que envolvam a utilização de rochas em vedações verticais e a análise do desempenho nessas construções. Para tal, cabe analisar o tipo de rocha utilizada, para a determinação de indicadores físicos como: densidade; condutividade térmica e calor específico, as quais caracterizam mais profundamente o material e definirá seu desempenho térmico. Duas normas nacionais se aplicam nesse caso: a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), referente ao desempenho de sistemas verticais de vedação e a série NBR 15220-1 (ABNT, 2005), 15220-2 (ABNT, 2008) e 15220-3 (ABNT, 2005) sobre Desempenho Térmico de Edificações.

Desta forma, analisou-se a resistência, transmitância e capacidade térmica das alvenarias feitas com rochas granito, xisto, ardósia, basalto, mármore, calcário e arenito para espessuras de 30, 40, 50, 60 e 65 cm, considerado os cálculos da NBR 15220-2 (ABNT, 2008) mencionados no referencial teórico e verificou se atendem aos requisitos de desempenho térmico sugeridos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Foram escolhidas essas medidas de espessuras para base de cálculo baseados em artigos e monografias sobre alvenarias de vedação em rocha.

3.1 Propriedades Térmicas

A Tabela 1 apresenta a densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e o calor específico (c) para diferentes rochas segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2008) que será utilizado para o cálculo de resistência térmica e capacidade térmica.

Tabela 1 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) dos materiais

Material		Densidade de Massa Aparente: ρ (kg/m^3)	Condutividade térmica: λ ($\text{W}/(\text{m.K})$)	Calor Específico: c ($\text{kJ}/(\text{kg.K})$)
Pedras (Incluindo junta de assentamento)	Granito	2300 a 2900	3,0	0,84
	Xisto, Ardósia	2000 a 2800	2,2	0,84
	Basalto	2700 a 3000	1,6	0,84
	Mármore	≥ 2600	2,9	0,84
	Calcários	≥ 2600	2,9	0,84

Fonte: Adaptado da NBR 15220-2 (ABNT, 2008).

Segundo Cafezeiro (2016) o arenito, que não é citado na NBR 15220-2 (ABNT, 2008), apresenta um peso específico aparente de aproximadamente $2.651 \text{ kg}/\text{m}^3$, sendo considerada uma pedra leve. Sua condutividade térmica é de $3,2 \text{ W}/(\text{m.K})$ e calor específico é de $0,71 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$ (Buntebarth et al. apud PEREIRA, 2008).

Neste trabalho considerou-se R_{si} de $0,13 ((\text{m}^2.\text{K})/\text{W})$ e R_{se} de $0,04 ((\text{m}^2.\text{K})/\text{W})$, pois representa a direção do fluxo de calor para vedações verticais.

3.2 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) indica o zoneamento bioclimático brasileiro, separado em oito zonas. Cada zona possui um conjunto de recomendações técnico-construtivas para o desempenho térmico das edificações. Neste trabalho foram avaliadas as zonas bioclimáticas do Rio Grande do Sul, que correspondem às Z1, Z2 e Z3.

3.3 Transmitância Térmica

Os valores máximos de Transmitância Térmica (U) que as paredes externas devem atingir estão apresentadas na Tabela 2 conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Tabela 2 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica U (W/m ² .K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ¹ ≤ 0,6	α ¹ > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
¹ α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: Adaptado da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

3.4 Capacidade Térmica

Os valores mínimos que a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) recomenda para capacidade térmica (CT) das paredes externas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica CT (kJ / m ² .K)	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: Adaptado da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

4. RESULTADOS

Com os dados mencionados, calculou-se a resistência, transmitância e capacidade térmica das rochas granito, xisto, ardósia, basalto, mármore, calcário e arenito para espessuras de 30, 40, 50, 60 e 65 cm através do cálculo simplificado da NBR 15220-2 (ABNT, 2008). Seguem a seguir os resultados encontrados.

4.1 Resistência Térmica

A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados de resistência térmica em alvenaria de vedação realizada com diferentes rochas com junta de assentamento.

Tabela 4 - Resistência térmica superficial em Alvenarias de Vedação feitas com diferentes rochas e espessuras

Resistência Térmica Conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2008)					
Rochas	Resistência térmica superficial em (m ² .K)/W para espessuras de:				
	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	65 cm
Granito	0,27	0,30	0,34	0,37	0,39
Xisto e Ardósia	0,31	0,35	0,40	0,44	0,47
Basalto	0,36	0,42	0,48	0,55	0,58
Mármore	0,27	0,31	0,34	0,38	0,39
Calcário	0,27	0,31	0,34	0,38	0,39
Arenito	0,26	0,30	0,33	0,36	0,37

Verifica-se que os valores variam de 0,26 (m².K)/W utilizando-se o arenito, com 30cm de espessura, a 0,58 (m².K)/W usando-se o basalto, com 65 cm de espessura. A espessura é proporcional a resistência térmica, já o coeficiente de condutividade térmica é inversamente proporcional a mesma.

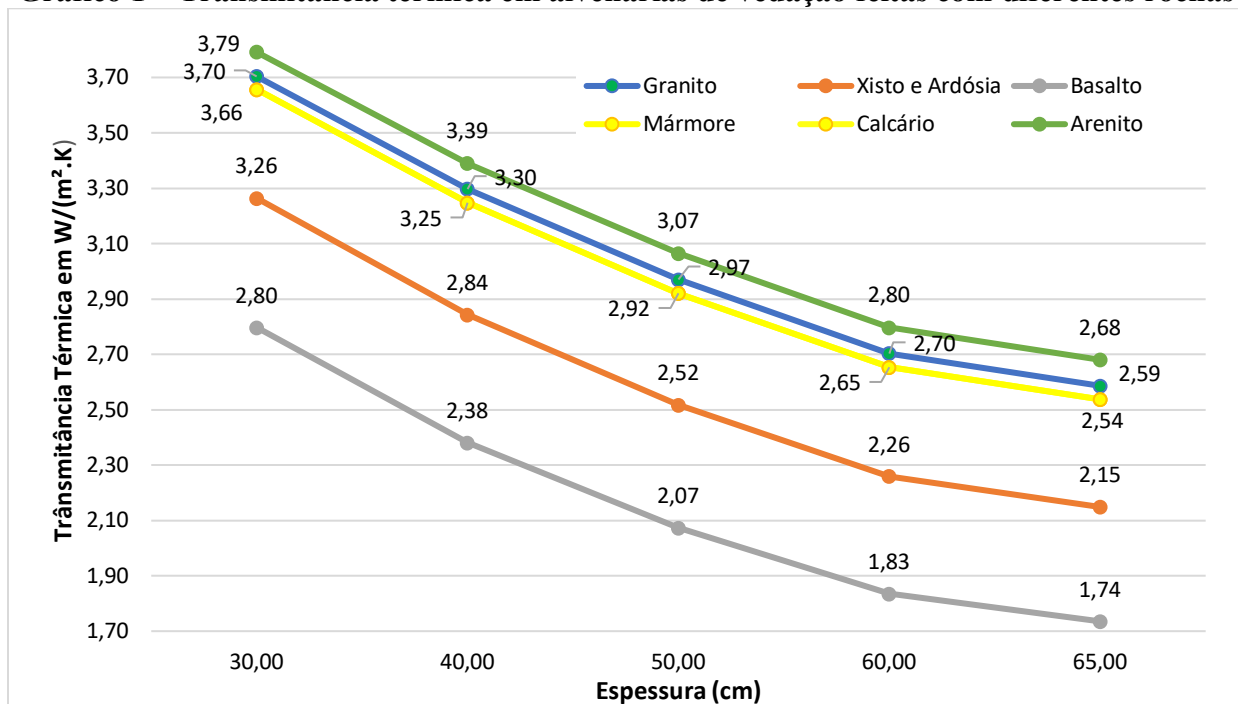
A resistência térmica indica quanto o material vai suportar a passagem de calor na alvenaria de vedação. Desta forma, as alvenarias com basalto são as que maior tem resistência térmica e a rocha de arenito com menor resistência térmica. Observa-se também, que as alvenarias com granito, mármore e calcário possuem os mesmos valores para espessuras de 30, 50 e 65 cm, e variando apenas 0,1 (m².K)/W do granito para espessuras de 40 e 60 cm.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) não estipula valores mínimos ou máximos de resistência térmica para alvenarias de vedação, no entanto, a resistência térmica é essencial para o cálculo da transmitância térmica, visto que ela é o inverso da resistência.

4.1 Transmitância Térmica

O Gráfico 1 expõem os resultados de transmitância térmica em alvenaria de vedação realizada com diferentes rochas com junta de assentamento considerando a resistência térmica da Tabela 4.

Gráfico 1 – Transmitância térmica em alvenarias de vedação feitas com diferentes rochas



Observa-se que os valores de transmitância térmica (U) variam de 1,74 W/(m².K) para o basalto, com 65cm de espessura a 3,79 W/(m².K) para o arenito, com 30cm de espessura. Assim, é visto que quanto maior a espessura e menor a condutividade térmica, menor é o resultado da transmitância térmica.

Conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) há requisitos mínimos de transmitância térmica para alvenarias de vedação exteriores, conforme apresentados na Tabela 2. Analisando os valores para a zona Z1 e Z2, ambas devem ser menores ou igual a 2,5 W/(m².K).

Desta forma, para estas zonas, analisou-se os valores mínimos para transmitância térmica das alvenarias de vedação em rocha deste estudo, e observou-se os seguintes resultados:

- O basalto, atinge os valores mínimos a partir de 40cm de espessura, com 2,38 W/(m².K);
- O xisto e ardósia quase atingem os valores mínimos com 50cm de espessura, contudo, ficam com 0,2 W/(m².K) a mais do que a norma de desempenho estipula. Desta forma, ela começa a atender a partir de 60cm de espessura com valor de 2,26 W/(m².K);

- As demais rochas não atendem a norma de desempenho térmico. O mármore, calcário por pouco atingem os valores mínimos para espessuras de 65cm de espessura, com 2,54 W/(m².K) e após o granito com 2,59 W/(m².K) com a mesma espessura. E o arenito é o que tem maiores valores, tendo 2,68 W/(m².K) com 65cm de espessura ficando 0,18 W/(m².K) acima do valor mínimo.

Analisando a transmitância térmica de cada sistema para a zona Z3, nota-se que os valores mínimos de transmitância térmica dependem da absorvância à radiação solar da superfície externa da parede. Então, como a norma não estipula valores de absorvância para rochas, classificou-se a absorvância das rochas a partir de suas cores, conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2008).

Observa-se que para cores claras, a absorvância tende a ser menor que 0,6 e para cores mais escuras, maiores que 0,6. Então, adotou-se que para atender a norma de desempenho, a 15575-4 (ABNT, 2013), na zona Z3, a transmitância térmica, para as rochas claras, devem ser iguais ou menores que 3,7 W/(m².K) e para as rochas escuras, iguais ou menores que 2,5 W/(m².K). Como o requisito para rochas escuras é igual para zona Z1 e Z2, adotou-se a mesma análise realizada destas zonas para rochas escuras na zona Z3.

Desta forma avaliou-se as rochas claras, para a zona Z3, que tendem a possuir absorvância térmica menor que 0,6, e desta forma, a sua transmitância térmica deve ser igual ou menor que 3,7 W/(m².K). Começando a análise pelos valores mínimos de transmitância térmica:

- A rocha basalto, que possui os menores valores de transmitância térmica, é caracterizada pela sua coloração escura, provavelmente sua transmitância é acima de 0,6, assim não se enquadra na análise na zona 3, para absorvância menor de 0,6;
- Em seguida, o xisto e a ardósia apresentam algumas colorações claras, o xisto como cores acinzentada e castanha e a ardósia acinzentada e verde clara. Para essas colorações claras, verificou-se que para todas espessuras elas atendem a norma, o valor mais alto é de 3,26 W/(m².K), para espessura de 30cm, sendo aproximadamente 1,13 vezes menor que o limite sugerido, que é 3,7 W/(m².K). O menor valor foi de 2,15 W/(m².K), tendo uma boa margem até o valor máximo que a norma permite;
- Após o xisto e ardósia, vem o calcário e mármore, os quais possuem os mesmos valores de transmitância térmica e ambos têm variações de cores claras, como branco, amarelo, acinzentado (se aproximando da cor “alumínio”) e verde claro. Observa-se que para essas cores, todas espessuras analisadas atendem a norma. O valor mais alto encontrado foi de 3,66 W/(m².K), para espessura de 30cm, tendo a 0,04 a menos que a norma permite. E o resultado do valor mais baixo de 2,54 W/(m².K), sendo aproximadamente 68,6% do valor máximo;
- A seguir, rocha granito apresenta valores mais altos para transmitância térmica, como ela possui diversas cores, do mais claro ao mais escuro, estabeleceu-se as cores mais claras como branco, amarelo, verde claro e acinzentado (esse último por se assemelhar com a cor alumínio). Assim, para essas determinadas cores, avaliou-se que para todas as espessuras, os valores atendem a norma, sendo o valor mais alto para 30cm de espessura, de 3,7 W/(m².K), atingindo o limite que a norma estabelece, e o menor resultado fica em 2,59 W/(m².K);
- E por último, o arenito que apresenta cores claras como cinza (se assemelhando a cor “alumínio”), amarelo e branca. Atendem a norma a partir da espessura de 40cm, com 3,39 W/(m².K). A espessura de 30cm, tem 3,79 W/(m².K) ultrapassando em 0,09 W/(m².K) exigido pela norma.

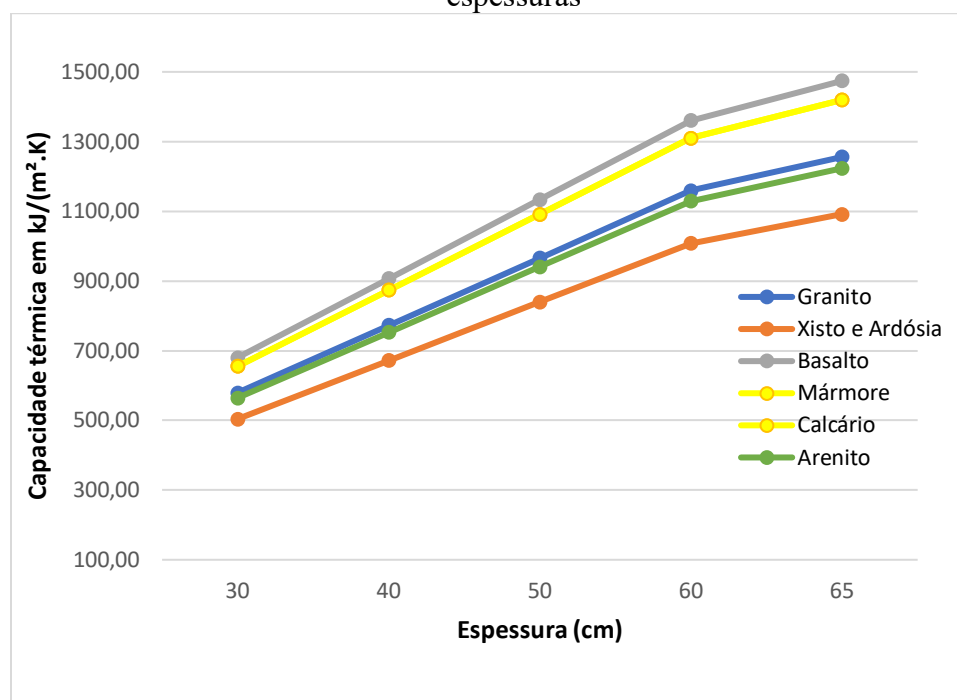
4.2 Capacidade Térmica

Conforme o cálculo na NBR 15220-2 (ABNT, 2008), o valor estipulado para a capacidade térmica em alvenarias de vedação exteriores deve ser maior ou igual a 130 kJ/(m².K). Para este cálculo, utilizou-se os dados de calor específico e a menor densidade de massa aparente da Tabela 1, para obter os menores resultados e as diferentes espessuras. A Tabela 5 e o Gráfico 2 expõem os resultados de capacidade térmica em alvenaria de vedação realizada com diferentes rochas, com junta de assentamento.

Tabela 5 - Capacidade térmica em alvenarias de vedação feitas com diferentes rochas e espessuras

Capacidade Térmica (CT) conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2008)					
Rochas	Capacidade Térmica em kJ/(m ² .K) para espessuras de:				
	30cm	40cm	50cm	60cm	65cm
Granito	579,60	772,80	966,00	1159,20	1255,80
Xisto e Ardósia	504,00	672,00	840,00	1008,00	1092,00
Basalto	680,40	907,20	1134,00	1360,80	1474,20
Mármore	655,20	873,60	1092,00	1310,40	1419,60
Calcário	655,20	873,60	1092,00	1310,40	1419,60
Arenito	564,66	752,88	941,11	1129,33	1223,44

Gráfico 2 - Capacidade térmica em alvenarias de vedação feitas com diferentes rochas e espessuras



Analisando os resultados, observa-se que para todos diferentes sistemas de vedação em rocha atendem o requisito mínimo da Norma 15575-4 (ABNT, 2013) para capacidade térmica nas Zonas 1, 2 e 3 possuindo valores superiores a 130 kJ/(m².K). O menor valor é de 504 kJ/(m².K) do xisto e ardósia, com 30cm de espessura, sendo 3,8 vezes maior que o requisito mínimo da norma de 130 kJ/(m².K). Também é visto quanto maior a espessura maior a capacidade térmica. Com isso, todas as rochas analisadas se mostram com uma grande capacidade térmica, precisando de bastante quantidade de calor para variar em 1K/m² sua temperatura, e isso é devido a seu elevado calor

específico e densidade do elemento, mesmo considerando no cálculo a menor densidade de cada rocha.

Analisando dos maiores aos menores valores, conforme a Tabela 5 e Gráfico 2:

- O sistema que possui maior capacidade térmica é com basalto com 1.474,20 KJ/(m².K), com 65cm de espessura a 680,40 KJ/(m².K), com 30cm de espessura.
- Após vem os com mármore e calcário, com 1.419,60 KJ/(m².K), com 65cm de espessura a 655,20 KJ/(m².K), com 30cm de espessura.
- O com granito fica no meio-termo entre as rochas analisadas conforme o Gráfico 2, tem valores que variam do 1255,80 KJ/(m².K), com 65cm de espessura a 579,60 KJ/(m².K), com 30cm de espessura.
- Bem próximo aos valores com granito, mas com valores menores, vem o arenito, 1223,44 KJ/(m².K), com 65cm de espessura a 564,66 KJ/(m².K), com 30cm de espessura.
- E por último, os sistemas que possuem os menores valores, mas ainda tem uma ótima capacidade térmica, o xisto e ardósia 1092,00 kJ/(m².K), com 65cm de espessura a 504,00 KJ/(m².K), com 30cm de espessura.

5. CONCLUSÃO

A maioria das construções com rochas trazem um grande valor arquitetônico e cultural para as cidades. Assim, analisou-se e comparou-se a resistência, transmitância e capacidade térmica de sistemas de vedações verticais feitas com diferentes rochas e espessuras e em paralelo verificou-se se atendem os parâmetros mínimos e máximos de desempenho térmico as quais constam na norma de desempenho NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Assim, foi possível inferir que para cada rocha e espessura utilizada em um sistema de vedação, os valores divergem para resistências, transmitâncias e capacidades térmica devem ser levadas em consideração para avaliação deste desempenho térmico.

Os sistemas de vedação em basalto se destacaram por apresentarem os menores valores de transmitância térmica e maiores de capacidade térmica, entretanto, os em arenito apresentaram os maiores resultados de transmitância térmica e menores de capacidade térmica, com uma grande variação entre as duas. Assim, para transmitância térmica, foi visto que para as zonas 1, 2 e 3 (este último, para rochas consideradas escuras, com absorvância maior que 0,6) os com basalto atingem os requisitos mínimos a partir de 40 cm de espessura, com 2,38 W/(m².K), os com xisto e ardósia atendem a norma somente com 60 cm de espessura com valor de 2,26 W/(m².K) e com as demais rochas, infelizmente, não atendem a norma, nas espessuras analisadas, apresentando valores superiores a 2,5 W/(m².K). Com isso, pode-se observar que a maioria dos sistemas com rochas utilizadas não atendem os parâmetros mínimos de transmitância térmica, precisando de cuidado na decisão de qual rocha e espessura escolher no caso da realização de novas construções.

Para a zona 3, as requisitos para transmitância térmica mudam para as rochas que possuem cores claras, as quais provavelmente possuem absorvância menores ou iguais a 0,6, devem ter resultados de transmitância térmica menores ou iguais a 3,7 W/(m².K). Desta forma, os sistemas de vedações com o xisto, ardósia, calcário, mármore e granito, com cores claras, para todas as espessuras analisadas atendem a norma, sendo menores ou iguais a 3,7 W/(m².K). Já com arenito, de cores claras, começa a atender a norma com 40cm, com 3,39 W/(m².K). Como o basalto não possui cor clara, não se enquadra neste requisito desta zona para absorvância menores ou iguais a 0,6. Assim para esta zona e absorvância, fica mais evidente que se a maioria das rochas e espessuras atingem os requisitos mínimos para vedações verticais externas por este ser maior que das outras zonas.

Já a capacidade térmica para os sistemas de vedações em rochas analisados, todos possuem uma ótima capacidade térmica e isto se deve, principalmente pela a alta densidade de massa aparente das rochas. Assim, todos os sistemas analisados atendem o requisito mínimo da norma de desempenho para paredes de alvenaria exteriores, ficando além do mínimo sugerido.

Desta forma, o estudo ajudará e facilitará os arquitetos e engenheiros a determinem, de forma correta, quais rochas e espessuras proporcionam um bom desempenho térmico a se utilizar em um sistema de vedação vertical, além disso quais estarão de acordo com a norma de desempenho térmico.

Por fim, o trabalho proporcionou o conhecimento do desempenho térmico de alvenarias de vedações em rocha, na qual ajudará nos estudos das construções feitas com rochas, as quais no Brasil são poucos, valorizando assim essas construções que a maioria são patrimônios históricos e culturais.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-1:** Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15220-3.** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais — Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ALLEN, EDWARD; IANO, JOSEPH. **Fundamentos da engenharia e edificações: materiais e métodos.** 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. P.989.

ANTUNES, Janete Rotta; LANZER, Rosane Maria. **A pedra basalto como atrativo turístico em roteiros- temáticos para a região uva e vinho.** Turismo em Análise, v. 16, n. 2, p.174-190. Caxias do Sul, 2005.

ATKINS, P; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente.** Porto Alegre: Bookman, 2001, p.39-40.

BINDA, Felipe Ferreira. **Preparo e caracterização de elementos de fricção à base de resina fenólica e pó de ardósia.** Rede Temática Em Engenharia De Materiais – REDEMAT. Dissertação de Mestrado. Minas Gerais: Ouro Preto: 2019.

BRITO, JORGE.; FLORES, INÊS. **Paredes de alvenaria de pedra natural.** Instituto Superior Técnico, Mestrado Avançado em Construção e Reabilitação, Cadeira de Construção de Edifícios. Lisboa, 2003.

- CAETANO, DANIEL JORGE. **Minerais e rochas: rochas metamórficas e o ciclo das rochas.** Geologia para Engenharia Civil. São Paulo, 2012.
- CAFEZEIRO, YAN GRACO DANTAS. **Os muros antigos e as contribuições dos métodos de diagnóstico pouco ou não destrutivo para avaliação física e mecânica.** Universidade Federal Da Bahia. Faculdade De Arquitetura. Programa De Pós-Graduação Em Arquitetura E Urbanismo. Salvador, 2016.
- CAPORRINO, CRISTINA FURLAN. **Patologias em alvenarias.** 2. Ed. São Paulo:Oficina de Textos, 2018.
- COSTA, Ennio Cruz. **Física aplicada à construção: conforto térmico.** 4º ed. São Paulo, 2003.
- DALMAS, Andreas Glass. **Caracterização tecnológica com ênfase no ataque químico em mármore para uso ornamental.** Universidade Federal do Pampa. Trabalho de Conclusão de Curso II. Caçapava do Sul: 2019.
- FERREIRA, Ana Luísa. **Causas e classificações de patologias em paredes de alvenaria de pedra.** Monografia realizada na cadeira de Tecnologia de Construção de Edifícios do Mestrado em Construção, Construlink Press, Oeiras, 2003.
- FERREIRA, Letícia. **Rochas: arenito.** Geoportal – UFJF. 2018c.
- FERREIRA, Letícia. **Rochas: basalto.** Geoportal – UFJF. 2018a.
- FERREIRA, Letícia. **Rochas: calcárias.** Geoportal – UFJF. 2018b.
- FLORES, Inês; BRITO, Jorge. **Patologia e reabilitação de construção e alvenaria de pedra.** Apontamentos da cadeira de reabilitação de edifícios. Licenciatura em Arquitectura. Instituto superior técnico. Lisboa, 2005.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ª edição. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.
- LUZ; Adão Benvindo; COELHO, José Mario. **Feldspato.** Rochas e Minerais Industriais – CETEM/2005.
- MANUEL, Fernández Cánovas. **Patologia e terapia do concreto armado.** Coordenação técnica L.A. Falcão Bauer; ‘tradução de M. Celeste Marcondes, Calos Wagner Fernandes dos Santos, Beatriz Cannabrava’. São Paulo: Pini, 1988.
- MARTINHO, Caroline Thais. **Minerais e Rocha: Constituintes da Terra Sólida.** Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Faculdade de Engenharia. Geologia Aplicada. Porto Alegre, 2013.
- MENDONÇA, Paulo. **Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados.** Anexo 1 Propriedades dos Materiais e Sistemas de Fachada. Tese de doutorado. Universidade do Minho. Portugal, 2005.

MOREIRA, Anabela Mendas. **Pedras naturais**. Departamento de Engenharia Civil Área de Construção. Materiais de Construção I – 1º Semestre. Instituto Politécnico de Tomar. Escola Superior de Tecnologia de Tomar. Tomar, Portugal, 2009.

MOURA, Paulo Germano Toscano. **Reabilitação com argamassa projetada em construções históricas de pedra no litoral paraibano**. Tese submetida ao Programa de PósGraduação em Arquitetura e Urbanismo do Doutorado Interinstitucional – DINTER promovido pelas Universidades Federal da Bahia – UFBA e Federal da Paraíba, Salvador, 2013. p.160.

OLIVEIRA, Maria Fernanda. **Desempenho térmico**. Desempenho acústico, térmico e lumínico das edificações. Especialização em Patologia e Desempenho das Construções. UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS. Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2020.

PEREIRA, Emmanoelle Santos. **Determinação das propriedades térmicas das rochas do embasamento adjacente a bacia do recôncavo**. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Curso De Graduação em Geofísica. GEO213 – Trabalho de Graduação. Bahia: Salvador, 2008.

PINHO, Fernando. **Aspetos construtivos e funcionais das paredes divisórias na construção tradicional**. In LOURENÇO, Paulo; et al. – Paredes Divisórias: Passado, presente e futuro. Porto: Ed. Universidade do Minho, junho 2011.

POSENATO, J. **Arquitetura da imigração italiana do Rio Grande do Sul: assim vivem os italianos**. Porto Alegre, 1983.

REDAÇÃO. **Tipos de granito: veja fotos com cores, exemplos e outras dicas**. Decorfácil.13/03/2020. <https://www.decorfacil.com/tipos-de-granito/> (data da consulta 05/10/2020).

ROCHA, Manuel. **Propriedades índice e classificação das rochas**. In mecânica das rochas. Lisboa: LENEC, 1981. https://paginas.fe.up.pt/~geng/ge/apontamentos/Cap_3_GE.pdf (data da consulta 24/07/2020).

RODRIGUES, Elyzia. **Ardósia: durabilidade, versatilidade e preço baixo**. Blog Dica da Arquiteta. 2016. <http://www.dicadaarquitectura.com.br/2016/01/ardosia-durabilidade-versatilidade-e.html>.[aCESSADO](http://www.dicadaarquitectura.com.br/2016/01/ardosia-durabilidade-versatilidade-e.html) (data da consulta 06/06/2020).

ROSEMANN, Fernando. **Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: 2011.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos. **Calcário e Dolomito**. Rochas e Minerais Industriais. CETEM, 2005.

SILVA, Cleriston Ferreira. **Condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico em rochas ígneas e metamórficas: comportamento isotrópico e anisotrópico**. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Curso de Graduação em Geofísica. GEO213 – Trabalho de Graduação. Bahia: Salvador, 2010.

SILVA, Filipe Manuel Fernandes. **Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores.** Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL- ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS. Faculdade de Engenharia. FEUP Universidade do Porto, 2013.

SILVA, Maria de Fatima Dantas. **Pigmentos a base de xisto retornado impregnado com metais para aplicação em esmaltes cerâmicos.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Tese Doutorado. Rio Grande Do Norte: Natal, 2017.

SILVA, Patrícia Emília Villela; MOREIRA, Rodrigo Resende. **Projeto de alvenaria de vedação – diretrizes para a elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a nbr 15575.** Monografia. Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso de Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiana, 2017. P 79.

Silva, Jonas Cegelka; Rotta, Renata; Garcia, Isabel Krey. Avaliação da prendizagem em uma prova interdisciplinar sobre física térmica. Revista Areté, v. 13 n. 27. 2020.

FERREIRA, J.A.; FREITAS, M.; MATOS, M.X.G.de; MAIOR, P.M.S. Além da Pedra: Utilização de Rochas em Alvenarias nas Zonas Rurais no Nordeste do Brasil, Séculos XVII ao XX. Fundamentos (2017), vol. XIX. PP. 12-43.

Comparación de la penetración de iones cloruro en los pilotes de hormigón armado de la Terminal de Cruceros en la bahía de la Habana, Cuba

A. Castañeda^{1*}, C. Valdés¹, J. Viña¹, U. Verdecia², F. Corvo³, R. Marrero⁴

*Autor de Contacto: abel.castaneda@cnic.edu.cu

¹Laboratorio de Protección de Materiales. Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Ave. 25, Esquina 158, Cubanacán, Playa. La Habana, Cuba.

²Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Calle 100, No. 9107, entre Vento y 10 Altahabana, Boyeros. La Habana, Cuba.

³Centro de Estudios de Corrosión. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Héroe de Nacozari, No. 480 Campus VI de Investigación. San Francisco de Campeche, Campeche. México.

⁴Grupo de Investigación en Corrosión e Ingeniería de Materiales. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de La Habana. Calle 114 No. 11901 entre Ciclo vía y Rotonda, Mariano, La Habana, Cuba.

RESUMEN

El trabajo se basó en conocer el mecanismo de penetración de iones cloruro en pilotes de hormigón armado, expuestos a inmersión en agua de mar y su comparación con otros hormigones sometidos a diferentes condiciones de exposición. De esta manera, se procedió a demostrar, cómo influyó el comportamiento de la penetración de iones cloruro en la corrosión de los aceros de refuerzo en dependencia de la condición de exposición a las cuales fueron sometidos los hormigones. El comportamiento de la penetración de iones cloruro en los pilotes, en comparación con otros tipos de hormigones expuestos a la condición de exposición a la atmósfera bajo condiciones de muy elevada y extrema agresividad corrosiva de la atmósfera, resultó totalmente diferente.

Palabras clave: pilotes; cloruro; hormigón; corrosión; aceros de refuerzo.

ABSTRACT

The work was based on understanding the mechanism of chloride ion penetration in reinforced concrete piles exposed to seawater immersion and its comparison with other concretes subjected to different exposure conditions. In this way, we proceeded to demonstrate how the behavior of chloride ion penetration influenced the corrosion of the reinforcement steels depending on the exposure conditions to which the concretes were subjected. The penetration behavior of chloride ions in the piles compared to other types of concrete exposed to the condition of exposure to the atmosphere under conditions of very high and extreme aggressivity corrosion of the atmosphere was totally different.

Key words: piles; chloride; concrete; corrosion; reinforcement steel.

RESUMO

O trabalho foi baseado no conhecimento do mecanismo de penetração de íons cloruro em estacas de concreto armado expostas à imersão na água do mar e sua comparação com outros concretos sujeitos a diferentes condições de exposição. Desta forma, procedemos para demonstrar como o comportamento da penetração de íons cloruro influenciou a corrosão dos aços de reforço, dependendo das condições de exposição às quais os concretos foram submetidos. O comportamento de penetração de íons cloruro nas estacas foi totalmente diferente em comparação com outros tipos de concreto expostos à condição de exposição à atmosfera sob condições de muito alta e extrema agressividade corrosiva da atmosfera.

Palavras-chave: estacas; cloro; concreto; corrosão; aços de reforço.

1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento de la penetración de iones cloruro, ha sido muy estudiado en los elementos constructivos que componen las estructuras de hormigón armado intensamente deterioradas y de forma anticipada a causa del fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo (Helene et al, 2003; El Fattah, et al 2018). Otros estudios en probetas de hormigón simple y armado, han sido ejecutados antes de proceder con las labores de construcción. (Troconis et al, 2007; Meira et al, 2007). Todos, con el fin de obtener criterios por durabilidad que permitan garantizar plazos elevados de vida útil, a partir de los trabajos de reparación y antes de proceder con las labores de construcción. Los elementos y las probetas han estado sometidos de forma directa al impacto fuerte del ambiente agresivo en ciudades costeras de elevado potencial constructivo con climas subtropical y tropical de Cuba y a nivel mundial, principalmente en América Latina. Valores elevados de humedad relativa, acompañado de variaciones de la temperatura y deposiciones elevadas de sales de iones cloruro, garantizan las categorías de elevada (C4), muy elevada (C5) y extrema (CX) de agresividad corrosiva de la atmósfera para el acero al carbono, bien definidas en la normativa de la especialidad de corrosión atmosférica (ISO-9223:2012). Como bien se conoce, la atmósfera por su gran extensión, es el medio natural al cual se encuentran expuestas la gran mayoría de las estructuras y no solo las de hormigón armado, sino también las construidas con los materiales metálicos más usados en la industria de la construcción como son los aceros al carbono y galvanizado (Castañeda, et al 2013).

Diversas investigaciones han demostrado también el comportamiento de la penetración de iones cloruro bajo condiciones de ensayos acelerados (Angst, et al 2009). Las probetas fueron colocadas en cámaras salinas. Lo que sucede realmente es que, las condiciones de estos ensayos acelerados no simulan los procesos transitorios de la atmósfera como la formación y desarrollo del aerosol marino y los regímenes de humedad relativa y temperatura. La formación de las olas debido a la influencia del viento, hace que el aerosol marino originado, transporte las sales de iones cloruro, que tienen como fuente de procedencia el mar, antes de ser impactadas y depositadas en las superficies de las estructuras o probetas (Meira, et al 2008). Con el propósito de obtener una respuesta científica más exacta y precisa, sería más conveniente someter las probetas de hormigón simple o armado a ensayos acelerados bajo condiciones reales de exposición a la atmósfera a partir de la aplicación de un spray salino de NaCl al 3% (Castañeda, et al 2003).

Por otra lado, esta herramienta ingenieril importante de evaluación de la penetración de iones cloruro, que a partir de su comportamiento conduce a la selección adecuada de los esquemas de trabajos de mantenimiento y reparación a que serán sometidas la estructuras con un intenso deterioro o no, ha sido estudiada también bajo condiciones de laboratorio en probetas inmersas totalmente en disoluciones salinas de NaCl entre 3 y 5%. De esta forma, se simula la penetración de las sales de iones cloruro hacia diferentes profundidades en el hormigón expuesto a la condición de exposición de inmersión completa en el agua de mar (Castañeda, et al 2005).

La concentración crítica de iones cloruro libres o solubles, que inicia y desarrolla la corrosión atmosférica partiendo de la ruptura de la capa pasiva formada en el acero de refuerzo embebido en el hormigón armado, ha resultado polémico a nivel mundial (Angst, et al, 2011; Pradhan, et al 2011; Xianming, et al 2012). Cada país tiene sus especificaciones en la tecnología del hormigón a la hora de su dosificación, elaboración y colocación a pie de obra. Por otro lado, influye también las diferencias en los tipos de cementos y áridos a usar a la hora de elaborar el hormigón.

De manera general, pocos estudios han sido ejecutados basados en evaluar la penetración de iones cloruro en elementos de hormigón armado expuestos a la condición de exposición de inmersión total en agua de mar en una bahía. El trabajo tiene como objetivos, conocer el mecanismo de penetración de iones cloruro en los pilotes de hormigón armado expuestos totalmente a inmersión en agua de mar, que sostienen las losas armadas de la Terminal de Cruceros de la bahía de la

Habana, Cuba y su comparación con otros tipos de hormigones sometidos a otras condiciones de exposición. Demostrar cómo influye el comportamiento de la penetración de iones cloruro en la corrosión de los aceros de refuerzo en dependencia de la condición de exposición a las cuales fueron sometidos los hormigones.

La Terminal de Cruceros llamada Sierra Maestra, se encuentra situada en la Bahía de la Habana, en pleno Centro Histórico de la capital cubana. Se trata de una edificación significativa de estilo Ecléctico inaugurada en el año 1914 que encerró a la Plaza de San Francisco quitándole en ese sitio el acceso al mar. Es el lugar más concurrido en cuanto a la llegada de los cruceros que viajan a la isla (Figura. 1). Los resultados obtenidos permitirán conocer si es necesario o no, proceder con los trabajos y esquemas de mantenimiento o reparación.



Figura.1. Vista de la terminal de cruceros en la bahía de la Habana. La estructura de hormigón armado arriba a la derecha es la que está siendo sometida a los trabajos de ampliación.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Extracción de las probetas de hormigón simple

Siete probetas de hormigón simple en forma cilíndrica es decir, sin aceros de refuerzo de 80 mm de diámetro y 300 mm de altura, fueron extraídas de 7 pilotes expuestos a diferentes condiciones de exposición frente al agua de mar de la bahía de la Habana (Figura. 2 a) y c) haciendo uso de una máquina de extracción de testigos de marca WE de fabricación china. El pilote 5 estuvo más sometido a las condiciones de marea y salpicadura, debido a que se encontró en la parte más exterior que sostiene la loza armada. El espesor de recubrimiento de hormigón usado en los pilotes durante la construcción de la bahía es alrededor de los 100 mm (Figura 2 a).

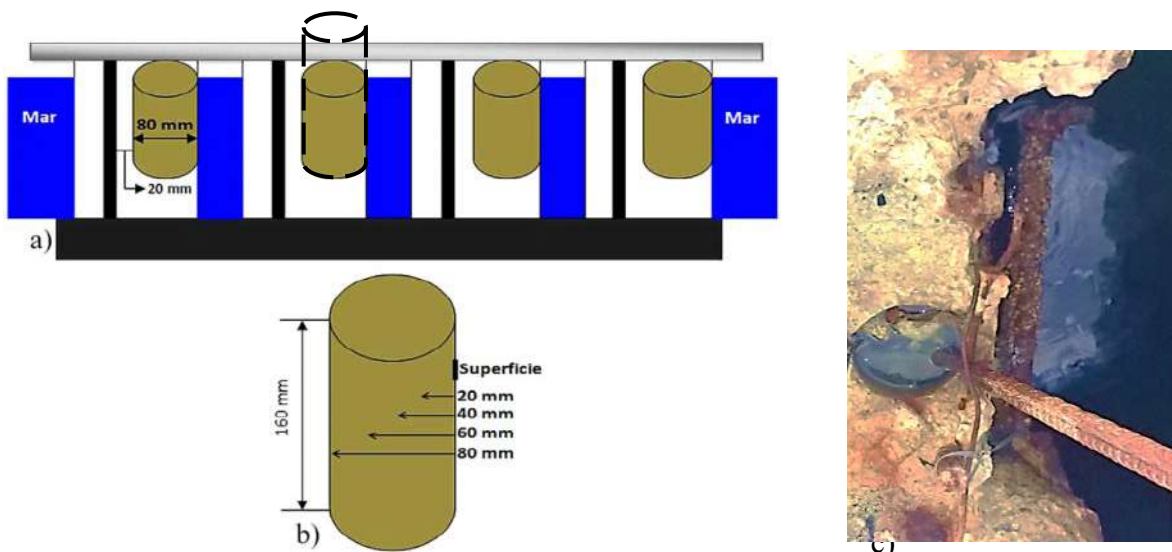


Figura.2. Esquemas y figura que muestran cómo fue realizada la toma de las probetas cilíndricas en la terminal, a) y c), así como sus dimensiones, b).

Posteriormente, las probetas fueron cortadas con una sierra de tungsteno de marca CUSHION CUT de fabricación estadounidense. De esta manera, las probetas cilíndricas quedaron con una dimensión de 80 mm diámetro por 160 mm de altura (Figura. 2 b). Se trata de la zona donde la superficie de los pilotes estuvo en contacto con el agua de mar para la evaluación completa de la penetración de iones cloruro.

2.2. Determinación de la concentración de iones cloruro totales y solubles a diferentes profundidades

La penetración de iones cloruro, se realizó a partir de la toma de muestras de polvo en las probetas cilíndricas desde la superficie lateral hasta 20, 40, 60 y 80 mm de profundidad (Figura 2 b). Se extrajeron para cada caso 40 g de muestras de polvo de las cuales, dos muestras de 10 gramos (20 g) fueron usados para la determinación de los dos valores de concentración de iones cloruro totales (Cl_t^-) y las otras dos muestras de 10 gramos para la determinación de los dos valores de concentración de iones cloruro solubles (Cl_s^-). La concentración de iones cloruro enlazados (Cl_e^-) fue determinada despejándolo de la conocida ecuación:

$$Cl_t^- = Cl_s^- + Cl_e^- \quad (1)$$

Los dos valores de concentración de iones cloruro totales (Cl_t^-), solubles (Cl_s^-) y enlazados (Cl_e^-) en porcentaje en masa de hormigón (% mh), fueron graficados en función de la profundidad de penetración con el propósito de demostrar el comportamiento de la penetración de iones cloruro en las siete probetas extraídas.

La extracción de las muestras de polvo se realizó usando un taladro de banco de fabricación inglesa de marca **ROCWELL DELTA con una escala para la medición de la profundidad de extracción. Las probetas fueron colocada de forma vertical y bien sujetadas en un martillo de banco para garantizar la penetración perpendicular de la barrena sin problema alguno, exactamente en la misma dirección de la penetración de los iones cloruro desde el mar hacia el interior de los pilotes de hormigón armado.**

Primeramente, la extracción de las muestras de polvo en la superficie fue ejecutada con una espátula muy fina hasta una profundidad no superior a 5 mm. Para las diferentes profundidades se empleó una barrena de tungsteno con un diámetro de 18 mm (RILEM TC 178-TMC:2013). De acuerdo con la información obtenida por la compañía que centra la ejecución de los trabajos de rehabilitación, el hormigón usado en la construcción de los pilotes, su árido grueso presentó un tamaño nominal de 19 mm. La extracción fue ejecutada siempre en la parte central de cada probeta y las muestras de polvo fueron almacenadas en bolsitas de nylon muy bien identificadas. Antes de ejecutar la penetración en cada muestra y profundidad, siempre fue realizada una limpieza de la barrena con un cepillo dental, con el fin de tener una mayor exactitud en las determinaciones.

La determinación de la concentración de iones cloruro totales y libres fue realizadasegún las especificaciones establecidas en la normativa (ASTM C-1218/M: 2008) haciendo uso del método químico-analítico de valoración volumétrica, donde el reactivo valorante fue el $AgNO_3$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Comportamiento de la penetración de iones cloruro en los pilotes de la terminal

Es de notar según el comportamiento (Figura 3 a), b), c), d), e) f) y g), la presencia de un perfil de penetración solamente en la probeta 5 a partir de 20 mm hasta 60 mm de profundidad para los Cl_t^- (rojo y negro) y Cl_s^- (verde y azul) (Figura 3 e). Esto se debe, a que se trató del pilote que estuvo sometido en ocasiones a la condición de marea y salpicaduras, a la hora de entrar y atracar los cruceros en la terminal muy frecuente en la temporada turística en Cuba (Noviembre-Marzo), así

como de grandes buques para las operaciones de carga y descarga en la bahía. De esta forma, puede originarse la difusividad aparente de los iones cloruro a partir de cierta profundidad debido a una mayor variación de la temperatura y la humedad existente en el interior del hormigón armado hasta ese espesor de recubrimiento de 20 mm.

a)

b)

c)

d)

e)

f)

g)

Figura. 3. Comportamiento de la penetración de iones cloruro a diferentes profundidades en las siete probetas de hormigón.

Se trata del conocido fenómeno de la cristalización de las sales, debido precisamente al incremento de la temperatura a partir del ciclo de humectación y secado a escasos espesores de recubrimiento de hormigón. Como bien se conoce, este comportamiento ha sido más típico en los elementos de las estructuras (vigas y columnas) y probetas de hormigón armado sometidos al impacto del ambiente agresivo en zonas costeras caracterizadas por una variación considerable de la temperatura y la humedad relativa de la atmósfera y deposiciones elevadas de sales de iones cloruro (Castro, 1998; Corvo, et al 2008; Meira, et al 2010). Esta variación, tiende a ocurrir en el interior del hormigón armado hasta ciertos espesores de recubrimiento (20 mm) principalmente en hormigones porosos. La agresividad corrosiva de la atmósfera ha resultado elevada (C4), muy elevada (C5) y extrema (CX). Ha ocurrido también en pilotes que sostienen la loza armada de puentes, expuestos al mar abierto en zonas de intenso rompiente de las olas, donde se originan grandes salpicaduras y zonas de marea. Para todos los casos, se ha demostrado una corrosión muy acelerada en los aceros de refuerzo provocando la formación de fisuras y grietas en el espesor de recubrimiento de hormigón, facilitando una mayor penetración de los agentes agresivos como son las sales de iones cloruro y el oxígeno (Castro, 1998).

La penetración de las sales de iones cloruro en el resto de las probetas presentaron un comportamiento muy variable (Figura 3 a), b), c), d), e) y g). En ningún momento se ilustra el comportamiento difusivo de los iones cloruro desde la superficie o partir de 20 mm hasta 80 mm de profundidad de penetración, característico en pilotes de hormigón armado y probetas sumergidas totalmente en agua de mar o en disoluciones de NaCl entre 3-5% bajo condiciones de laboratorio. Este comportamiento se debe a la permanencia constante del agua, factor imprescindible para que se origine el fenómeno de la difusión de los iones cloruro en el hormigón armado.

Por otra parte, es de observar como en las probetas desde la 1 hasta la 5 (Figuras 3 a), b), c), d), e), la Cl_e^- resultó en ocasiones superior a la Cl_s^- desde la superficie hasta las diferentes profundidades. Incluso en la probeta 5 (Figura 3 e), es de apreciar, como la Cl_e^- (colores Cyan y Magenta) presentó un comportamiento similar a la Cl_t^- . Este comportamiento, ha resultado inusual a la hora de estudiar la penetración de iones cloruro en el hormigón armado sometido principalmente a la condición de inmersión completa en agua de mar o en soluciones salinas bajo condiciones de laboratorio.

El hecho de que la Cl_e^- sea mayor que Cl_s^- ; pudiera deberse a que el hormigón usado en la construcción de los pilotes que sostienen la loza armada de la Terminal de Cruceros de la Bahía de la Habana fue elaborado con arena de mar. Aunque haya sido sometida a procesos de lavado muy eficiente, siempre los iones cloruro permanecen y usando además agua de mar en el amasado. Esto pudiera ser la condición que justifica la no aparición de un comportamiento difusivo es decir, la fuente de procedencia de los iones cloruro hacia interior del hormigón no es solo el agua de mar. De lo contrario, las concentraciones de iones cloruro, principalmente la Cl_e^- no hubiesen resultado tan elevadas.

Los pilotes existentes en la terminal no mostraron signos de fisuración y agrietamiento alguno, como un indicador muy confiable en el desarrollo de la corrosión en los aceros de refuerzo. La ocurrencia insignificante de la corrosión en los acero de refuerzo se debe a dos cuestiones fundamentales. Primero, a la baja solubilidad del oxígeno en el agua de mar. Además, para una mayor concentración de sales, el oxígeno es menos soluble aun en este caso en el agua de mar. Esto hace que no llegue una concentración crítica de oxígeno a la superficie de los aceros de refuerzo capaz de desarrollar el fenómeno de la corrosión electroquímica a pesar de que la concentración de iones cloruro sobre todo totales y solubles resultó muy elevada. De ahí, a que los elementos de

hormigón armado sometidos a inmersión total en agua de mar sean durables garantizando plazos elevados de vida útil a la estructura. Las elevadas concentraciones de iones cloruro pudiera ser una condición necesaria pero no suficiente en el origen de la corrosión.

La observación visual de algunos de los aceros de refuerzo extraído de las probetas, permite confirmar la casi no ocurrencia del fenómeno de la corrosión (Figura 4). Es de notar que estos aceros de refuerzo presentaron diferentes conformaciones. Las costras observadas de color carmelita y de espesores muy bajos, obedecen a la formación de sales de cloruro de hierro, sobre todo la de FeCl_3 . Esta sal, originada de la ruptura de la capa pasiva en el proceso electroquímico del fenómeno de la corrosión debido a la influencia de los iones cloruro, es la que tiende a reaccionar con el hidróxido (OH^-), originado en el proceso de reducción catódica del oxígeno a partir de la conocida reacción: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$. Al no existir una reducción considerable del oxígeno debido a su solubilidad muy baja y más en agua de mar, no se garantiza una concentración crítica del ion hidróxido capaz de reaccionar con la sal de FeCl_3 para de esta manera originarse los productos de corrosión correspondientes (Troconis et al 1997).



Figura. 4. Observación

refuerzos.

visual de los aceros de

Todo lo contrario resulta en los hormigones expuestos a categorías elevadas de agresividad corrosiva de la atmósfera o sometidos a ensayos acelerados bajo condiciones reales de exposición, donde existe una mayor penetración del oxígeno debido al incremento de la temperatura de la atmósfera y en el interior del hormigón, sobre todo en hormigones muy porosos. De esta manera, llega a los aceros de refuerzo una concentración mayor de oxígeno, donde la corrosión se inicia a partir de la ruptura de la capa pasiva originada por los iones cloruro principalmente los solubles. El hormigón usado en la construcción de los pilotes presentó una resistencia a la compresión promedio alrededor de 20 MPa y un porcentaje de porosidad capilar efectiva entre 15-20%. Se trata de un hormigón de moderada resistencia mecánica y porosidad elevada. Sin embargo, todo parece indicar que puede ser usado en la construcción de pilotes que sostienen la loza armada, siempre y cuando estén sometidos a la condición de inmersión total en agua de mar en bahías. Como bien se conoce, las aguas de las bahías se caracterizan por ser tranquilas es decir, sin la presencia de las olas intensas. Las olas al impactar en los pilotes incluso hasta en la loza armada de los puentes expuestos al mar abierto originan las condiciones de marea y salpicadura. Estos tipos de hormigones expuestos a dichas condiciones, no deben garantizar una durabilidad y vida útil elevada.

Es de notar, como la penetración de los iones cloruro totales (Cl_T^-) (Figura 5 a) y solubles (Cl_S^-) (Figura 5 b), presentaron un comportamiento aparentemente difusivo en probetas de hormigón armado (200 x 200 x 200 mm) para las tres relaciones agua/cemento 0,4; 0,5 y 0,6 (espesores de recubrimiento 20 y 40 mm) expuestas durante tres años de exposición en un sitio a 20 m desde la línea costera en el litoral norte de La Habana. La deposición promedio anual de sales de iones cloruro fue de 770 $\text{mg/m}^2\text{d}$ determinada por el captador del paño seco y de 1848 $\text{mg/m}^2\text{d}$ estimada por el captador de la vela húmeda. A tal punto que, en los meses más invernales de Cuba

(Noviembre-Marzo), la deposición mensual determinada en el sitio por el captador del paño seco, resultó mayor que 1000 mg/m²d. Para estas condiciones se garantiza una agresividad corrosiva extrema (CX). Se trata de una de las zonas más agresivas a nivel mundial (Castañeda, et al 2019).

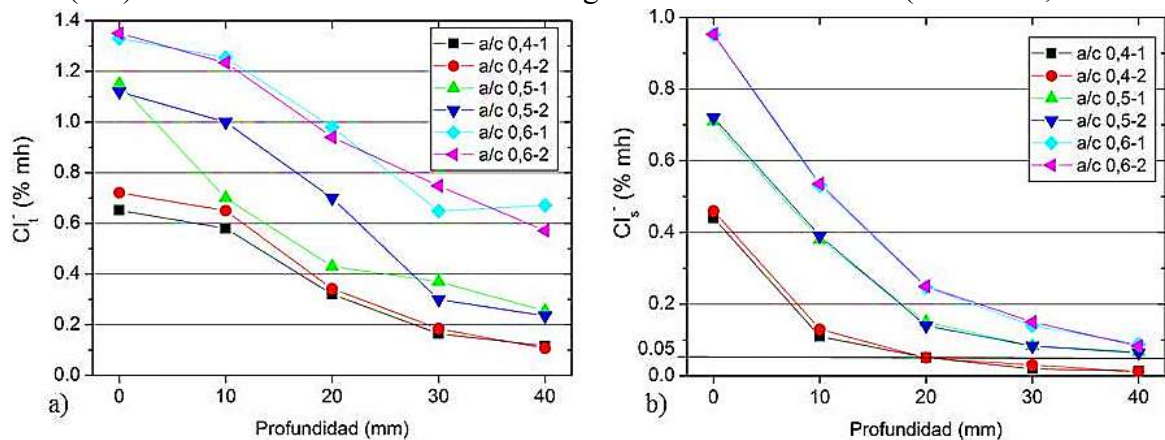


Figura.5. Comportamiento de la penetración de iones cloruro en el sitio costero de La Habana.

Las características de las tres proporciones de las mezclas de hormigón usadas en la elaboración de las probetas son mostradas (Tabla 1). Las probetas fueron elaboradas a partir del método de dosificación del porcentaje mínimo de vacío. Los ajustes correspondientes para cada dosificación de materiales fueron realizados para 1 m³ de volumen neto de hormigón. Cuando las tres mezclas de hormigón fueron diseñadas, el agregado fino (arena de río, finura 3 mm) y el árido grueso calizo (tamaño nominal 19 mm) fueron pesados hasta peso constante. Por tanto, cada dosificación fue diferente al variar la relación agua/cemento (a/c). El tiempo de curado en las probetas fue de 28 días a inmersión total en agua, donde su temperatura fue 25⁰C.

Tabla. 1. Proporciones de mezclas de los hormigones usados en el estudio.

a/c	Cemento OPC (kg/m ³)	Agua potable (m ³)	Aditivo superplastificante (m ³)	Asentamiento (cm)
0,4	365	148	1,7	15
0,5		186	1,5	17
0,6		222	1,0	18

El comportamiento aparentemente difusivo permite demostrar que, los hormigones de las probetas nos fueron elaborados usando arena y agua de mar para su amasado es decir, los iones cloruro provienen desde el exterior. La fuente de procedencia de los iones cloruro es el mar transportados en el aerosol marino. Caso contrario al hormigón usado en los pilotes, donde existe la posibilidad que los iones cloruro además de proceder del mar, ya se encontraban presentes en el interior del hormigón. Por otra parte, los valores promedios mensuales y anuales de humedad relativa resultaron muy elevados (> 80% y T = 25 °C) producto al fuerte impacto permanente del aerosol marino en el sitio de exposición durante los tres años de estudio (Figura 5 a) y b). Esto conlleva a la presencia de agua casi permanente en los poros del hormigón, principalmente desde la superficie hasta 10 mm de espesor de recubrimiento como condición necesaria para que se origine el carácter aparentemente difusivo como mecanismo de penetración de los iones cloruro. Como bien se conoce, el hormigón gana el agua más rápido de lo que la pierde y más expuestos a climas tropicales costeros de elevada agresividad corrosiva de la atmósfera.

Debido a estas condiciones, un comportamiento difusivo aparente de la penetración de iones cloruro totales (% en masa de hormigón) desde la superficie hasta una profundidad de 40 mm de espesor de recubrimiento de hormigón, fue demostrado en los tímpanos en forma de pantalones

que sostienen un edificio de hormigón armado terminado de construir a finales del año 1973 (Carvajal, et al 2011). La estructura se encuentra expuesta a una agresividad corrosiva de la atmósfera extrema (CX) localizada también en el litoral norte del malecón de la Habana, Cuba a 20 m desde la línea costera. Las mayores concentraciones fueron obtenidas en la zona menos impactada por la lluvia (Figura. 6). Los ensayos de penetración fueron ejecutados 30 años después de construida la obra (2003). Las muestras de polvo fueron extraídas usando también un taladro percutor (20 g para dos muestras en 10g de cloruro totales), cumpliéndose la condición de que el diámetro de la barrena (18 mm) como sucedió en las probetas y en los pilotes. Se trató de un hormigón muy denso y compacto ($a/c = 0,4$), con una resistencia a la compresión promedio de 50 MPa y un contenido de cemento de 450 kg/m^3 .

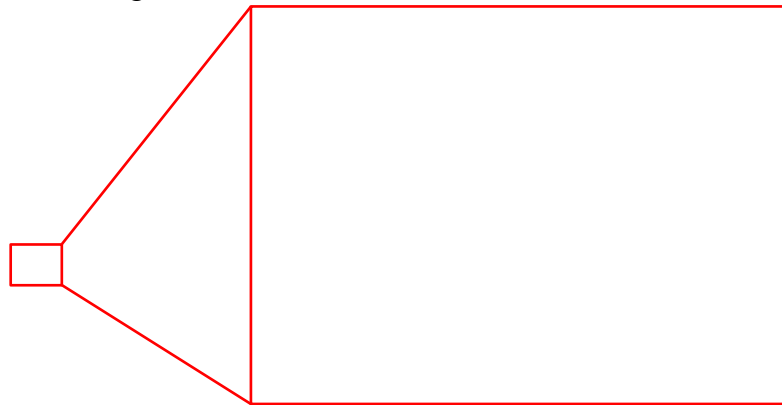


Figura.6. Comportamiento de la penetración de iones cloruro en uno de los típanos del edificio ubicado en el litoral norte costero de la Habana, Cuba.

De acuerdo con la observación visual de las probetas, es de notar a simple vista la formación de grietas longitudinales paralelas a los aceros de refuerzo debido a la fuerza de expansión que ejercen los productos de corrosión (óxidos metálicos) de forma perpendicular a la superficie, siendo más significativo para un espesor de recubrimiento de 20 mm (Figura 7 a y b).

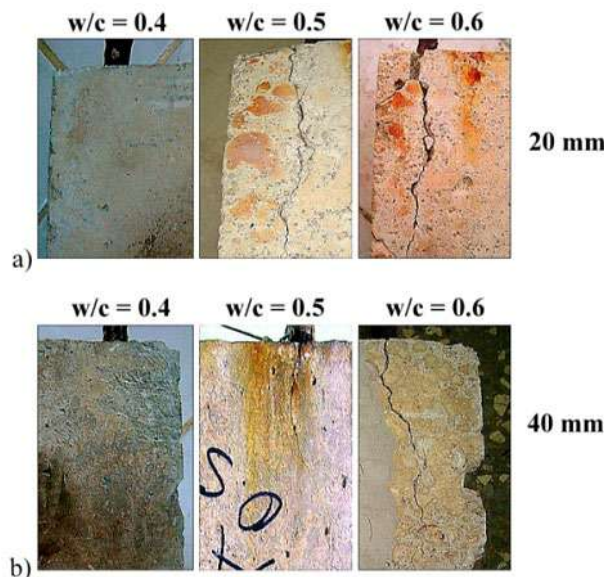


Figura. 7. Observación visual de las probetas para ambos espesores de recubrimiento de hormigón, 20 y 40 mm.

Se trata de las condiciones de diseño más usadas en la elaboración del hormigón en Cuba con una resistencia a la compresión promedio de 36, 30 y 25 MPa y porcentaje de porosidad capilar de 8, 14 y 20 % para las relaciones agua/cemento 0,4; 0,5 y 0,6 respectivamente. Se confirma que, la fuerza de expansión (MPa) de los productos de corrosión una vez desarrollado el fenómeno de la

corrosión atmosférica en los aceros de refuerzo, es muy superior a la resistencia a la tracción de las probetas. Condición necesaria para la formación de fisuras y grietas, lo cual origina una mayor penetración de los agentes agresivos acelerando de manera considerable el fenómeno.

Sin embargo y como aspecto curioso, es de notar como estos mismos hormigones pero en probetas de diferentes dimensiones (315 x 80 x 80 mm, espesor de recubrimiento de hormigón = 20 mm) y sometidos a ensayos acelerados bajo condiciones reales de exposición a la atmósfera, a partir de la aplicación de un spray salino de NaCl al 3% diariamente en horas de la mañana, el comportamiento de la penetración de iones cloruro resultó diferente a los referidos anteriormente y también al de los pilotes sumergidos totalmente en agua de mar (Figura 7 a). Se aprecia además, la clara existencia del proceso de humectación y secado (cristalización de la sal).

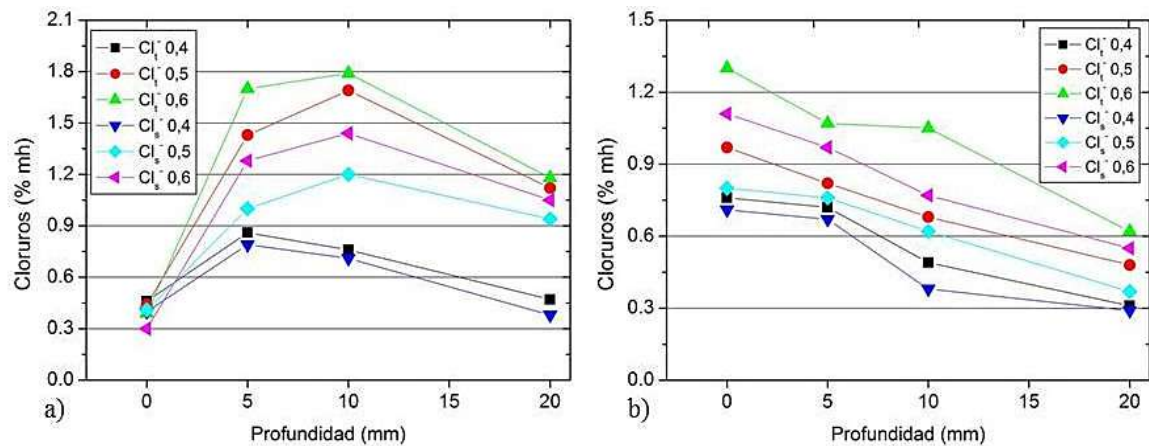


Figura. 7. Comportamiento de la penetración de iones cloruro, a) condiciones reales de exposición a la atmósfera, b) inmersión total en la disolución salina al 3%.

Sin embargo, para la condición de inmersión total en la misma disolución salina simulando agua de mar, es de apreciar un comportamiento aparentemente difusivo para las tres relaciones agua/cemento 0,4; 0,5 y 0,6 (Figura 7 b), como sucedió en las probetas anteriores, en el edificio, pero no en los pilotes de la terminal (Castañeda, et al 2005). Se confirma que, al no ser un hormigón elaborado con arena y agua de mar, es de esperar un comportamiento difusivo en cuanto a la penetración de iones cloruro, ya sea desde la superficie o partir de una cierta profundidad precedido del ciclo de humectación y secado.

La aplicación del spray salino de NaCl al 3% en el tiempo referido bajo condiciones reales de exposición (tres años), representa una deposición promedio anual de iones cloruro igual a 850mg/m²d determinada por el captador del paño seco. De esta forma, se está en presencia de una agresividad corrosiva o corrosividad de la atmósfera extrema (CX), típica de zonas costeras a corta distancia de la zona del rompiente de las olas (Corvo, et al 2005). Se observa, como la difusividad comenzó y el ciclo de humectación y secado finalizó a partir de 10 mm de espesor de recubrimiento para los Cl_t^- y Cl_s^- en las probetas de relaciones agua/cemento 0,5 y 0,6. No siendo así en la probeta de relación agua/cemento 0,4 donde la difusividad se inició y el ciclo culminó a partir de 5 mm (Figura 7 a). Es evidente que el ciclo finaliza a una mayor profundidad en los hormigones de relación agua/cemento 0,5 y 0,6 caracterizados por una porosidad elevada (> 10 %).

La observación visual, confirma la influencia de la agresividad corrosiva de la atmósfera extrema en las probetas de hormigón armado expuestas en la estación de ensayo. Es de notar también, la presencia del agrietamiento en las probetas de relaciones agua/cemento 0,5 y 0,6 sometidas al spray

salino, así como una pequeña fisura longitudinal en la probeta de relación agua/cemento 0,6 sometida a inmersión total en la disolución salina (Figura 8.)

La diferencia en cuanto al mecanismo de penetración de iones cloruro hacia el interior del hormigón, comparada con la condición de exposición en el sitio costero referido anteriormente y el edificio, pudiera deberse a la forma de aplicación del spray salino.

Spray salino

Inmersión

Figura. 8. Observación visual de las probetas colocadas en la estación de ensayo y a inmersión en la disolución salina de NaCl al 3%.

Al aplicarse el mismo en horas de la mañana diariamente, también a valores elevados de humedad relativa en la estación de ensayo donde fueron colocadas las probetas ($\sim 80\%$ y $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), era de notar una absorción muy rápida de la disolución salina en las superficies principalmente en las probetas de relaciones agua/cemento 0,5 y 0,6, además de un secado acelerado debido a la fuerte intensidad de la radiación solar. Esta aplicación al realizarse solo en horas de la mañana, tiene un carácter menos permanente en comparación con el impacto del aerosol marino en el litoral norte de La Habana. El impacto del aerosol marino es casi constante. Solo en el primer año de exposición de las probetas en el sitio costero, penetraron desde la dirección norte 17 frentes fríos en la etapa invernal. En la etapa de verano (Abril-Septiembre) a pesar de la no ocurrencia de la entrada de los frentes, la deposición mensual estuvo entre $250\text{-}500\text{ mg/m}^2\text{d}$ (Castañeda, et al 2018). De ahí al embate permanente del aerosol marino depositándose los iones cloruro sobre las probetas de hormigón armado en forma de disolución salina durante los tres años.

4. CONCLUSIONES

Se realizó un estudio sobre el comportamiento de la penetración de iones cloruro en los pilotes de hormigón armado expuestos totalmente a inmersión en agua de mar, que sostienen la loza armada de la Terminal de Cruceros de la bahía de la Habana, Cuba y su comparación con otros tipos de hormigones sometidos a otras condiciones de exposición. Los resultados permitieron arribar a las siguientes conclusiones.

1. El comportamiento de la penetración de iones cloruro totales y solubles en los pilotes de la terminal, resultó totalmente diferente en comparación con otros tipos de hormigones expuestos a la condición de exposición a la atmósfera bajo condiciones de muy elevada (C5) y extrema (CX) agresividad corrosiva de la atmósfera. Esta diferencia en cuanto a la obtención de un comportamiento no difusivo en los pilotes, pudiera deberse a que el hormigón fue construido con arena y agua de mar. De ahí, a que la concentración de iones cloruro totales, solubles y enlazado haya resultado muy elevada.
2. Se demuestra que, si los hormigones son elaborados sin arena y agua de mar, existe la posibilidad de un comportamiento difusivo aparente en cuanto al mecanismo de penetración

- de iones cloruro, procedentes desde el exterior, independiente de la condición de exposición.
3. Se confirma que, un hormigón armado de moderada calidad elaborado con arena y agua de mar, con una elevada concentración de iones cloruro, puede ser usado en la construcción de pilotes que sostienen la loza armada en una bahía, siempre y cuando estén sometidos a la condición de inmersión total en el agua de mar y sin zonas de marea y salpicaduras significativas. Para este caso, las concentraciones elevadas de iones cloruro resultan en una condición necesaria pero no suficiente en el origen y desarrollo del fenómeno de la corrosión en los aceros de refuerzo. Este resultado fue confirmado con la observación visual de los aceros de refuerzo embebidos en los pilotes y permitió prácticamente la no ejecución de trabajos de reparación siendo muy factible económicamente.
 4. El mecanismo de penetración de iones cloruro depende de la calidad del hormigón y de la condición de exposición a la cual fue expuesto. El comportamiento basado en la difusión aparente, no solo a partir de una espesor de recubrimiento, sino también desde la superficie, conducen a un intenso deterioro en el hormigón armado, sometido principalmente a categorías elevada de agresividad corrosiva de la atmósfera en zonas costeras de elevado potencial constructivo.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Dirección de Desarrollos Tecnológico de Ministerio de la Construcción y la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Cuba, por el apoyo logístico y financiero en la ejecución del estudio.

6. REFERENCIAS

- Angst, U., Elsener, B., Larsen, C. K and Vennesland, Ø. (2009), Critical chloride content in reinforced concrete — A review. *Cement and Concrete Research*. 39(1): 1122–1138.
- Angst, U., Elsener, B., Larsen, C, K., Vennesland, Ø. (2011), Chloride induced reinforcement corrosion: Electrochemical monitoring of initiation stage and chloride threshold values. *Revista Corrosion Science*. 53, pp. 1451–1464.
- El Fattah, A, Abd., Al-Duais, I., Riding, Kyle., Thomas, Michael. (2019), Field evaluation of corrosion mitigation on reinforced concrete in marine exposure conditions. *Construction and Building Materials* 165, 663–674.
- ASTM International. (2008). *ASTM C-1218/M (2008). Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete, Barr Harbor Drive, USA.*
- Castañeda, A., Corvo, F and O' Reilly, V. (2003), Comparación entre el pronóstico de corrosión basado en la medición de potenciales y la determinación de la velocidad de corrosión de la barra de refuerzo mediante técnicas electroquímicas. *Revista Materiales de Construcción, CSIC*. 53, (271-272): 155 – 164.
- Castañeda, A., Días, Nelson., González, E., Martínez, M., Corvo, F. (2005), Influencia de la penetración de iones cloruros en el hormigón armado a diferentes relaciones agua/cemento y condiciones de exposición. *REVISTA CENIC, EBSCO, CIENCIAS QUÍMICAS, Vol. 36, No. ESPECIAL, CIUDAD DE LA HABANA, CUBA.*
- Castañeda, A., Corvo, F., Howland, J.J and Pérez, T. (2013), Corrosion of steelreinforced concrete in tropical coastal atmosphere of Havana City. *Revista Química Nova, Brasil*. 36 (2): 220-229.
- Castañeda, A., Corvo, F., Howland, J. J and Marrero R. (2018), Penetration of marine aerosol in a tropical coastal City: Havana. *Revista Atmósfera*. 31 (1): 87-104. [https://doi:10.20937/ATM.2018.31.01.06](https://doi.org/10.20937/ATM.2018.31.01.06).

Castañeda, A., Corvo, F., Howland, J. J., Marrero, R and Fernández A. (2019), Atmospheric Corrosion Behaviors of Reinforcement Steel in Reinforced Concrete in a Coastal City as Havana, Cuba. *Springer Nature Switzerland AG 2020 F. Martirena et al. (eds.), Proceedings of the International Conference of Sustainable Production and Use of Cement and Concrete, RILEM Book 22* (1): 83-291.

Carvajal, M., Vera, R., Corvo, F. and Castañeda, A. (2011), Diagnosis and rehabilitation of real reinforced concrete structures in coastal areas. *Corrosion Engineering, Science And Technology*. 47 (1): 1-9. <https://doi.org/10.1179/1743278211Y.0000000018>.

Castro, P. (1998), “*Corrosión en Estructuras de Concreto Armado. Teoría, Inspección, Diagnóstico, Vida Útil y Reparaciones*”. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., Mérida.

Corvo, F., Minotas, J., Delgado, J and Arroyave, C. (2005), Changes in atmospheric corrosion rate caused by chloride ions depending on rain regime, *Corrosion Science*, 47 (1): 883–892. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2003.09.014>.

Corvo, F., Pérez, T., Dzib, L. R., Martín, Y., Castañeda, A., González, E and Pérez, J. (2008), Outdoor-Indoor corrosion of metals in tropical coastal atmospheres. *Corrosion Science*. 50(1): 220 – 230. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2007.06.011>.

Helene, P. (2003), “*Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección*”. Editorial CyTED, Sao Paulo, Brasil.

Meira, G.R., Andrade, C., Padaratz, I.J., Alonso, C and Borba J.C. Jr. (2007), Chloride penetrations into concrete structure in the marine atmosphere zone. Relationship between deposition of chloride on the wet candle and chloride accumulated into concrete. *Cement and Concrete Composite*. 29 (1): pp. 667-676. [doi:10.1016/j.cemconcomp.2010.03.002](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.03.002).

Meira, G.R., Andrade, C., Alonso, C., Padaratz, I.J., and Borba J.C. Jr. (2008), Modelling sea-salt transport and deposition in marine atmosphere zone - A tool for corrosion studies. *Corrosion Science*. 50 (1): 2724–2731. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.06.028>.

Meira, G.R., Andrade, C., Alonso, C., Borba J.C. Jr and Padilha. M. (2010), Durability of concrete structure in marine atmosphere zone. The use of chloride deposition rate on wet candle as an environment indicator. *Cement and Concrete Composites*. 32 (2): 427–435. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.03.002>.

Norma ISO-9223 (2012), Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Classification, determination and estimation.

Pradhan, B and Bhattacharjee, B. (2011), Rebar corrosion in chloride environment. *Construction and Building of Materials*. 25 (11): pp. 2565-2575. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.099>.

RILEM TC 178-TMC: Testing and modeling chloride penetration in concrete. Methods for obtaining dust samples by means of grinding concrete in order to determine the chloride concentration profile, *Materials and Structures* 46 (2013) 337–344. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-012-9968-1>.

Trocónis, O., Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. CYTED, Red Temática XV. B. Durabilidad de la armadura, Río de Janeiro, Brasil, 1997.

Trocónis, O., Duracon Collaboration. (2007). Effect of the marine environment on reinforced concrete durability in Iberoamerican countries: DURACON project/CYTED. *Corrosion Science*. 49 (7): 2832–2843. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2007.02.009>.

Xianming,S.,Ning,X.,Keith, F andJing, G. (2012),*Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview*. Construction and Building of Maters. 37 (2): pp. 36-40.<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.038>

Análise de custos gerados pela assistência técnica em edifícios classe A

F. F. Gaedke¹, A. Lorenzi², L.S. Lorenzi^{2*}

*Autor de Contacto: luciani.lorenzi@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

² Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Instituto de Desempenho da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

As empresas da construção civil estão precisando produzir cada vez mais em menor tempo devido ao crescimento na construção de condomínios residenciais e estão investindo cada vez mais em setores de atendimento aos clientes buscando reestabelecer a confiança do usuário na marca. O setor de assistência técnica o responsável pela correção das manifestações patológicas. O presente artigo contempla a análise das principais causas geradoras de solicitações de assistência técnica e os principais custos para resolução dessas ocorrências em empreendimentos de classe A. Para isso, realiza-se, uma breve contextualização sobre o cenário atual e os conceitos abordados, a metodologia utilizada e é feita a análise de um estudo de caso utilizando o banco de dados de uma construtora e incorporadora localizada na cidade de Porto Alegre.

Palabras clave: Assistência Técnica; Custos; Manifestações Patológicas.

Citar como: F. F. Gaedke, A. Lorenzi, L.S. Lorenzi (2021), “Análise de custos gerados pela assistência técnica em edifícios classe A”, CONPAT 2021, XVI, pp. xxx-xxx, DOI: <http://dx.doi.org/xxxxxxxxxx>

RESUMEN

Las empresas constructoras están necesitando producir cada vez más en menos tiempo debido al crecimiento en la construcción de condominios residenciales y están invirtiendo cada vez más en sectores de atención al cliente que buscan restablecer la confianza del usuario en la marca. El

sector de asistencia técnica se encarga de corregir las manifestaciones patológicas. El presente artículo contempla el análisis de las principales causas que generan solicitudes de asistencia técnica y los principales costos para la solución de estas ocurrencias en empresas clase A. Para ello, se realiza una breve contextualización sobre el escenario actual y los conceptos abordados, la metodología utilizada y se realiza un análisis de un estudio de caso utilizando la base de datos de una empresa constructora y promotora ubicada en la ciudad de Porto Alegre.

Palabras clave: Asistencia técnica; Costos; Manifestaciones patológicas.

ABSTRACT

The construction companies are needing to produce more and more in less time due to the growth in the construction of residential condominiums. The companies have more investing in customer service sectors seeking to re-establish the user's trust. The technical assistance sector is responsible for correcting the pathological manifestations. This article contemplates the analysis of the main causes that generate requests for technical assistance and the main costs for solving these occurrences in class A buildings. For this, a brief contextualization is made about the current scenario and the concepts addressed, the methodology used and an analysis of a case study is carried out using the database of a construction company and developer located in the city of Porto Alegre.

Keywords: Palabras clave: Technical Assistance; Costs; Pathological Manifestations.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é caracteriza-se por ser um setor heterogêneo e diversificado, tanto de produtos e serviços, quanto de seus agentes produtores. Para Figuerêdo (2017) a Construção Civil apresenta uma representatividade do mercado e para a economia do país, considerando que é uma atividade econômica muito expressiva e importante para o desenvolvimento do Produto Interno Bruto e que tem efeitos positivos na empregabilidade da mão de obra.

A Pesquisa Anual da Indústria da Construção – PAIC, segundo IBGE (2020), registrou a existência de 126.316 empresas ativas, que realizaram incorporações, obras e/ou serviços correspondendo R\$ 172,6 bilhões do Produto Interno Bruto – PIB, demonstrando uma participação majoritária das empresas na geração de renda setorial. Dentre essa parcela edificações gera a maior parcela do PIB (41,6%), seguido por infraestrutura (31,4%) e por serviços especializados (27%), onde edificações apresenta a maior relevância para o setor, tanto do ponto de vista da geração de postos de trabalho como do de participação no PIB. No mercado de edificações o mercado de habitações é o mais representativo abrangendo 61%, ou seja, R\$ 43,6 bilhões.

Dentro dessa parte do setor destinada a edificações habitacionais existe uma parcela de prédios residenciais para a Classe A, sendo um dos nichos de negócios que cresce no país. Uma das razões é a migração do público Classe A de casas para prédios, pois oferecem maior segurança em decorrência do aumento da violência no país. Diante desse cenário, ocorreu o crescimento acelerado da oferta de imóveis Classe A e, por consequencias, “boas práticas” construtivas foram deixadas em segundo plano. A premissa era construir mais em menor tempo, tendo como consequência uma escassez no mercado de mão de obra qualificada e um controle da produção das obras deficientes. A soma desses fatores são constatados com o decorrer dos anos, por vezes denominados vícios ocultos, impactando na vida dos proprietários gerando um passivo emocional aos mesmos e, às empresas, gastos com a resolução de manifestações patológicas.

Com a criação do Código de Defesa do Consumidor – CDC – em 1990, visando a proteção e defesa do consumidor e, por consequência, auxiliou as empresas do setor da construção civil a promoverem ações de melhorias no controle da qualidade, (SCHNEIDER, 2013). Outra ação desencadeada pelo CDC foi a preocupação constante em prestar o atendimento ao cliente, pois o mesmo não é fiel apenas ao produto de boa qualidade ou menor preço, mas na relação estabelecida com a empresa, (LASTE, 2012).

Alinhado a isso, surge o setor de assistência técnica que tem como objetivo a solução de problemas técnicos que venham a ocorrer no imóvel. Neste momento, o atendimento de ocorrências é baseado pelo período de garantia dos sistemas, que tem duração máxima de 5 anos.

Este trabalho aborda uma maneira diferente de lidar com os imóveis destinados ao público da Classe A (formador de opinião, elevado grau de exigência e conhecimento), onde a empresa estudada busca a satisfação do cliente quanto ao atendimento das demandas técnicas, sem limitador de tempo e da tabela de garantia utilizada nos demais segmentos da empresa. A premissa de atendimento a esse público é atender todas as ocorrências classificadas como procedentes, ou seja, àquelas que não forem originadas devido ao mau uso ou modificações dos sistemas por parte dos proprietários, denominadas essas como improcedentes.

Destaca-se que, neste caso, a assistência técnica tem função de retroalimentação do setor executivo através do seu banco de dados onde as solicitações feitas pelos clientes ficam registradas gerando indicadores de manifestações patológicas mais frequentes. A resolução dessas ocorrências, classificadas como procedentes, gera um custo para o setor, tanto de material como de mão de obra, sendo um indicador que também deve ser controlado pela assistência técnica e informado ao executivo, buscando assim, diagnosticar as falhas que ocorrem com maior frequência e àquelas vinculadas a um custo mais elevado para resolução do problema.

Diante desse contexto o trabalho tem por objetivo apresentar uma análise das principais causas dos atendimentos da assistência técnica e os custos vinculados para resolução das ocorrências em prédios residenciais classificados como Classe A, abrangendo um período de dois anos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A infraestrutura nacional que utiliza sistema convencional com o uso de muita água e demanda muita mão de obra e após o acabamento, é comum o surgimento de vários problemas que precisarão ser solucionados, como por exemplo infiltração e fissuras, que necessitam de reparos ou até mesmo de um retrabalho na área afetada. Na Europa e nos Estados Unidos são utilizados processos mais industrializados e, mesmo demandando mão de obra, utiliza-se como padrão a construção seca, que não usa água e sim perfis metálicos que são montados de acordo com o projeto e depois as placas de madeira ou de outro material são fixadas, (FIGUERÊDO, 2017).

O setor construtivo brasileiro tem sido marcado pelo desenvolvimento precoce, de manifestações patológicas em sua estrutura, seja por falhas de projeto, execução ou especificação incorreta de materiais, causando o comprometimento das condições de segurança e habitabilidade, exigindo assim um elevado número de ações de manutenção de forma a sanar tais manifestações patológicas, (OLIVEIRA, MITIDIERI FILHO, 2012).

A ocorrência de manifestações patológicas de qualquer natureza em uma edificação gera a necessidade de uma futura manutenção, reforma ou revitalização para sanar tal problema. Tais práticas são onerosas e causam prejuízo e desconforto tanto para as construtoras quanto para os usuários. Assim, é fundamental que profissionais, construtoras e usuários da área de construção venham a investir constantemente na prevenção destas anomalias, como forma de garantir a durabilidade, estabilidade, segurança, desempenho das edificações, além de uma redução de custos tanto futuros quanto no decorrer da obra (LIMA, 2005).

Nessa linha, porém voltado a clientes de imóveis de alto padrão, há a vinculação da aquisição do imóvel a um produto de qualidade e que a história, a reputação e a imagem da marca (empresa) são decisivas para a aquisição do imóvel, (BAUTZ, 2017). Esses posicionamentos mostram mais uma vez como o atendimento ao cliente tem papel de destaque na perpetuação das empresas.

Na busca por atender a satisfação dos clientes empresas criaram um canal de comunicação, onde a criação desse serviço possibilita às empresas um contato direto com o cliente, com inúmeras funções, sendo uma delas a de assistência técnica. (RAMOS, MITIDIERI FILHO, 2007). Uma das principais funções do atendimento aos clientes é a retroalimentação ao sistema de produção de edifícios e a apropriação de custos dos problemas patológicos, pois através do banco de dados gerado o setor exerce a função de melhoria contínua, realizando a identificação da frequência de ocorrência das manifestações patológicas nas edificações e a descoberta da causa fundamental de cada uma delas, (REZENDE, MELHADO & MEDEIROS, 2002).

Com a retroalimentação das informações é possível uma análise periódica de quais manifestações patológicas tem ocorrido nos empreendimentos entregue, detectando possíveis problemas recorrentes e prevenindo-os nas obras futuras. (SCHNEIDER, 2013). A assistência técnica pós-obra tem caráter corretivo de eventuais vícios ocultos e manifestações patológicas encontradas nas edificações que não foram causadas por mau uso ou falta de manutenção, (SILVA FILHO, SOUZA & LEÃO FILHO, 2015).

Os custos gerados na assistência técnica não servem apenas para nortear o orçamento de produtos já existentes, mas também são primordiais na tomada de decisão para novos produtos que serão lançados no mundo, (ARAÚJO, MENDES & MARTINS, 2018). No Brasil, a construção civil apresenta um grande impacto no desenvolvimento local e no PIB regional e os aumentos frequentes de custo na construção civil foram os grandes impulsionadores para que as empresas passassem a direcionar um maior esforço no planejamento e no monitoramento dos projetos de construção, (NETTO, et al., 2020).

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma abordagem quantitativa estruturada numa pesquisa descritiva em um estudo de caso e teve como método de trabalho um estudo de caso. Os dados analisados foram coletados de uma única empresa do setor da construção civil, como negócios imobiliários, que tem sua sede situada em Porto Alegre – RS, BRasil. A empresa é considerada de porte médio e com operação em diversos seguimentos, desde empreendimentos voltados ao público emergente até os de alto padrão, caracterizados por Classe A.

através da coleta de informações do banco de dados de uma empresa de construção brasileira. Foram selecionados apenas os empreendimentos de Classe A da empresa, no total 8, e após análise detalhada da “planilha dinâmica da assistência técnica, local de armazenamento de ocorrências da empresa, foram selecionados 3. O critério para os 3 selecionados foi por ainda estarem dentro do “período de garantia”, que é de 5anos pela legislação brasileira, e também por apresentarem ocorrências resolvidas em um período de 2 anos, 2017 e 2018. Com esta definição, foi realizada a coleta dos dados das ocorrências geradas para atendimentos feitos pela assistência técnica. Os dados foram quantificados utilizando-se por base a causa geradora da manifestação patológica à qual o cliente solicita suporte. No levantamento foram elencadas as dez causas com o maior número de chamados de atendimentos de assistência técnica em cada empreendimento.

Também foram apurados os custos gerados pelo atendimento das ocorrências, porém, estes, por meio da exportação dos pedidos de compras já vinculados a cada empreendimento. Nesse caso, foi realizado um trabalho manual de coleta de dados diretamente do “banco de dados da empresa”, pois o mesmo não possui vínculo entre as ocorrências resolvidas e os custos gerados pelos atendimentos. O processo inclui a verificação da descrição de cada pedido de compras, conferência

de datas e fornecedores para realizar a relação de registros das solicitações no setor de suprimentos, pedido de compras, com o serviço realizado no imóvel. Os resultados obtidos foram demonstrados por tabelas e diagramas, onde buscou-se associar o valor gasto para a resolução dos chamados com a causa geradora da demanda para, assim, comparar-se o número de ocorrências criadas com o custo realizado para solução de cada grupo de causas. Este estudo foi elaborado para os dez grupos de causas que obtiveram o custo mais elevado.

4. LEVANTAMENTO DE DADOS

Através do banco de dados analisado, foram identificados trinta e um empreendimentos atendidos pela assistência técnica entre os anos de 2017 e 2018, sendo divididos em comerciais, residenciais, uso misto e loteamentos. A Tabela 1, apresentada a seguir, traz a quantidade de empreendimentos e de unidades por categoria. Por meio dele é possível identificar que o maior percentual, tanto de unidades como de condomínios, está na categoria residencial, tratando-se está a que possui maior tradição na empresa.

Na categoria residencial a construtora possui empreendimentos desde o segmento emergente até o alto padrão, sendo este, apesar de apresentar o menor número de condomínios e unidades conforme o demonstrado na Tabela 2, de acabamentos mais nobres, o grupo em análise neste estudo.

Tabela 1. Categorias dos empreendimentos

Categoria	Quantidade de empreendimentos	Percentual de empreendimentos (%)	Unidades	Percentual de unidades (%)
Residencia	21	68%	3035	56%
Comercial	5	16%	664	12%
Misto	3	10%	1055	19%
Loteamento	2	6%	684	13%
TOTAL	31	100%	5438	100%

Tabela 2. Segmentos do empreendimentos

Segmento	Quantidade de empreendimentos	Percentual de empreendimentos (%)	Unidades	Percentual de unidades (%)
Alto Padrão	8	38%	225	7%
Outros	13	62%	2810	93%
TOTAL	21	100%	3035	100%

As informações foram compiladas através da Tabela 3, que traz a data de habite-se, o período de garantia e o número de chamados atendidos pela assistência técnica em cada ano em análise. Os empreendimentos A e B foram desconsiderados por terem sua entrega realizada em 2018, não gerando dados para análise no ano de 2017, apesar de já apresentarem um elevado número de ocorrências nos seus primeiros meses de funcionamento. Já os prédios entregues a mais de cinco

anos possuem o período de garantia da assistência técnica expirado e um baixo registro de ocorrências no sistema, sendo excluídos dessa análise também.

Tabela 3. Informações do empreendimentos

Empreendimento	Data do Habite-se	Período de Garantia	Nº Chamados Atendidos 2017	Nº Chamados Atendidos 2018
A	30/08/2018	1º Ano	0	108
B	14/05/2018	1º Ano	0	234
C	26/06/2017	2º Ano	46	252
D	11/09/2015	4º Ano	372	277
E	19/09/2014	5º Ano	67	97
F	10/12/2012	Expirado	31	2
G	26/12/2011	Expirado	74	13
H	16/09/2011	Expirado	4	2

Quanto aos empreendimentos analisados, conforme as delimitações e limitações apresentadas anteriormente, foram coletadas informações de três prédios da construtora, todos situados na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Denominados como “C”, “D” e “E”, são obras do tipo residenciais multifamiliar com cartas de habite-se emitidas entre 2014 e 2017.

Os empreendimentos possuem características semelhantes, conforme é possível identificar na descrição detalhada. Porém, buscando ressaltar os pontos em comum, foi criado a Tabela 4, que traz o período de garantia que se encontra o prédio, a quantidade de pavimentos totais, a área das unidades privativas, a quantidade de vagas de garagem e o número de dormitórios por apartamento.

Tabela 4: Características principais dos empreendimentos analisados.

Empreendimento	Período de Garantia	Pavimentos	Área Apartamento (m²)	Quantidade de Vagas Garagem por Apartamento	Dormitórios por apartamento
C	2º ano	15 + 1 subsolo	304	4 ou 5	4 suítes + 1 dependência
D	4º ano	15 + 5 subsolos	220	3 ou 4	3 a 4 suítes + 1 dependência
E	5º ano	13 + 1 subsolo	237	3	3 suítes + 1 dependência

Após a caracterização, buscou-se classificar os empreendimentos e, para isto, seguiu-se as prerrogativas explícitas na norma ABNT NBR 12721:2006, chegando-se a denominação R16 – A para os três condomínios, que são considerados residenciais de alto padrão com até 16 pavimentos, neste trabalho caracterizados como Classe A.

O setor de assistência técnica da empresa em estudo é responsável pelo atendimento das ocorrências geradas por problemas nas unidades privativas e nas áreas comuns de todos os empreendimentos entregues. A divisão de atendimentos dessas demandas é realizada através de dois seguimentos: empreendimentos Classe A e demais condomínios. O cliente da classe A almeja uma maior qualidade do produto adquirido, então, ao ocorrerem manifestações patológicas devido

a falhas construtivas, ele tem sua satisfação afetada. Este cliente espera que a assistência técnica seja imediata e assertiva, causando o menor impacto possível à sua rotina diária. A assistência técnica tem papel fundamental na satisfação do cliente, visto que por muitas vezes, estas intervenções promovem a interação entre empresa e cliente.

Ao se deparar com um defeito, o cliente entra em contato diretamente com a área responsável pelo atendimento, podendo enviar fotos, vídeos e informar sua disponibilidade para recebimento da visita técnica que tem como finalidade a identificação das causas e do método de correção para os problemas relatados. O registro das solicitações é realizado no sistema através da criação de ocorrências, onde o parecer técnico é inserido, bem como as causas e subcausas, os locais onde foram identificadas as falhas e demais comentários referentes ao atendimento. Nas ocorrências também é possível elaborar ordens de serviço destinadas as empresas terceirizadas, que prestam o serviço em garantia ou através do pagamento efetuado pela construtora, opção utilizada apenas quando os sistemas não se encontram mais cobertos pela garantia do fornecedor.

5. RESULTADOS

O Empreendimento C possui o habite-se mais recente e teve um total de 298 ocorrências atendidas entre os anos de 2017 e 2018, sendo 231 destas solicitações, aproximadamente 77%, com suas causas geradoras das manifestações patológicas enquadradas entre as principais razões para os chamados de assistência técnica nesse empreendimento. Dentre as causas estão problemas com instalações (elétricas e hidráulicas), revestimentos, esquadrias, impermeabilização, alvenaria de vedação e serviços complementares, sendo apresentada pela Figura 1, as dez causas com o maior número de chamados e a divisão percentual delas.

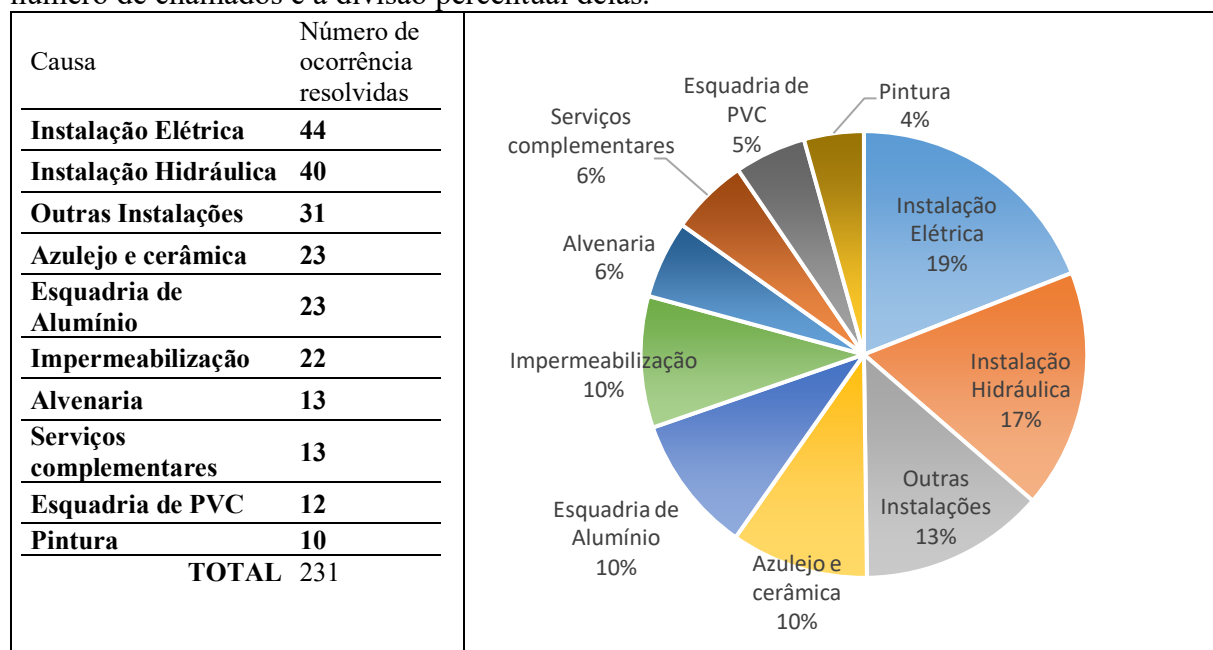


Figura 1: Principais causas vinculadas as ocorrências de assistência técnica no empreendimento C

Conforme a Figura 1, pode-se dizer que a principal falha no empreendimento C ocorre nas instalações elétricas, representando 19% dos principais chamados atendidos no pós-obra. Entre os vícios apresentados estão: falha nos disjuntores, curto em luminárias, tomadas e interruptores com defeitos ou apresentando curto, iluminação de emergência, instalação em desacordo com o projeto, interfonos danificados e troca de materiais.

A análise de custos (Figura 2) ilustra os dez grupos que obtiveram os maiores valores despendidos pelo setor para a resolução dos chamados de assistência técnica. Além disso, estão demonstrados os percentuais que cada causa representa de desembolso dentre esses relacionados. Pode-se visualizar que os custos de reparos em azulejos e cerâmica é o que tem maior impacto no custo de assistência técnica deste empreendimento

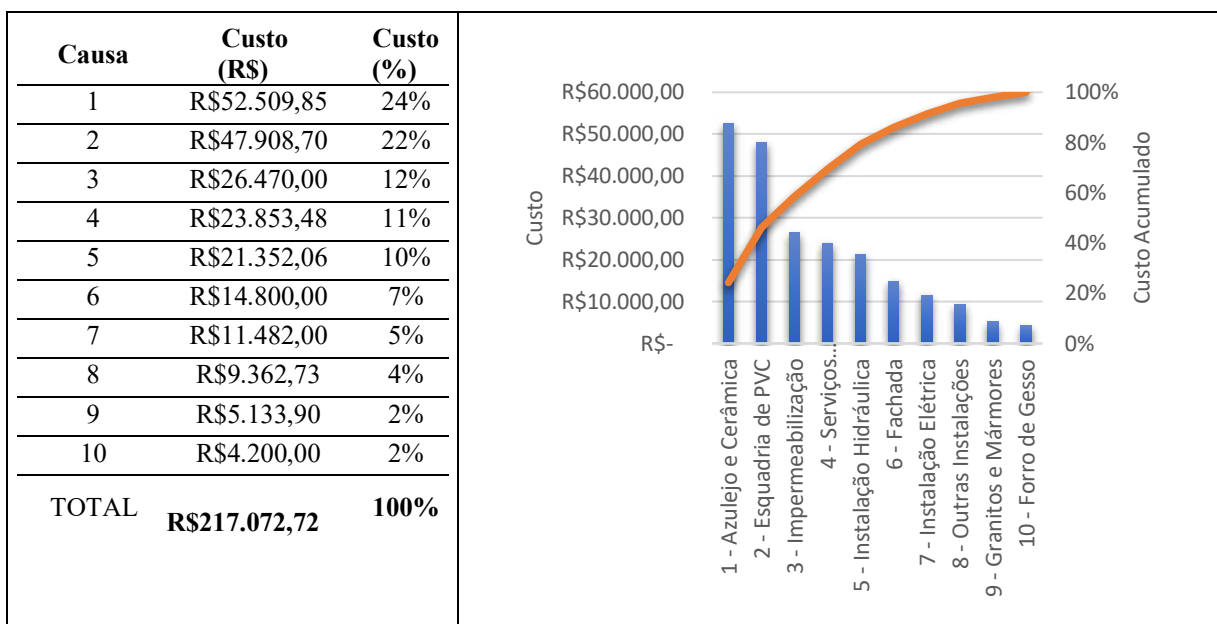


Figura 2: Principais custos relacionados as causas geradoras das ocorrências de assistências técnica no empreendimento C

Observa-se que os reparos realizados devido a falhas nos revestimentos cerâmicos, causa que despendeu maior custo no empreendimento C, está na quarta colocação em relação ao número de chamados. Este custo elevado foi gerado principalmente por uma demanda, sendo ela a troca de todo revestimento do piso na área da piscina externa onde ocorreu a falha de armazenamento do material durante o período de obra gerando fissuras no material.

As esquadrias de PVC, que representam apenas 5% do número de chamados atendidos, estão vinculadas ao segundo maior custo dentre os resolvidos pela assistência técnica. Porém, para este empreendimento o valor gasto com este item foi devido, em grande parte, a troca de uma esquadria, que apresentava uma falha de concepção, vinculada a apenas uma ocorrência. Sendo assim, com os dois primeiros colocados no ranking de custos totalizam-se 46% do valor gasto registrando o maior crescimento no custo acumulado, contudo em número de chamados atendidos esses tópicos representam apenas 15% das ocorrências encerradas pela assistências técnica.

As instalações representam 49% dos atendimentos da assistência técnica no condomínio C, porém, estão apenas na quinta, sétima e oitava colocação no ranking de custos com um gasto associado de 19%, sendo resolvidos em grande parte pela mão de obra própria ou pelo fornecedor em garantia.

Para o estudo do empreendimento D também foram coletadas informações das causas mais solicitadas para atendimento da assistência técnica. Estes números são apresentados pela Figura 3 que traz a quantidade de chamados e o percentual que representam no grupo das 10 principais causas onde identifica-se, novamente, os itens de instalações e esquadrias entre as primeiras colocações. Este condomínio possui o maior número de ocorrências geradas entre os três em análise, porém também é o que possui maior número de unidades privativas e área construída. As instalações hidráulicas foram responsáveis por 26% das ocorrências resolvida pela assistência

técnica nos anos em análise, gerando 148 chamados. Dentre os problemas encontrados são mais recorrentes os atendimentos devido a vazamento na alimentação das caixas acopladas, apertos de metais, entupimentos de ralos e defeitos vinculados as bombas.

Com um percentual bem próximo das instalações hidráulicas, encontram-se as esquadrias de PVC, que foram responsáveis por 133 dos atendimentos de pós obra no empreendimento D. Onde as falhas de vedação das janelas e a regulagem das persianas são os principais itens solucionados. Sendo assim, apenas nas duas primeiras causas somam 49% dos atendimentos realizados.

A terceira causa com o maior número de chamados vinculados coincide com a mesma encontrada no empreendimento C e agrupa as demais instalações, excluindo-se hidráulicas e elétricas, do prédio. Este grupo tem como principais reclamações falhas no sistema de exaustão forçada e no aquecimento da piscina. Além disso, com um percentual de atendimentos semelhante ao item anterior encontram-se as esquadrias de madeiras com solicitações devido a descolamentos das lâminas e regulagem das portas.

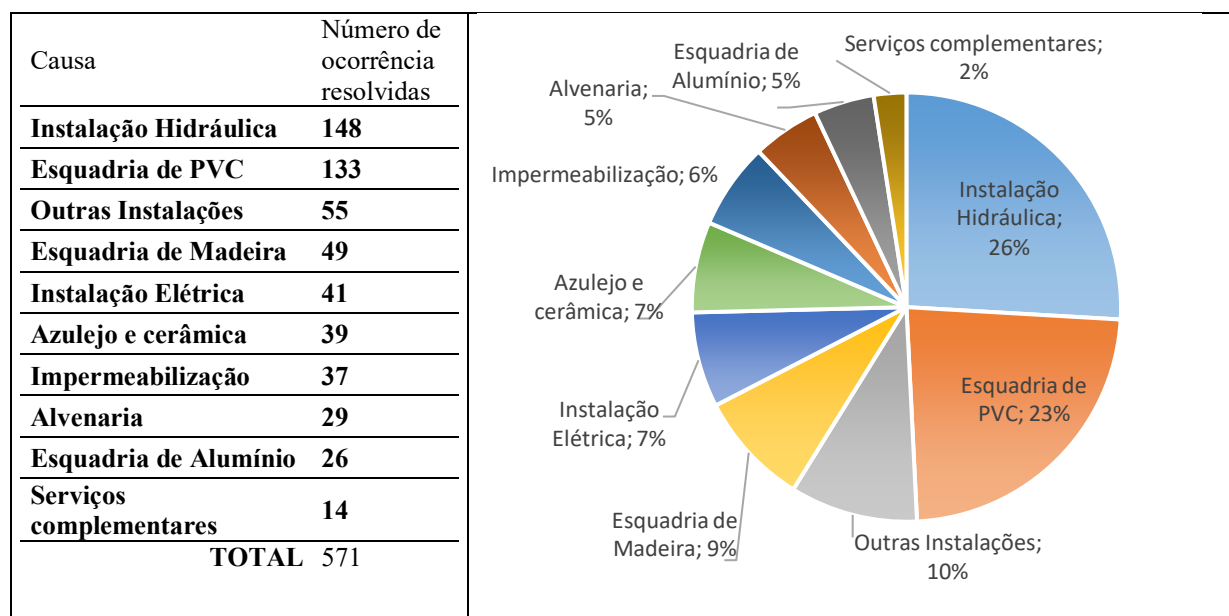


Figura 3: Principais causas vinculadas as ocorrências de assistência técnica no empreendimento D.

Os defeitos relacionados as instalações elétricas, revestimentos cerâmicos e impermeabilização somam 117 ocorrências resolvidas, representando 20% entre as principais causas observadas no empreendimento D. Os problemas causados por falhas na alvenaria, nas esquadrias de alumínio e nos serviços complementares, que correspondem a 12% dos chamados atendidos. Ressalta-se que as últimas seis posições totalizam apenas 32% dos chamados enquanto que apenas as reclamações com origem nas instalações hidráulicas obtiveram um percentual maior que um quarto entre as dez causas mais atendidas nesse condomínio.

Além de obter o maior número de solicitações, esse segundo condomínio em estudo também está vinculado ao custo mais elevado para atendimento das demandas de pós obra. Os resultados obtidos para a análise destes custos estão apresentados na Figura 4, que também traz as dez causas que registraram os maiores gastos e seus percentuais.

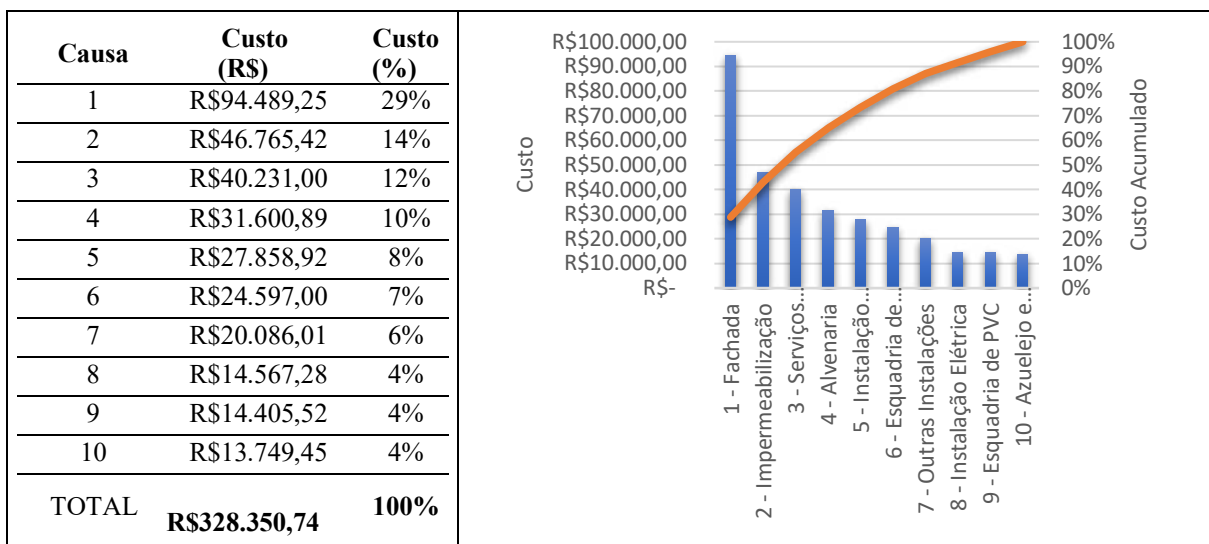


Figura 4: Principais custos relacionados as causas geradoras das ocorrências de assistência técnica no empreendimento D

Segundo os dados apresentados, os problemas vinculados a fachada do empreendimento D obtiveram o maior custo para resolução, representando 29% do total desembolsado nesse condomínio. Porém, esta manifestação patológica não está incluída entre as que obtiveram os maiores números de ocorrências, portanto, ela tem um alto custo para reparo por ocorrência gerada e uma vez que se analisam apenas os percentuais de solicitações atendidas por causas este item seria descartado. Outro ponto importante é a composição dessa fachada, revestida por pastilhas e granitos, trata-se de um produto clássico, que apesar de já ter a técnica difundida, mostra-se um ponto com falhas de controle durante a construção.

As falhas no sistema de impermeabilização estão na segunda posição do ranking de custos do condomínio D, onde acarretaram um gasto de 14% com os chamados resolvidos. Esta causa apresentou apenas 37 ocorrências, gerando assim um média de 1.264 reais para resolução de cada solicitação. Além desse item, os serviços complementares também representam um elevado custo, porém, apesar de estarem na terceira posição, apresentam uma média de 2.874 reais por ocorrência resolvida. Com esses três primeiros tópicos já se somam 55% do valor desembolsado entre os principais custos do empreendimento com habite-se em 2015.

No empreendimento E foi possível identificar que as três causas com o maior número de chamados resolvidos, representam mais de 50% entre os atendidos pela assistência e possuem uma pequena diferença entre si no número de ocorrência geradas, Figura 6. Além disso, apesar de ser o condomínio com maior tempo decorrido desde a entrega, ele possui o menor número de registro de ocorrências, fato observado pela comparação entre os três condomínios em estudo. Considerando-se os dados apresentados na Figura 6 temos as esquadrias de PVC com o maior percentual de atendimentos vinculados, sendo 19% entre o ranking das dez causas mais atendidas. Diferente dos demais condomínios, no empreendimento E foram recorrentes manifestações patológicas provenientes de defeitos da fixação das esquadrias, porém também foram observados, como nos demais, falhas no sistema de vedação e ajustes no funcionamento das persianas.

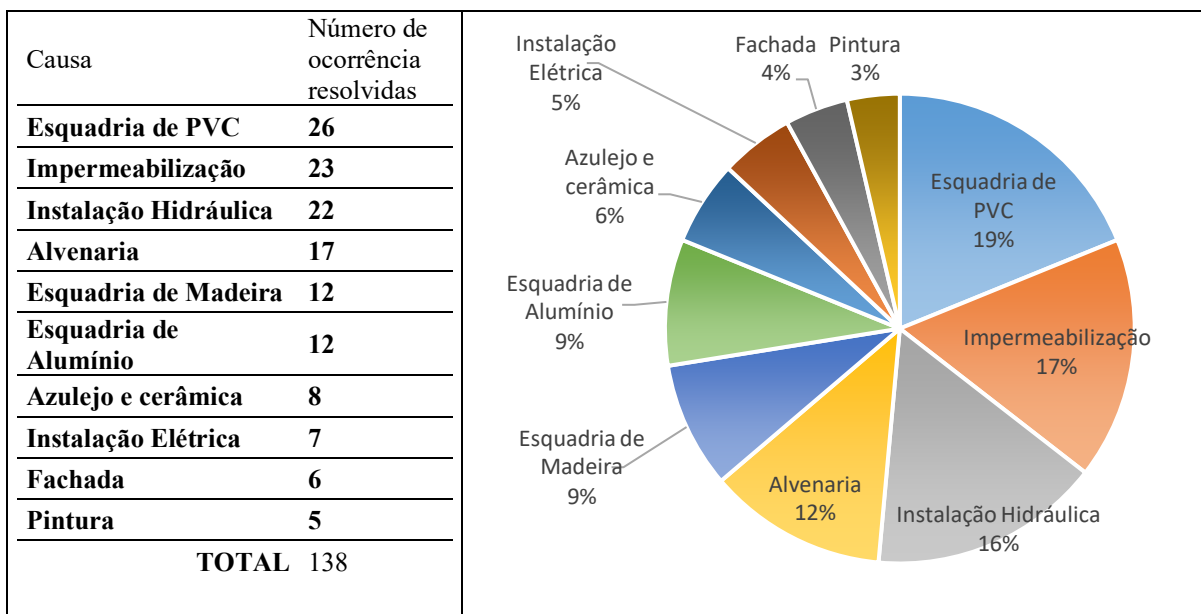


Figura 6: Principais causas vinculadas as ocorrências de assistência técnica no empreendimento E.

As falhas de impermeabilização foram responsáveis por 23 atendimentos. Porém nos condomínios C e D, o percentual referente a esta causa foi inferior, não estando nas primeiras posições. Os danos no sistema são variados e englobam atendimentos, principalmente, na piscina, na cortina e nos boxes de banheiros. Cabe ressaltar que este condomínio possui a menor área de uso comum entre os três em análise, o que deveria gerar um número mais reduzido de ocorrências vinculadas a áreas externas. As instalações hidrossanitárias representaram 16% das solicitações, sendo este tópico observado nos três condomínios como um grande gerador de chamados. Com este item, somam-se 52% dos atendimentos realizados, mostrando assim, um grande impacto no número de registros dessas três primeiras causas averiguadas no empreendimento E.

A Figura 7 ilustra os custos envolvidos para resolução das solicitações do empreendimento E durante os dois anos de registro de dados. Foi utilizada a mesma metodologia aplicada anteriormente.

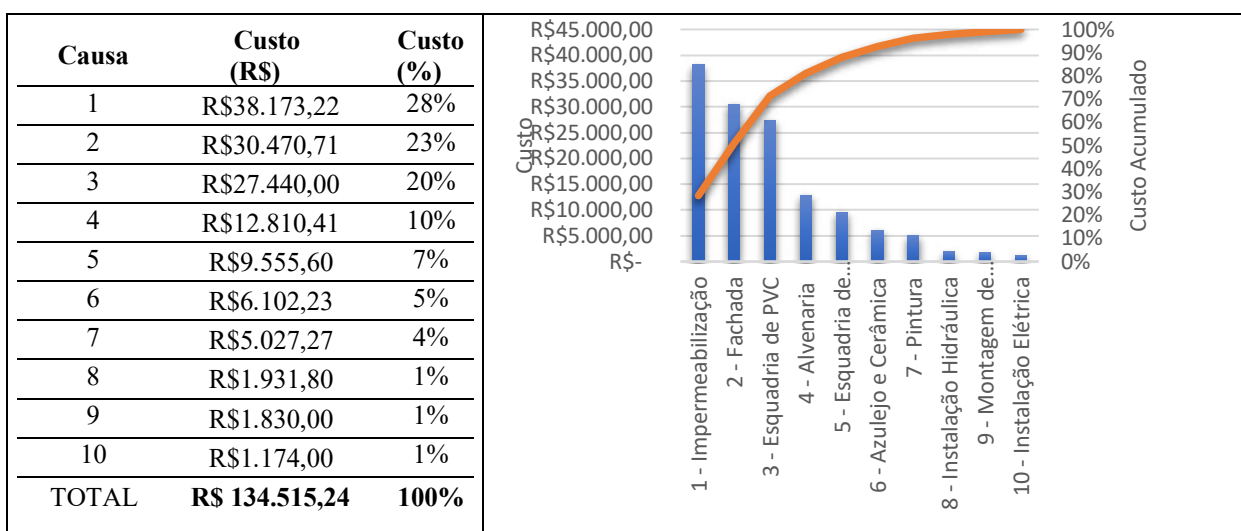


Figura 7: Principais custos relacionados as causas geradoras das ocorrências de assistências técnica no empreendimento E.

Verifica-se que as falhas ocasionadas nos sistemas de impermeabilização apresentam o maior valor gasto com reparos. Esta causa possui uma grande representatividade no número de ocorrência geradas, como já foi descrito anteriormente, porém, ainda assim, reflete uma média alta para correção sendo este valor superior a 1.600 reais por ocorrência resolvida. O segundo ponto de maior impacto no custo são as manifestações patológicas geradas devido a problemas na fachada do condomínio, que também é composta por revestimento clássicos, como pastilhas e granitos. O custo despendido nesses reparos representa 23% entre os dez maiores e esta atrelado a apenas 6 ocorrências, mostrando novamente, um alto custo para resolução de cada solicitação.

Uma análise geral dos 3 empreendimentos, C, D e E evidenciou-se que 22% das ocorrências atendidas, as instalações hidráulicas são responsáveis pela maioria dos chamados de assistência técnica para os empreendimentos classe A. O sistema utilizado nos três prédios é composto por tubulações de PVC, PPR e PEX. Além disso, nas posições 3 e 4, respectivamente, com um número de solicitações semelhantes, encontram-se os itens de outras instalações e instalações elétricas. Com isso, pode-se perceber que o grupo de instalações é o que apresenta a maior quantidade de reclamações, somando 395 que representam 42% dentre as principais causas. Com 171 ocorrências resolvidas, a segunda causa mais vinculada a atendimentos de assistência técnica são as esquadrias de PVC, material das janelas utilizadas nos três empreendimentos. Porém, é observado que no empreendimento C, o mais novo entre os três em análise, este tópico não está presente nas primeiras posições e como os problemas mais recorrentes são de falhas nas vedações e regulagem de persianas, este é um possível tópico que aumentará o número de solicitações com o passar do tempo. Nestas quatro primeiras causas já estão relacionadas 566 ocorrências atendidas, que representam 60% entre o grupo das principais. Além disso, os problemas de impermeabilização (8%), revestimentos cerâmicos (7%), esquadrias de madeira (7%), esquadrias de alumínio (6%), alvenaria (6%), serviços complementares (3%) e pintura (3%) compõem o ranking das causas com maior número de atendimentos de assistência técnica, conforme pode ser observado na Figura 8.

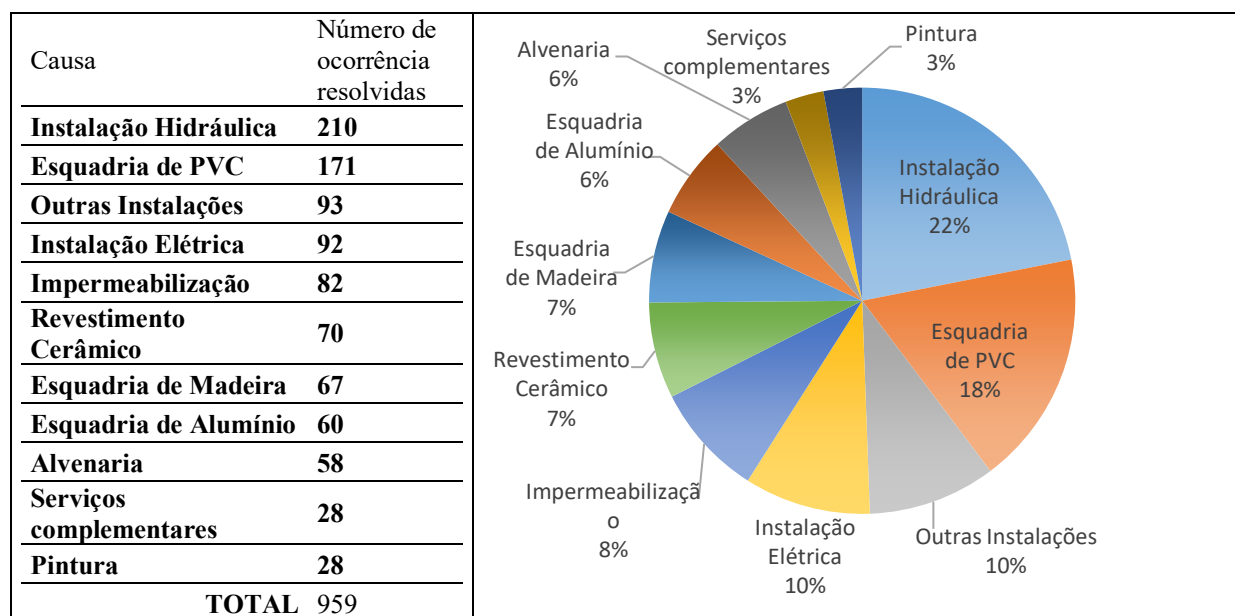


Figura 8: Principais causas vinculadas as ocorrências de assistência técnica nos empreendimentos

Assim como já realizado de forma individual para os condomínios C, D e E, a Figura 9 traz as dez causas que apresentaram o custo mais elevado ao se agruparem os dados dos três estudos. Busca-

se identificar os pontos onde ocorre o maior desembolso da verba da assistência técnica no âmbito global dos empreendimentos de alto padrão da empresa em análise.

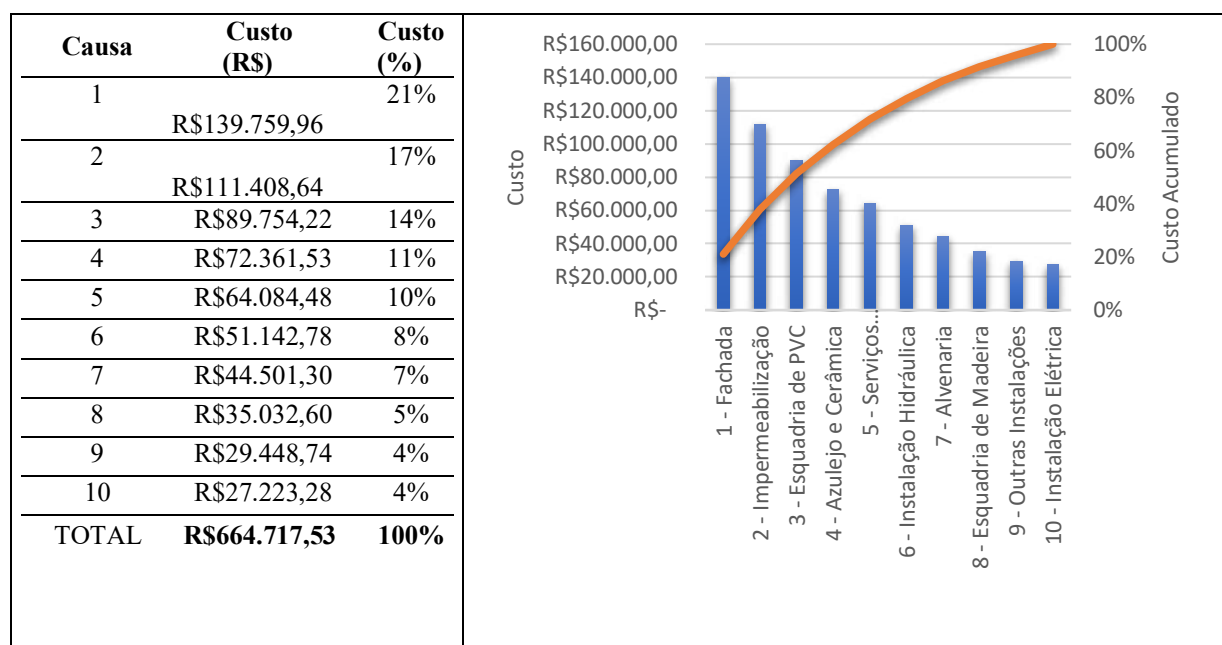


Figura 9: Principais custos relacionados as causas geradoras das ocorrências de assistências técnicas nos empreendimentos C, D e E.

Os reparos com causa vinculada a fachada representam o maior custo entre os empreendimentos de alto padrão. Com um gasto perto de 140 mil reais em dois anos, este tópico não está entre os dez itens com maior número de ocorrências, mostrando-se assim um tópico negligenciado na análise, uma vez que a empresa tem sua visão voltada para a quantidade de chamados e não faz a vinculação com o custo de resolução. Além disso, cabe ressaltar que os condomínios D e E tiveram um alto custo vinculado a falhas na fachada, sendo a mesma composta por pastilhas e granitos, materiais de uso mais clássico, enquanto que no primeiro empreendimento analisado, que tem em grande parte o fechamento em pele de vidro o custo é reduzido. Este fato demonstra que as técnicas mais novas estão tendo um maior controle no momento da execução. As falhas no sistema de impermeabilização aparecem na segunda posição, com 17% do custo vinculado. Conforme discutido anteriormente, apesar de ter percentual baixo de ocorrências geradas (8%), a resolução desses problemas tem um alto custo devido a sua complexidade de diagnóstico e da dificuldade de reparos, sendo outro ponto que necessita ter um controle mais crítico no período de obra buscando evitar danos futuros.

Somando-se as causas com maior relevância para o custo, temos as esquadrias de PVC, que diferente dos tópicos anteriores, possui um alto número de ocorrências vinculadas. Com isso, apenas nos três primeiros tópicos da Figura 9, são acumulados 52% do valor gasto em dois anos de assistência técnica para três empreendimentos. Outro custo que deve ser destacado é o associado ao reparo das falhas nas instalações hidráulicas, que apesar de representar a maior porcentagem entre o número de solicitações atendidas pela assistência técnicas o valor gasto não está entre os três primeiros, sendo de apenas 8% dentre os principais. Situação semelhante ocorre com as demais instalações, que conforme Figura 9, possuem um custo baixo, porém são vinculadas a uma grande quantidade de ocorrências resolvidas. Finalizando a análise, enquanto que as falhas nos revestimentos cerâmicos (11%), serviços complementares (10%), alvenaria (7%) e esquadrias de madeira (5%) somaram um custo de 33% o item de pintura não teve um custo associado significante

quando avaliados os empreendimentos C, D e E de forma conjunta, apesar de representar 3% das ocorrências atendidas pela assistência técnica.

6. CONCLUSÕES

Pode-se observar a predominância de algumas causas no registro total de ocorrências, onde apenas nas três primeiras colocadas do ranking obteve-se 50% dos registros de reclamações, sendo elas: instalações hidráulicas, esquadria de PVC e outras instalações. Também foi possível constatar, pela verificação dos custos gerais, que nos reparos vinculados as falhas na fachada, impermeabilização e esquadrias de PVC, chegou-se a 52% do valor gasto entre os dez mais altos. Esses resultados possibilitaram a empresa repensar no seu processo de atendimento ao cliente Classe A, onde por razões diversas é um cliente que espera que a assistência técnica seja imediata e assertiva, causando o menor impacto possível à sua rotina diária.

Visando aprimorar e qualificar o canal de comunicação com esses clientes foi aprimorado o serviço de atendimento ao cliente Classe A, pela empresa, onde estipularam que solicitações antes consideradas como fora de garantia, segundo o manual do proprietário com duração de tempo de 5 anos no máximo. A assistência técnica dos empreendimentos Classe A também conta com uma equipe operacional própria, que realizada principalmente as demandas que não se encontram mais no período de garantia dos fornecedores buscando diminuir o custo, aumentar a qualidade do serviço prestado e uma maior agilidade na resolução.

Outra ação foi a retroalimentação dos empreendimentos dos empreendimentos Classe A, onde as manifestações patológicas identificadas serviram de lição para os futuros lançamentos, tendo como foco diminuir o volume de problemas com a solução da causa dos mesmos em projeto. Outro ponto de retroalimentação foi o cruzamento dos custos e a solução do problema, onde foi possível tomar a decisão de não ter mais o prazo de garantia para o atendimento do cliente Classe A, visto que a percepção negativa do cliente tem mais impacto nos negócios do que o custo para solucionar os problemas.

Essas conclusões vão de encontro com Schneider (2013) que enfatiza a importância da retroalimentação das informações colhidas no pós-ocupação e, também, com Silva Filho, Souza e Leão Filho (2015) que afirmam que a assistência técnica tem caráter corretivo. Destaca-se que um dos pontos mais importantes desse trabalho foi que a assistência técnica é primordial na tomada de decisão para novos produtos que serão lançados no mundo, conforme relatam Ara'jo, Mendes e Martins (2018).

Ao longo desse estudo ficou evidente que a avaliação periódica e sistemática, por parte das empresas, nas ocorrências geradas devido às solicitações de assistência técnica é importante para os futuros projetos e da própria empresa.

7. REFERENCIAS

ARAÚJO, D.C.; MENDES, J. A. N.; MARTINS, R. Z.; Gestão de Custos Aplicada à Indústria de Estruturas Pré-Moldadas Utilizadas em Construção Civil de Condomínios: estudo de caso. Revista H-Tec Humanidades e Tecnologia, v. 2, n. 2, p. 6-167, jul./dez., 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2006). NBR12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento.

Bautz, A. Conheça o perfil do consumidor de produtos e serviços de luxo. Disponível em: <<https://www.bautz.com.br/blog/perfil-do-consumidor/>>. Acesso em: 11 de mai. 2019.

BRASIL. Código de defesa do consumidor – Lei 8078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Brasília, DF, 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18078.htm>. Acesso em: 22 de jun de 2019.

Laste, F. (2012), “*Assistência técnica ao cliente: descrição das etapas do procedimento na construção civil*”, Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 66.

FIGUERÊDO, P. (2017). Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil. Disponível em <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil.html>. Acesso em 14 de julho de 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). IBGE: Pesquisa anual da indústria da construção. Rio de Janeiro, RJ, 2020. Disponível em: <<https://questionarios.ibge.gov.br/downloads-questionarios/paic-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao>>. Acesso em 04 de ago de 2021.

LIMA, P. R. B. Consideração do projeto no desempenho dos sistemas construtivos e qualidade da edificação – Proposição de um modelo de banco de dados. Dissertação – UFMG. Belo Horizonte, 2005.

NETTO et al. Proposta de melhorias na gestão de empresas de construção civil: um estudo de caso internacional. INTERAÇÕES, Campo Grande, MS, v. 21, n. 3, p. 499-512, jul./set. 2020.

OLIVEIRA, L. A.; MITIDIERI FILHO, C. V. O projeto de edifícios habitacionais considerando a Norma Brasileira de Desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. Gestão & Tecnologia de Projetos, [S.I.], v.7, n.1, p.90-100, mai. 2012.

Ramos, I. S., Mitidieri Filho, C. V. (2007), Procedimentos de assistência técnica para construtoras. *Revista Techne*, 122. <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/122/artigo287440-8.aspx>. Acesso em 20 de março de 2021

REZENDE, M. M., MELHADO, S. B., MEDEIROS, J. S. (2002). “*Gestão da qualidade e assistência técnica aos clientes na construção de edifícios*” in: Congresso de Engenharia Civil, Juiz de Fora.

Laste, F. (2012), “*Assistência técnica ao cliente: descrição das etapas do procedimento na construção civil*”, Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 66.

SCHNEIDER, F. M. (2013), “*Identificação das principais manifestações patológicas em empreendimentos residenciais com base nos dados das assistência técnica de uma empresa construtora*”, Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 110.

SILVA FILHO, C. E., SOUZA, L. R., LEÃO FILHO, R. G. (2015), “*Análise de dados pós obra como ferramenta de gestão da qualidade*”, Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo das normas do Brasil (NBR 15575 com emendas 2021 e NBR 15220) e do Reino Unido (Building Regulations - Part L)

T. C. C. Kingscott¹, L. M. Martins^{1*}, V. F. Mendes¹, L. Caetano¹, J. C. Mendes¹

*Autor de Contato: leticia.mm@aluno.ufop.edu.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar as diferenças entre as normas e as políticas de desempenho térmico do Brasil e do Reino Unido, levando em consideração os climas de cada país. Foi realizada uma comparação qualitativa de parâmetros e dados publicados. Foi verificado que as normas brasileiras estão desatualizadas em sua maior parte e não são suficientemente abrangentes para incluir diferentes tipos e fases de construções. Além disso, as normas brasileiras não são gratuitas e possuem conflitos entre si. Conclui-se que adaptar algumas estratégias de outros países com políticas promissoras pode melhorar significativamente o desempenho energético global dos edifícios no Brasil.

Palavras-chave: desempenho térmico; normas de desempenho; envoltória; Reino Unido.

Thermal performance of buildings: comparative study of Brazilian standards (NBR 15575 with 2021 amendments and NBR 15220) and the United Kingdom (Building Regulations - Part L)

ABSTRACT

This work aims to analyze the differences between the thermal performance standards and policies of Brazil and the United Kingdom, taking into account the climates of each country. A qualitative comparison of published parameters and data was performed. The authors observed that the Brazilian standards are mostly outdated and are not comprehensive enough to include different types and phases of construction. In addition, Brazilian standards are not free and conflict with each other. We concluded that adapting some strategies from other countries with promising policies can significantly improve the overall energy performance of buildings in Brazil.

Keywords: thermal performance; performance standards; envelope; United Kingdom.

Comportamiento térmico de edificios: estudio comparativo de las normas brasileñas (NBR 15575 con modificaciones de 2021 y NBR 15220) y del Reino Unido (Reglamento de construcción - Parte L)

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo analizar las diferencias entre los estándares y políticas de desempeño térmico de Brasil y Reino Unido, tomando en cuenta los climas de cada país. Se realizó una comparación cualitativa de los parámetros y datos publicados. Se encontró que las normas brasileñas están en su mayoría desactualizadas y no son lo suficientemente completas como para incluir diferentes tipos y fases de construcción. Además, las normas brasileñas no son libres y entran en conflicto entre sí. Se concluye que la adaptación de algunas estrategias de otros países con políticas prometedoras puede mejorar significativamente el rendimiento energético general de los edificios en Brasil.

Palabras clave: rendimiento térmico; estándares de desempeño; envoltura; Reino Unido.

1. INTRODUÇÃO

Desde o instinto básico de sobrevivência até a melhoria da produtividade do local de trabalho, a humanidade busca superar as condições climáticas para alcançar conforto e segurança. Devido à intensificação da urbanização no último século e à busca para melhorar a qualidade do ambiente construído no mundo, reforçou-se a importância do conceito de eficiência térmica nos edifícios. Esse conceito abrange a capacidade de um edifício proporcionar conforto térmico, visual e acústico através da redução do consumo de energia em comparação com edifícios similares nas mesmas condições ambientais (Lamberts, et al., 2012).

De acordo a Agência Internacional de Energia (2020), as emissões de CO₂ relacionadas ao consumo de energia de edifícios aumentaram nos últimos anos e, a crescente demanda de energia para aquecimento e resfriamento estão entre os fatores que contribuíram para isso. Em contexto mundial, os edifícios são responsáveis por quase 40% das emissões diretas e indiretas totais de CO₂ e por mais de um terço do consumo global de energia final (IEA, 2020). No Brasil, o setor residencial consome 28,8% do total de energia produzida no território nacional (EPE, 2017).

Esse consumo, quando utilizado para aquecimento e resfriamento de ambientes, normalmente é consequência de deficiências construtivas e de projeto que falham em manter a temperatura interna em níveis aceitáveis de forma passiva. Por essa razão, o desempenho térmico nos edifícios é uma questão relevante quando se trata de políticas energéticas em todo o mundo, seja para países desenvolvidos quanto para aqueles em desenvolvimento. Nesse cenário, o desempenho térmico adequado tem impactos significativos na saúde e produtividade do usuário.

Ambientes de trabalho, como escritórios, precisam atender a Lei de 1974 – Saúde e Segurança no Trabalho no Reino Unido e, no Brasil a lei nº 6.514, art.178 (1977), para preservar o bem-estar no trabalho. Segundo Saunders (2002), as condições locais, construção, projeto e manutenção têm efeito na saúde dos ocupantes não só nos escritórios, mas também em escolas, hospitais, *shopping centers* e até residências particulares. Quando os edifícios não são projetados e construídos visando a esse desempenho, as deficiências podem levar a mal-estar dos usuários além do aumento do consumo de energia elétrica.

Com base nas considerações acima, as normas, leis e regulamentos de desempenho térmico dos edifícios buscam trazer benefícios econômicos e racionalização dos recursos. Além de fornecer técnicas para processos construtivos versáteis o suficiente para acomodar o clima local, elas fornecem definições, classificam parâmetros e estabelecem diretrizes para condicionar um ambiente de forma eficiente (Markov, 2002). Nesse sentido, normas atualizadas orientam a indústria da construção a priorizar soluções mais sustentáveis.

As normas de desempenho térmico dos edifícios normalmente avaliam esse fator comparando os resultados práticos de projeto com um conjunto pré-definido de parâmetros. Dessa forma, é possível padronizar processos construtivos visando qualidade, facilidade construtiva e menor desperdício, ainda atendendo às expectativas dos usuários e à funcionalidade para a qual o edifício será projetado. Devido a diferenças nas características de cada região ou país, seja devido ao relevo, localização, exposição solar, níveis de umidade, tradição construtiva e outras especificidades, há necessidade de adaptação de processos e parâmetros construtivos às especificidades de cada local. No Reino Unido (UK), os *Building Regulations* (Regulamentos de Construção) são responsáveis por estabelecer normas para a concepção e construção de edifícios e assegurar a eficiência térmica do parque habitacional britânico, bem como a saúde e segurança dos ocupantes. Os documentos apresentam os requisitos mínimos para regulamentar a conservação de energia nos edifícios (LABC, 2018).

Já no Brasil, em 1985, foram aprovadas as primeiras regulamentações para melhorar a eficiência energética dos edifícios, por meio do Programa Nacional de Conservação da Eletricidade (PROCEL), com o objetivo de objetificar a racionalização da produção e do consumo de energia

elétrica (D'ell Santo, et al., 2013). Atualmente, as principais normas que abordam o comportamento térmico de um edifício residencial no Brasil são a ABNT NBR 15220 (2005) e a ABNT NBR 15575 (2013).

Este trabalho tem como objetivo comparar as normas de desempenho térmico do Brasil e Reino Unido, avaliando como as diferenças nas normas de desempenho térmico afetam a qualidade dos edifícios, levando em consideração seus respectivos climas. Atualmente, os desafios relacionados a deficiências construtivas decorrem das normas vigentes. Ao mesmo tempo, as condições climáticas sofreram mudanças e picos ao longo dos anos. Assim, é necessário investigar as políticas de desempenho térmico com implementações bem-sucedidas de outros países para se extrair lições e atualizações para as normas brasileiras.

2. METODOLOGIA

Foram analisadas e comparadas as normas de desempenho térmico descritas na Tabela 1, originárias do Reino Unido e do Brasil, a fim de compreender as diferenças em suas políticas de desempenho térmico.

Tabela 1. Normas de desempenho térmico analisadas.

País	Ano da Edição (Ano da última emenda considerada)	Norma de desempenho térmico consultada
Brasil	2005 (2008)	ABNT NBR 15220 – Desempenho Térmico em Edifícios
Brasil	2013 (2021)	ABNT NBR 15575 – Edifícios Residenciais - Desempenho
Reino Unido	2010 (2018)	<i>The Building Regulations</i> - L (L1a, L1b, L2a, L2b)

A compreensão dessas diferenças se baseia na comparação qualitativa de parâmetros e dados publicados, bem como na forma como essas políticas afetam a qualidade do desempenho térmico para edifícios em cada país analisado. Nesse sentido, a primeira preocupação foi escolher parâmetros direcionados aos temas mais relevantes das comparações, sem negligenciar as características locais de cada país.

Após identificar as principais similaridades e diferenças, foram traçados os desafios enfrentados pelo Brasil. Além disso, foram definidas as possíveis questões de regulamentações de desempenho térmico desatualizadas e os impactos resultantes sobre edifícios, saúde e satisfação dos usuários. Finalmente, após entender a eficácia das normas de desempenho térmico, foram feitas comparações para estabelecer o que pode ser aprendido pelo Brasil com as soluções promissoras adotadas pelo UK.

3. RESULTADOS

3.1 Breve revisão das normas brasileiras

3.1.1 ABNT NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações

A NBR 15220 (ABNT, 2005), intitulada "Desempenho térmico de edificações", tornou-se válida em 2005. A segunda seção da norma: "Parte 2 - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações" foi editada pela última vez em 2008. Ela está dividida em 5 partes, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Principais seções dentro da norma ABNT NBR 15220.

Parte	ABNT NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações
1	Definições, símbolos e unidades
2	Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações
3	Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social
4	Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida
5	Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico

A NBR 15220 (2005), na Parte 3, divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas (Figura 1), relativamente homogêneas. A norma traz as metodologias adotadas para determinar o zoneamento e os dados de 330 cidades que tiveram seus climas classificados. Alguns dos parâmetros e condições de contorno levados em conta para determinar as diretrizes de construção de cada zona são: o tamanho e sombreamento das aberturas de ventilação, seleção de materiais para paredes externas e telhados (com características como transmissão térmica, atraso térmico e fator solar) e estratégias passivas de condicionamento térmico.

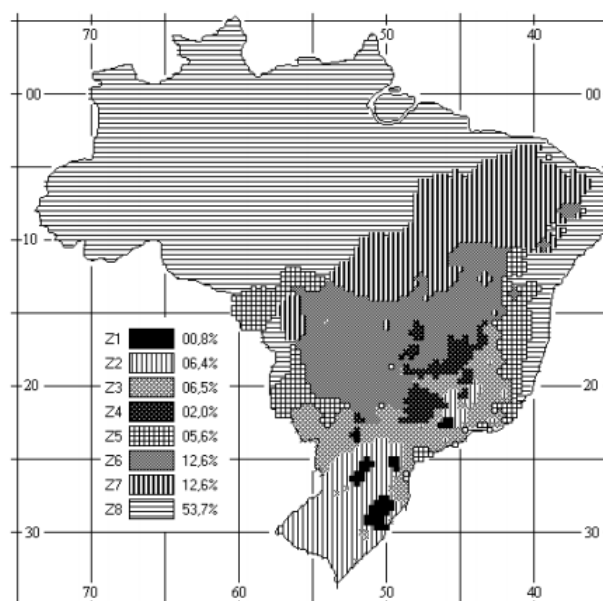


Figura 1. Demonstração do zoneamento climático brasileiro. Adaptado da ABNT (2005).

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), a avaliação do desempenho térmico de um edifício pode ser realizada na fase de projeto, por meio de simulações computacionais ou através da verificação de um conjunto de diretrizes; ou após a construção, através de medições *in situ* de variáveis significativas. Ao contrário do que o nome sugere, a norma não aborda procedimentos para avaliar o desempenho térmico dos edifícios, mas fornece diretrizes para alcançar pelo menos um desempenho mínimo sem apresentar um método de verificação. Nesse sentido, para cada uma das zonas estabelecidas, a norma visa otimizar o desempenho térmico dos edifícios por meio da adequação climática.

3.1.2 ABNT NBR 15575 – Edifícios habitacionais – Desempenho

A NBR 15575 (ABNT, 2013), intitulada " Edifícios habitacionais - Desempenho", é aplicável para edifícios sem limitações de pavimentos e teve sua primeira edição em 2008. A norma tem a pretensão de atender às expectativas dos usuários em relação aos sistemas que compõem suas moradias, independente do sistema construtivo adotado. Essa norma está focada nas demandas dos usuários em relação ao comportamento dos edifícios em utilização e não uma diretriz de como devem ser construídos. A norma é dividida em 6 partes, mostradas na Tabela 3.

Tabela 3. Principais seções dentro da norma ABNT NBR 15575.

Parte	ABNT NBR 15575 – Edifícios habitacionais - Desempenho
1	Requisitos gerais
2	Requisitos para os sistemas estruturais
3	Requisitos para os sistemas de piso
4	Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE
5	Requisitos para os sistemas de coberturas
6	Requisitos para os sistemas hidrossanitários

No dia 30 de março de 2021, foram publicadas emendas das partes 1, 4 e 5, revisando parte do conteúdo referente à avaliação de desempenho térmico. A versão anterior da parte 1 (de 2013) exigia que o edifício atendesse ao desempenho mínimo considerando simulações térmicas da edificação inteira em dias típicos de inverno e verão. Após inúmeras críticas, a emenda de 2021 promove modificações para que a simulação inclua todo o ano na avaliação, visando incorporar melhor as variações no clima local e trazer uma análise mais próxima da realidade. Os dados das cargas térmicas devido a ocupação, como pessoas, iluminação artificial e equipamentos eletrônicos, agora também são incluídos.

Na primeira parte da NBR 15575, são estabelecidos requisitos gerais e definições dos principais termos utilizados. Também são definidas atribuições de partes interessadas como a identificação dos riscos da obra, a determinação da expectativa de vida projetada. Em termos de avaliação de desempenho, essa norma levanta questões como a importância de avaliar o meio ambiente em que a edificação está localizada. Na emenda de 2021, foram atualizados os procedimentos Simplificado e Simulação Computacional para avaliação de desempenho térmico, tratando de forma mais compreensível os aspectos da medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos; as características do programa de simulação computacional, do arquivo climático, do modelo de referência e do uso da ventilação natural; e a modelagem da unidade habitacional (UH). Houve também inclusão de anexo informativo (anexo A, item A.1) referente a degradação das superfícies na absorção à radiação solar, em função do tempo de exposição.

A parte 4 fornece critérios para verificar o desempenho térmico mínimo das paredes externas e internas. Esses sistemas podem ser avaliados por meio de uma análise simplificada, comparando-se as propriedades térmicas das vedações com requisitos fixos pré-definidos. A Parte 4 da NBR 15575 ainda traz os valores de transmitância térmica e capacidade térmica para obter o desempenho térmico mínimo para cada zona bioclimática presente na NBR 15220 - Parte 3 (ABNT, 2005). Na emenda de 2021, foram descritos os critérios e métodos que se referem ao percentual de abertura para ventilação (PV_{APP}) e elementos transparentes.

A parte 5 aborda critérios e requisitos mínimos de desempenho para a cobertura. Para isso, são consideradas as definições de NBR 15220 - Parte 1 e Parte 3. Como requisito, os limites para transmissão térmica e absorvidade à radiação solar devem ser apropriados para cada zona bioclimática definida na NBR 15220 - Parte 3. Da mesma forma que para as vedações verticais, o critério inicial envolve uma análise simplificada de comparação de propriedades térmicas com valores de referência. Se a cobertura não atender aos requisitos deste método, o desempenho térmico do edifício é verificado de acordo com a NBR 15575 - Parte 1. Na avaliação, a determinação da transmitância térmica deve ser feita de acordo com a NBR 15220 - Parte 2. A emenda dessa parte, houve melhorias no texto, o que melhora o entendimento.

3.1.3 *Building Regulations - Part L*

Os *Building Regulations* do Reino Unido abrangem um conjunto de regras dedicadas a todas as etapas de projeto e construção de edificações. Eles fornecem detalhes de controle de qualidade e abrangem vários aspectos, como segurança estrutural, segurança contra incêndios, desempenho, fundações, saneamento e materiais de construção. O presente estudo avalia os *Building Regulations* que são aplicados na Inglaterra e no País de Gales. O documento é formado por diversas partes, cada uma focada em um aspecto particular do projeto e da construção. Em relação ao desempenho térmico dos edifícios, o *Building Regulations - Part L: Conservation of fuel and power* (Parte L: Conservação de combustível e energia), visa reduzir o consumo de energia e as emissões de CO₂ das edificações britânicas, conforme as metas do país. Esta parte se concentra no desempenho da envoltória através de especificações como valores U, pontes térmicas e estanqueidade. O escopo da parte L é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Conteúdo do *Building Regulations - Part L*.

L1A e L2A (habitações novas e existentes)	L1B e L2B (edifícios que não sejam habitações, novos e existentes)
<p>Seção 1: Requisitos</p> <p>Seção 2: Padrões requeridos de projeto</p> <p>Seção 3: Qualidade da construção e comissionamento</p> <p>Seção 4: Fornecendo informações</p> <p>Seção 5: Projeto de modelos</p>	<p>Seção 1: Introdução</p> <p>Seção 2: Os requisitos</p> <p>Seção 3: Orientações gerais</p> <p>Seção 4: Orientações relacionada ao trabalho de construção</p> <p>Seção 5: Orientações sobre elementos térmicos</p> <p>Seção 6: Melhorias consequentes ao desempenho energético</p> <p>Seção 7: Fornecendo informações</p>

Adaptado de: (HM Government, 2010).

3.2 Principais comparações entre as normas

A análise comparativa das normas brasileiras e do *Building Regulations - Part L*, baseou-se em parâmetros considerados consistentes para o desempenho térmico dos edifícios em ambos os países. O resumo dos aspectos incluídos ou ausentes em cada norma é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5. Comparação das normas de desempenho. Fonte: Autores.

Aspectos	Normas brasileiras		Normas do Reino Unido
	ABNT NBR 15220 (2005)	ABNT NBR 15575 (2013 com emendas de 2021)	<i>Building Regulations - L</i> (2010 com emendas de 2018)
Atualizações atuais	x	✓	✓
Certificado de Desempenho	x	x	✓
Manual de operação e manutenção	x	✓	✓
Zonas Climáticas e Bioclimáticas	✓	✓	x
Valores-U (transmitância térmica)	✓	✓	✓
Novas moradias	✓	✓	✓
Habitações existentes	x	x	✓
Edifícios além de habitações	x	x	✓
Cálculo da taxa de emissão de CO ₂	x	x	✓
Procedimentos de simulação	x	✓	✓
Vida útil do projeto	x	✓	x
Limites para ganhos de calor no verão	✓	✓	✓
Orientação predial e sombreamento	x	✓	x
Estratégias passivas	✓	x	✓
Requisitos de isolamento para sistemas de piso	x	x	✓
Disponível para acesso gratuito (pdf)	x	x	✓

3.3 Análise crítica das normas de desempenho

Em países populosos, como o Brasil, a demanda por energia elétrica nos edifícios aumenta à medida que o desenvolvimento urbano se intensifica. A demanda crescente por energia, que contribui massivamente para as emissões de CO₂, é em grande parte dedicada a sanar deficiências no conforto térmico dos edifícios. Nesta situação, os requisitos das normas de desempenho realizam um papel relevante na garantia do desempenho térmico dos edifícios e, por conseguinte, garantindo um melhor conforto para os usuários e um menor consumo energético para aquecimento e resfriamento artificiais.

Realizando um comparativo entre as normas, nota-se que a NBR 15220 e NBR 15575 são relativamente novas, lançadas em meados dos anos 2000, enquanto desde 1965 o *Building Regulations* do Reino Unido já possuía limites máximos para Valores-U em paredes. Já em relação a frequência de atualização das edições, nota-se que as normas brasileiras são raramente

atualizadas. A NBR 15575 (2013), apesar de ter quatro versões antes de sua publicação em 2013, só foi lançar uma nova emenda em 2021 (voltada somente para a avaliação de desempenho térmico, não constituindo uma atualização geral). Por outro lado, os *Building Regulations - Part L* são frequentemente revisadas, a edição de 2010 incorporou alterações de 2010, 2011, 2013, 2016 e 2018. Essa revisão constante permite atualizar e esclarecer aspectos técnicos e de interpretação, ao mesmo tempo em que inclui novas abordagens.

Outro aspecto distinto das normas de ambos os países é o tipo de construção para o qual se aplicam. As normas brasileiras NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2013) estão restritas a novas moradias, e somente atendem a fase de projeto. As diretrizes não são aplicáveis a outros tipos de edifícios e não há requisitos para diferentes fases de construção. Essa abordagem é fortemente limitada, uma vez que não oferece alternativas para melhorar o desempenho térmico do estoque habitacional tradicional brasileiro, nem de edifícios comerciais ou industriais. Em contraste, os *Building Regulations - Part L* (2010) estabelece regras para edificações residenciais e não-residenciais, novas e existentes, mostrando uma maior preocupação em abranger diferentes possibilidades.

Além desses fatores, o *Building Regulations - Part L* (2010) quantifica o desempenho térmico em termos de emissões de CO₂ combinadas com requisitos de energia predial. Sendo assim, a norma britânica é benéfica para reduzir o uso de energia durante os anos de operação de edifícios e contribui para que o Reino Unido atinja suas metas de redução de emissões de gases de efeito estufa. Nenhuma desses aspectos é abordado nas normas brasileiras.

Adicionalmente, tanto a NBR 15575 (ABNT, 2013) quanto nos *Building Regulations* do Reino Unido - *Part L* (2010) trazem especificações para a criação de um manual de operação e manutenção, a ser entregue aos proprietários/ocupantes. Adicionalmente, os *Building Regulations - Part L* também aborda a entrega de um certificado de desempenho ao proprietário do edifício. Essas especificações, com abordagens para alcançar o controle de qualidade predial, reduzem a subjetividade de alguns critérios e reforçam a responsabilidade dos construtores e projetistas.

Uma das poucas características presentes nas normas brasileiras, mas ausente no *Building Regulations - Part L* (2010), é a existência das zonas bioclimáticas como um influenciador das diretrizes de desempenho térmico. O Brasil tem um território considerável, que culmina em uma variação climática mais ampla e diferentes especificidades entre regiões. Por isso, a divisão sistêmica do território em zonas bioclimáticas é uma abordagem interessante do contexto brasileiro. No entanto, alguns autores como Amorim *et al.* (2017) consideram a proposta bioclimática desatualizada e limitada, uma vez que nem sempre apresenta resultados satisfatórios para determinadas situações, como a de cidades próximas com diferentes características de topografia e clima, mas que pela localização geográfica acabam classificadas na mesma zona bioclimática.

De acordo com o anexo B da NBR 15220 (ABNT, 2005), para a confecção do zoneamento bioclimático brasileiro, a partir das 330 cidades selecionadas, utilizaram-se os dados das normais climatológicas medidos de 1961 a 1990 em 206 cidades, e dados das normais climatológicas e outras fontes medidos de 1931 a 1960 em 124 cidades. Entretanto, o Brasil possui 5570 municípios, segundo o IBGE (2016), o que demonstra a pouca expressividade dos dados levantados na época. Nesse contexto, enfatizamos a necessidade de revisão da NBR 15220 (ABNT, 2005) uma vez que foi publicada há mais de 10 anos, e continua a ser utilizada sem atualizações consistentes desde 2008.

Nas normas brasileiras, alguns parâmetros que existem em uma das normas não são abordados em outra. Por exemplo, a NBR 15220 (ABNT, 2005) não aborda a orientação geográfica do edifício, apenas faz uma pequena menção de que a orientação correta pode otimizar seu aquecimento no inverno através do controle da incidência de radiação solar. Por outro lado, a NBR 15575 (ABNT, 2013) especifica recomendações para simulações da orientação mais crítica para o verão e inverno, considerando obstruções por elementos construtivos ou no entorno. Nesse contexto, a existência de duas normas a serem seguidas para um mesmo assunto gera ambiguidades e conflitos, além de

implicar em um custo dobrado para suas aquisições. O *Building Regulations – Part L* (2010) orienta os projetistas a orientar as edificações para o sul (dado que o país está no Hemisfério Norte), a fim de se beneficiar de ganhos passivos solares. Além disso, o acesso ao *Building Regulations – Part L* (2010) é gratuito.

Em relação à requisitos de propriedades térmicas, a eficiência energética da envoltória do edifício é uma função de vários parâmetros, entre eles os valores U (transmitância térmica) que regulam a taxa de transferência de calor entre os ambientes interno e externo. Este parâmetro está presente tanto nas normas brasileiras quanto no *Building Regulations* (2010). No entanto, os limites das normas brasileiras não são tão restritivos quanto do Reino Unido. Nos dois sistemas analisados (vedações verticais externas e cobertura), para novas habitações, a norma britânica chega a ter valores de 19 até 28 vezes menores do que a norma brasileira. Como consequência dessa diferença, as habitações brasileiras têm um desempenho de isolamento térmico relativamente pior.

Assim, essa deficiência reflete na insatisfação dos usuários, maior consumo de energia elétrica para manter o conforto térmico dos edifícios e, conseqüentemente, contribui para maiores emissões de CO₂ durante o verão e o inverno. Neste caso, nas normas brasileiras, a redução dos valores U dos componentes construtivos poderia contribuir para um melhor desempenho térmico do edifício.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho discutiu as diferenças entre as normas brasileiras de desempenho térmico: NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2013) (incluindo suas emendas mais recentes, 2008 e 2021, respectivamente) e o *Building Regulations – Part L* (2010), que estabeleceram razões para acreditar que as normas brasileiras mencionadas estão desatualizadas e limitadas no objetivo de cumprir seus respectivos papéis de normas informativas e regulamentadoras.

As razões são:

- As normas brasileiras são relativamente recentes (estabelecidas nos anos 2000) e só foram atualizadas algumas poucas vezes ao longo dos anos, em períodos relativamente espaçados. Isso prejudica sua capacidade de adaptação às novas técnicas construtivas e mudanças climáticas;
- As normas brasileiras especificam limites comparativamente amplos para seus parâmetros numéricos de isolamento quando comparados ao *Building Regulations – Part L* (2010);
- As normas brasileiras atuais não atribuem exigências de desempenho térmico a outros tipos de edifícios que não sejam habitações, e a outras fases de construção que não sejam a fase de projeto;
- As abordagens das normas brasileiras para a orientação predial associada a estratégias passivas são mínimas para melhorar as necessidades energéticas dos edifícios;
- A existência de duas normas brasileiras a serem seguidas implica em custos para a compra de ambas e na existência de conflitos de valores e exigências.
- As normas brasileiras não apresentam alternativas ou requisitos para redução na emissão de CO₂ das edificações, o que representa uma oportunidade perdida no esforço para redução dos impactos ambientais do setor da construção civil no Brasil.

Pelas razões descritas acima, a revisão demonstrou que o processo de atualização das normas é fundamental para sanar lacunas, responder a ambiguidades construtivas e incluir aspectos não previamente abordados. E a disponibilização das normas de desempenho térmico gratuitamente constituiria em menos uma barreira para sua efetiva aplicação por projetistas. Adicionalmente, recomenda-se que as normas brasileiras tragam valores-limite mais ambiciosos para as propriedades térmicas de sua vedação externa, buscando promover um melhor isolamento térmico.

Assim, conclui-se que adaptar políticas inspiradas em outros países com maior experiência promove uma referência de eficiência e qualidade aos processos de melhoria do desempenho térmico dos edifícios no Brasil, culminando no bem-estar de seus usuários.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Ouro Preto e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio organizacional e financeiro (CNPq nº12/2020, Programa de Mestrado Acadêmico para Inovação – MAI).

6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações [Relatório] / Associação Brasileira de Normas Técnicas. - Rio de Janeiro : [s.n.], 2005.
- ABNT NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho [Relatório] / Associação Brasileira de Normas Técnicas. - Rio de Janeiro : [s.n.], 2013.
- Amorim A. C. e Carlo J. C. Analysis of the Brazilian bioclimatic zoning: case study of Colatina, ES [Relatório] / Scielo. - 2017.
- D'ell Santo Amabelli, De Alvarez Cristina Engel e Nico-Rodrigues Edna Aparecida Thermal comfort and performance in contradiction in NBR 15575 [Relatório] / UFRJ, Programa de Pós Graduação em Arquitetura. - 2013.
- EPE 2017 Statistical Yearbook of electricity: 2016 baseline year [Relatório] / Ministério de Minas e Energia (MME). - Rio de Janeiro : [s.n.], 2017.
- HM government The Building Regulations, Part L1A: Conservation of Fuel [Livro]. - [s.l.] : NBS , RIBA Enterprises Ltd., 2010. - 2214.
- HM Government The Building Regulations: L1B - Conservation of fuel and power in existing dwellings [Relatório] / HM Government. - England : [s.n.], 2010.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [Online] // Cidades e Estados. - 2016. - 30 de 05 de 2021. - <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>.
- IEA (Internacional Energy Agency) [Online] // Buildings A source of enormous untapped efficiency potential. - 2020. - 30 de 05 de 2021. - <https://www.iea.org/topics/buildings>.
- LABC Approved Documents and technical guidance England [Online]. - 2018. - <https://www.labc.co.uk/professionals/building-regulations-guidance/approved-documents-and-technical-guidance-england>.
- Lamberts Roberto, Dutra Luciano e Pereira Fernando O. R. Eficiência Energética na Arquitetura [Livro]. - Rio de Janeiro : PROCEL, 2012.
- Markov Detelin Standards in Thermal Comfort [Relatório] / Technical University of Sofia. - Bulgária : [s.n.], 2002.
- Saunders Thomas The Boiled Frog Syndrome: Your Health and the Built Environment [Livro]. - [s.l.] : Wiley-Academy, 2002.

Estudo de caso das patologias de um reservatório por meio do uso de VANT

V. N. V. Tinoco^{1*}, R. T. V. Fernandes², J. M. M. Gurgel, B. D. A. da Silveira³, A. M. de Sousa Junior⁴

*Vinicius Navarro Varela Tinoco: navarrotinoco@gmail.com

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil

² Departamento de Ciências Animais, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, Brasil

³ Departamento de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semiárido, Caraúbas, Brasil

⁴ Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, Brasil

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma metodologia do uso de drones para análise de edificações com o objetivo de identificar manifestações patológicas, por meio de um estudo de caso de um reservatório de água. Foi realizada uma parametrização das diferentes estruturas do reservatório e, com o auxílio do drone, foram capturadas imagens das manifestações identificadas visualmente. Os resultados mostraram com detalhes o estado de deterioração externa do reservatório estudado e percebeu-se a aplicabilidade do uso dos drones quanto à vistoria de locais de difícil acesso. Concluiu-se que a utilização da metodologia da inspeção remota pode ser essencial para a segurança física dos profissionais de engenharia, comprovando sua eficácia. Foram apontadas possíveis causas para as manifestações patológicas e indicadas técnicas de recuperação da estrutura.

Palavras chave: controle de qualidade; patologias em reservatórios; concreto armado; Aeronave Remotamente Tripulada.

1. INTRODUÇÃO

A construção de edificações para diversos fins é uma preocupação desde os primórdios da humanidade. O crescimento da construção civil aliado à necessidade de novas estruturas trouxe conhecimento e estudos sobre estruturas e materiais. Porém, assim como parte do processo do avanço das ciências e do conhecimento, ainda existem imperfeições nos processos construtivos a serem estudadas e superadas.

O crescimento acelerado das cidades e consequente desenvolvimento do ramo da construção civil resultaram em um avanço tecnológico no campo das técnicas e dos materiais de construção, entretanto Silva, Pimentel e Barbosa (2003) apontam que foi observado um grande número de edificações apresentando manifestações patológicas, inclusive edificações relativamente novas.

Com o crescimento urbano, surge a necessidade da criação planejada de infraestrutura básica para atender as necessidades das populações como saneamento, energia, estradas e espaços para educação, saúde, lazer, entre outros. Para atender a necessidade de água encanada, empresas especializadas instalam reservatórios espalhados pela cidade para servidão de determinadas áreas. As manifestações patológicas que aparecem com maior assiduidade de acordo com Roscoe (2008) são: corrosão em armaduras de concreto, destacamentos, bolor (mofo), eflorescência e fissuras.

O presente trabalho almeja realizar um estudo de caso de forma a identificar as manifestações patológicas mais frequentes em reservatórios por meio do uso de veículo aéreo não tripulado - VANT.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. USO DE DRONE

A obtenção de imagens em alturas já é uma realidade. Desde filmes e documentários até trabalhos de fiscalização e investigação criminal recebem o apoio de imagens aéreas. Estas imagens podem ser obtidas com auxílio drones. Essas máquinas são vantajosas para esse tipo de atividade pois permitem o acoplamento de câmeras (sejam térmicas ou de alta definição) para visualização remota, têm voo estável e possuem a capacidade de se manterem relativamente estáticos quando comparados a outros tipos de aeronaves de pequeno porte.

De acordo com a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), o uso de RPA's (aeronaves remotamente pilotadas) ou drones, como são popularmente chamados, é permitido para atividades profissionais sob condições impostas pelo Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017, pelo DECEA (Departamento de Controle de Espaço Aéreo) e pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). A ANAC determina que os drones só podem ser operados à uma distância mínima de 30 metros horizontais daqueles que não estejam envolvidos na operação. As RPA's são divididas em 3 classes de acordo com seu peso: classe 3, até 25 quilogramas; classe 2, de 25 a 150 quilogramas; e classe 1, mais de 150 quilogramas. Os documentos necessários para voos com aeronaves acima de 250 gramas são a certidão de cadastro do equipamento, certificado de aeronavegabilidade válido (para aeronaves não tripuladas de Classes 1 e 2 e as de Classe 3 que voem acima de 400 pés), manual de voo, apólice de seguro, documento com avaliação de risco, licença e habilitação de piloto válidas para operações acima de 400 pés em relação ao nível do solo ou que atuem em operações de RPA's Classe 1 e 2 e extrato do Certificado Médico Aeronáutico para pilotos de aeronaves não tripuladas da Classe 1 ou 2. De acordo com o DECEA, é necessário ainda uma Autorização de Voo do Ministério da Defesa para aerolevantamentos.

2.2 PATOLOGIAS

Souza e Ripper (1998) apontam que ao se tratar da área da construção civil, patologias ou manifestações patológicas são objeto de estudo pois podem resultar desde em um problema na saúde dos usuários da mesma até o encurtamento da vida útil de uma edificação ou sua inutilização total. São resultados do envelhecimento natural da estrutura, das falhas humanas no processo construtivo ou de erros em alguma fase de planejamento do projeto. O fato de que patologias estruturais comprometem a utilidade de uma obra demandando recursos financeiros, faz com que os ramos da construção civil especializados em vistorias prediais e manutenção sejam necessários. A vida útil, a segurança, a confiabilidade e o risco dos sistemas de infraestrutura civil tornaram-se questões emergentes nos últimos anos devido às catástrofes naturais e humanas, questões de sustentabilidade e ao aquecimento global.

2.3 INVESTIGAÇÃO COM DRONE

Fernandes et al (2021) apresenta o uso do VANT como uma forma eficiente de identificação de manifestações patológicas de forma remota em seu estudo. Apesar das vias pavimentadas não serem um local de difícil acesso, como seriam pontes ou reservatórios elevados, a

eficiência do uso de fotos feitas de forma remota é comprovada pela comparação entre a identificação e mensuração de manifestações realizadas de forma direta, ou seja, no próprio local do estudo, e da maneira alternativa, pelo uso do drone, obtendo 94,4% de acerto.

Enquanto as vias possuem fácil acesso, locais em altura devem recorrer o profissional de engenharia ao risco para poder realizar inspeções. Os VANTs podem voar automaticamente ou ser pilotado por meios eletrônicos e computacionais e se apresentam como alternativa a esta problemática, pois apesar de idealizados para fins militares, utilizados inicialmente em missões muito perigosas para serem executadas por seres humanos, vêm ganhando destaque entre intervenções civis com aplicações desde a fiscalização de obras, até a inspeção de estruturas em ambientes de alto risco (Melo, 2016).

Bhonge et al (2020) apresenta a possibilidade da inspeção de pontes por uso de drones comerciais. Ele reforça a metodologia dizendo que a inspeção tradicional com equipamentos de rapel associada à ensaios físicos não são necessários a partir do momento que a inspeção remota já é suficiente para se chegar à uma conclusão que leve à interdição da estrutura em questão, sendo então, no caso da metodologia apresentada, a primeira parte de uma inspeção de locais de difícil acesso e condicionante à continuação ou não de uma investigação mais aprofundada.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Para análise e identificação das manifestações patológicas, a obra foi dividida em vistas arbitrárias referentes aos pilares de sustentação da mesma, sendo 12 vistas. O primeiro pilar aponta para Sudoeste (em direção ao limitante do terreno entre o reservatório e a UFERSA), e as outras sendo enumeradas em sentido horário, como apresentado na Figura 1.

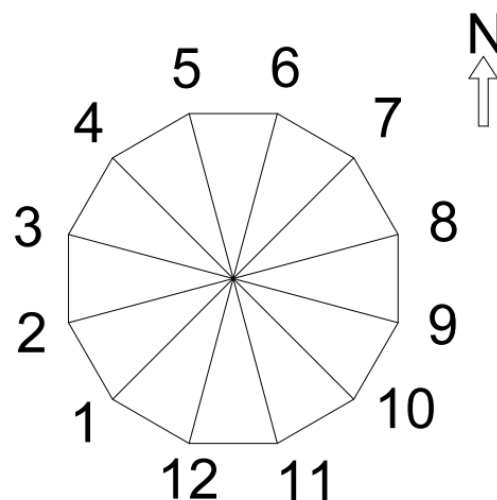


Figura 1. Numeração dos pilares. Fonte: Autoria própria (2021).

Cada vista foi dividida em inferior, com foco nos pilares, e superior, focando nas vigas que sustentam o reservatório e nas lajes entre estas, como indicado na Figura 2.

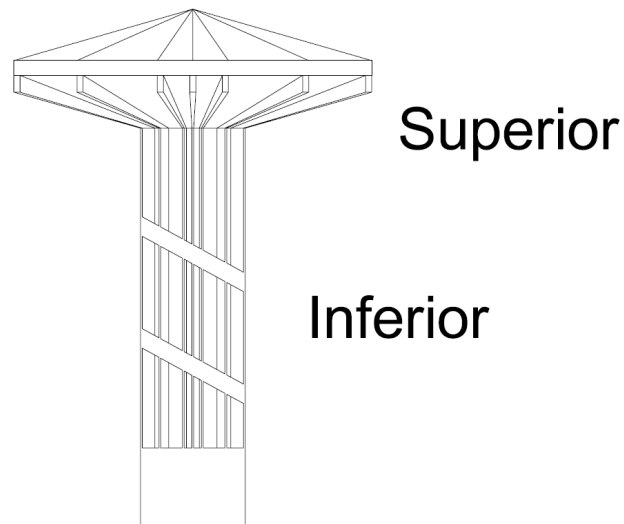


Figura 2. Parametrização das vistas. Fonte: Autoria própria (2021).

Para análise dos elementos estruturais, a inspeção visual foi feita através da captura de fotos pelo drone DJI PHANTOM 4 PRO controlado remotamente com câmera.

3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O objeto do estudo é o Reservatório da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), localizado no bairro Costa e Silva, ao lado da UFERSA, em Mossoró, Rio Grande do Norte. A construção encontra-se a céu aberto, por ser um reservatório de água de grande porte. Sofre influência do calor e radiação solar praticamente o ano inteiro.

3.3 MÉTODO DE ESTUDO ADOTADO: INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual é feita objetivando detectar sintomas de degradação e defeitos, identificando origem e potenciais de problemas e má utilização. Para realiza-la, usualmente, leva-se em consideração alguns parâmetros: verificação de informações obtidas durante o planejamento da avaliação; pinturas e proteções antigas; aparência da superfície original do concreto (ou aço); diferenças de coloração do concreto (ou aço); presença de fissuras, suas aparências e morfologias; deterioração superficial da camada inicial do concreto (ou aço); deterioração do material em si (concreto ou aço); armadura exposta; deformações da estrutura; presença de umidade ou água; presença de vazamentos ou deteriorações em equipamentos.

Atualmente utilizam bastante a inspeção visual remota e de acordo com a ANAC, o uso de RPA's ou drones, como são popularmente chamados, é permitido para atividades profissionais sob condições impostas pelo Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017, pelo DECEA e pela ANATEL.

Como um dos objetivos da presente metodologia, busca-se dispensar demais análises físicas por outros meios pela detecção de manifestações patológicas pelo uso do drone. No caso de mais análises serem necessárias, estas serão indicada como resultado da presente metodologia, que se insere no contexto de avaliação inicial e principal de estruturas de concreto armado de difícil acesso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A deterioração foi localizada em muitas partes da estrutura e as manchas de umidade são facilmente visíveis pois contrastam fortemente nos pilares, nas vigas de sustentação e nas lajes do reservatório elevado. A umidade em excesso facilita a ação de agentes orgânicos como microrganismos responsáveis pela proliferação de fungo e bolor. Por tratar-se de uma estrutura com a finalidade de armazenar água, sua impermeabilização interna deve estar sempre em boas condições. A umidade que se dá por meio da permeabilidade do concreto pode afetar negativamente a estruturas em vários aspectos. Essa umidade serve como fixador do gás carbônico (CO₂) da atmosfera no interior da estrutura, podendo acarretar no aumento da carbonatação, que quando ocorre de forma muito intensa, pode gerar fissuras internas e o deslocamento observado. Esta também pode causar a corrosão das armaduras, inviabilizando toda uma seção do concreto. A Figura 3 apresenta uma a visualização da estrutura para quem se encontra no nível térreo observando a mesma.



Figura 3. Reservatório, objeto do estudo. Fonte: Arquivo da pesquisa (2021).

Por meio da inspeção visual, detectou-se ferragens expostas nos pilares causados pelo deslocamento do concreto armado. Essa manifestação patológica foi identificada nos pilares numerados 1, 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11 e 12. Por estarem sob constante intemperismo, as armaduras expostas apresentavam sinais de oxidação e corrosão, como pode ser observado no mosaico da Figura 4.



Figura 4. Análise de deslocamento. Fonte: Arquivo da pesquisa (2021).

Deslocamentos também foram localizados nas vigas de sustentação e nas lajes da base do reservatório. Nos mesmos, pode-se observar também exposição e oxidação das armaduras. Tais manifestações patológicas foram observadas nas estruturas entre os pilares: 1 e 2; 6 e 7; 9 e 10. Superiormente, foi observado também nas vigas dos pilares 3, 6 e 7. Pode ser analisado no mosaico da Figura 5.

Há sinais de lixiviação nas lajes de sustentação nos locais onde ocorre vazamento de água do reservatório, observados no mosaico da Figura 6.



Figura 5. Análise de deslocamento. Fonte: Arquivo da pesquisa (2021).



Figura 6: Análise de lixiviação. Fonte: Arquivo da pesquisa (2018).

O vazamento em grande volume de água também evidencia a presença de rachaduras. O vazamento com grande vazão (observado durante a investigação visual) não ocorre com trincas e fissuras (que não permitem entrada de água, ar ou luz).

A partir da inspeção visual da obra, constatou-se diversas manifestações patológicas que são resultantes não só das condições do ambiente externo (exposto às forças naturais de sol e chuva), mas principalmente da falta de manutenção preventiva ou erros de projeto. O tamanho das exposições das armaduras encontradas e o grande vazamento de água do próprio reservatório observados sustentam o argumento de que a obra foi negligenciada durante muito tempo e ficou sem os cuidados de manutenção por tempo suficiente para que a patologia avançasse a um ponto crítico.

O vazamento é um problema não apenas ambiental, tendo visto que a companhia trabalha com a distribuição de um recurso valioso e escasso como a água, mas também, reflete um problema estrutural que pode ser interpretado como uma situação de pré-colapso. Conforme foi ignorado, a água não apenas acha o caminho pela rachadura, mas tem uma forte tendência a aumentar lentamente o tamanho da mesma.

Devido à exposição da estrutura aos numerosos processos de deterioração fazem-se necessários cuidados para preservar a funcionalidade da estrutura e a continuação de sua vida útil. Para tanto, adota-se uma proposta de intervenção imediata e manutenção eficiente, que inclua os procedimentos necessários ao bom estado da construção. Na edificação analisada, apenas o processo de manutenção é inadequado ou insuficiente para evitar a ocorrência de manifestações patológicas e provável ruína. Uma recuperação emergencial se faz necessária para evitar a inutilização e o colapso total da estrutura.

Apesar de outras análises serem necessárias, existem métodos indicados genericamente para as patologias cujas manifestações indicam. Primeiro, esvazia-se o reservatório, depois, com o auxílio de andaimes instalados para melhor alcance da estrutura, faz-se a remoção de todo o concreto disgregado utilizando martetele elétrico com ponteiro, por dentro e por fora. Analisa-se o nível da corrosão das barras, fazendo remoção da ferrugem e, onde for necessário por haver grande comprometimento da seção transversal, fazer a substituição por novas barras com emendas por transpasse. Aplica-se impermeabilizante anticorrosivo nas barras e realiza-se a nova concretagem utilizando forma e concreto graute. Impermeabiliza-se internamente o reservatório por meio da regularização do substrato e aplicação de novo impermeabilizante. Promove-se a pintura da estrutura e coloca-se em operação novamente.

Apenas por meio da inspeção visual, não é possível apontar com plena certeza a possibilidade de recuperação da estrutura supracitada. De acordo com Cascudo (1994), alguns dos métodos mais usuais de recuperação são: remoção eletroquímica dos cloretos, controle do processo catódico e proteção catódica.

5. CONCLUSÕES

A metodologia de análise inicial por meio do uso de drone obteve sucesso pois indicou a condição emergencial em que se encontra a estrutura, fazendo com que se possa condenar o estado atual da estrutura sem demais análises que possam colocar em risco desnecessário a integridade do profissional de engenharia. Este se apresenta como principal ponto para a aplicação desta tecnologia como principal na análise de obras de difícil acesso.

As manifestações patológicas encontradas em maior quantidade na edificação em estudo foram: deslocamento da estrutura de concreto, exposição e oxidação de armaduras, presença de bolor, eflorescência e rachaduras.

Através da inspeção visual, constatou-se a presença de ferragens expostas e rachaduras nos pilares causados pelo deslocamento do concreto armado, assim como a umidade em excesso facilitando a ação de microrganismos responsáveis pela proliferação de fungo e bolor. É interessante ressaltar que as manifestações percebidas são oriundas, principalmente, da falta de manutenção preventiva ou erros de projeto.

O presente artigo propôs adotar uma proposta de manutenção eficiente, cuja função é explanar procedimentos necessários a fim de garantir o bom estado da construção, tendo em vista que a estrutura necessita de uma recuperação emergencial para evitar a inutilização da estrutura. Constatou-se que existem nas literaturas processos que permitem a recuperação das estruturas observadas na construção. A inspeção visual não é suficiente para determinar qual o método mais adequado de recuperação, porém, a metodologia aplicada norteia procedimentos futuros de análise e correção das manifestações patológicas, provando a eficiência da adoção do Drone para inspeção de obras em altura.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradeço ao Núcleo de Pesquisa e Extensão Acesso à Terra Urbanizada pelo incentivo à pesquisa, capacitação e pelas bolsas de pesquisa e extensão aos autores do presente artigo.

7. REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. (1992), “*Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras*”, Tradução de Antônio Carmona e Paulo Helene, São Paulo: PINI, p. 104.

Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC. Disposições gerais sobre uso de Drones. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 28 jul. 2018.

Bhonge, S. S., Dalwi, Pradeep, Kulkarni, J. K., Manjrekar, S. K. (2020), “Recomendações para reabilitação e proteção contra a corrosão de uma ponte metálica de 100 anos de idade (Durgadee) sobre um rio fortemente poluído perto de Mumbai, Índia”, Revista ALCONPAT, 10 (2), pp. 259 – 273, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i2.476>

CASCUDO, Oswaldo. “*O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas*”. Goiânia: Editora UFG, 1997. 237 p.

DJI Phantom 4 Pro. Top Drone. 2018. Disponível em: <<https://www.topdrone.com.br/dji-phantom-4-pro/p>>. Acesso em: 05 jul. 2018.

FERNANDES, R. T. V., CABRAL, A. F., DANTAS, G. C. B., Tinoco, V. N. V., SILVEIRA, B. D. A., SOUSA JUNIOR, A. M. (2021), "Mapeamento de manifestações patológicas em pavimento asfáltico por meio de uso de drones", Revista ALCONPAT, 11 (1), pp. 61 – 72, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.521>

Melo, R.R.S. 2016. “Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obra por meio de imageamento com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)”. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

QUEIROZ, Robson de Oliveira. “*Patologias em fachadas construídas com revestimento de argamassa*”. 2007. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2007.

ROSCOE, M. T. “*Patologia em revestimento cerâmico de fachadas*”. 2008. Monografia (Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SOUZA, Vicente Custódio De. RIPPER, Thomaz. “*Patologia, recuperação e reforços de estruturas de concreto*”. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

Aspectos de normatização do desempenho estrutural de habitações: mapeamento sistematizado da literatura (MSL)

J. M. Ribeiro¹, A.A.P.Silva^{2*}, M.T.M.Carvalho³

*Autor de Contacto: eng.aviz@gmail.com

^{1,2,3} Departamento de engenharia civil e ambiental, Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção civil (PECC)/UnB

RESUMO

O crescimento gradual de habitações para a população traz consigo a necessidade de padronização e rapidez no processo construtivo. Neste sentido, a norma de desempenho NBR 15575/ 2013 surge com intuito balizador para a garantia de resistência estrutural às condições de exposição e desempenho satisfatório na construção civil. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo buscar artigos científicos utilizando a metodologia de mapeamento sistematizado da literatura (MSL) na temática de desempenho estrutural. Como resultado da metodologia de busca, foram encontrados 87 artigos, permitindo evidenciar uma lacuna no conhecimento no que tange ao desempenho de sistemas construtivos específicos, concluindo-se que, ainda, há necessidade de publicações avaliando o desempenho estrutural de sistemas específicos para que os critérios mínimos sejam atendidos.

Palabras clave: Desempenho estrutural; mapeamento sistematizado; NBR 15575.

ABSTRACT

The gradual growth of housing for the population brings with it the need for standardization and speed in the construction process. In this sense, the performance standard NBR 15575/2013 appears with the goal of ensuring structural resistance to exposure conditions and satisfactory performance in civil construction. In this context, this study aims to search for scientific articles using the systematic literature mapping methodology (MSL) on the theme of structural performance. As a result of the search methodology, 87 articles were found, allowing to evidence a knowledge gap regarding the performance of specific construction systems, concluding that there is still a need for publications evaluating the structural performance of specific systems so that the minimum criteria are met. attended to.

RESUMEN

El paulatino crecimiento de la vivienda para la población trae consigo la necesidad de estandarización y rapidez en el proceso constructivo. En este sentido, surge la norma de desempeño NBR 15575/2013 con el objetivo de asegurar la resistencia estructural a las condiciones de exposición y un desempeño satisfactorio en la construcción civil. En este contexto, este estudio tiene como objetivo la búsqueda de artículos científicos utilizando la metodología de mapeo sistemático de la literatura (MSL) sobre el tema del desempeño estructural. Como resultado de la metodología de búsqueda se encontraron 87 artículos, lo que permitió evidenciar un vacío de conocimiento sobre el desempeño de sistemas constructivos específicos, concluyendo que aún existe la necesidad de publicaciones que evalúen el desempeño estructural de sistemas específicos para que se cumplan los criterios mínimos atendido.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a implantação de políticas públicas visando à mitigação do déficit habitacional das cidades brasileiras tem impulsionado o setor da construção civil. O crescimento gradual de habitações para a população, no entanto, traz consigo a necessidade de padronização e rapidez no processo construtivo, ocasionando baixa qualidade nos empreendimentos e queixas constantes de seus proprietários em relação aos vícios de processos (Nakamura, 2012; Serra, 1989; Maricato, 1999). Neste sentido, a norma de desempenho (ND) NBR 15575/ 2013 surge com o intuito balizador para a garantia de desempenho satisfatório na construção civil.

Esta norma estabelece critérios mínimos, intermediários e máximos de desempenho e contém requisitos qualitativos, critérios, premissas e métodos de avaliação a serem utilizados para a avaliação de cumprimentos destes requisitos. Cabe ressaltar a natureza de pontos normativos que difere das normas prescritivas atuais, tendo em vista a não dependência dos materiais e dos métodos construtivos utilizados. Desta forma, segundo Foliente (2000), a ND brasileira pode estimular o desenvolvimento de novas tecnologias nos sistemas construtivos e otimizar os já existentes no mercado.

A ND é dividida em seis partes, contemplando os quesitos de: estruturas, pisos, vedações, coberturas e instalações hidrossanitárias. Além disso, os seus aspectos são subdivididos em agrupamentos de critérios técnicos que levam em consideração a segurança/ estabilidade estrutural, segurança contra incêndio, durabilidade, desempenho térmico e desempenho acústico.

O desempenho estrutural de estruturas se configura como parte fundamental para a segurança da edificação e está listado na ND com o objetivo de estipular requisitos que proporcionem garantia

de resistência estrutural às condições de exposição, tais como cargas de utilização, ações decorrentes do vento e peso próprio (e demais cargas permanentes), durante a vida útil de projeto mínima de 50 anos (ABNT, 2013).

Segundo Souza et al. (2017), existem, nesta normatização, diferenças entre as exigências em impactos de corpo mole para sistemas estruturais considerando-se os aspectos de desempenho, sendo que estes ocupam grande parte do documento contemplando 29 critérios, que pode constituir dificuldade no atendimento à ND. A dificuldade no entendimento desta norma, provoca deficiência na implementação de suas prescrições nos empreendimentos, trazendo ineficiência ao desempenho estrutural das edificações. Por outro lado, em uma breve pesquisa em *Scopus*, uma das principais bases de dados de pesquisa científicas utilizada pelos pesquisadores nas universidades brasileiras, o Brasil não está presente sequer entre os 24 primeiros resultados, indicando, ainda, baixo interesse pelo tema.

A NBR institui três níveis de desempenho: o mínimo, que é obrigatório para todas as edificações residenciais abrangidos por ela; o intermediário e o superior, que ficarão a critério do empreendedor e conferem uma classificação mais elevada para o empreendimento. Apesar da NBR não ter força de lei, as empresas poderão ser contestadas na Justiça com base nas referências presentes na norma. Sendo assim, é evidenciada a importância da pesquisa científica e desenvolvimento de conhecimento a fim de otimizar e adequar a norma de desempenho vigente, a fim de proporcionar melhorias no seu entendimento e, conseqüentemente, na qualidade nas habitações. Assim, é possível evitar problemas judiciais às empresas brasileiras, bem como impactar positivamente a relação dos clientes com seus imóveis. Portanto, este trabalho tem por objetivo mapear estudos científicos por meio do Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), combinando a *performance* de edifícios e parâmetros da norma de desempenho brasileira NBR 15575/ 2013, estabelecendo comparações com normas internacionais.

2. METODOLOGIA

Neste estudo, foi aplicada a metodologia de Mapeamento Sistematizado da Literatura (MSL). Esta metodologia vem sendo aplicada na literatura a fim de aumentar a perspectiva acerca de temas relevantes. Segundo Marsilo et al. (2011), esta técnica promove quantificação da estrutura intelectual de um campo de pesquisa a partir de uma análise matemática e estatística de padrões que aparecem em publicações. O intuito do mapeamento sistemático, neste contexto, é encontrar lacunas no conhecimento nas áreas de estudo e de pesquisa, para que, assim, possam ser sugeridos novos temas de relevância para a construção civil nacional.

Dessa forma, o MSL estruturado foi dividido em cinco etapas, com a finalidade de otimizar o refinamento do MSL, baseado no processo empregado por Falcão et al. (2018), conforme a Figura 1. Tendo em vista que a temática de desempenho abrange diversas outras áreas como, desempenho acústico, lumínico, térmico, dentre outros, optou-se por refinar as buscas *strings* mais específicas, relativas ao desempenho estrutural. Foram utilizadas duas bases de pesquisa para o mapeamento sistemático de literatura, sendo elas: *Web of Science* e *Scopus*, através do Portal de Periódicos CAPES/ MEC.

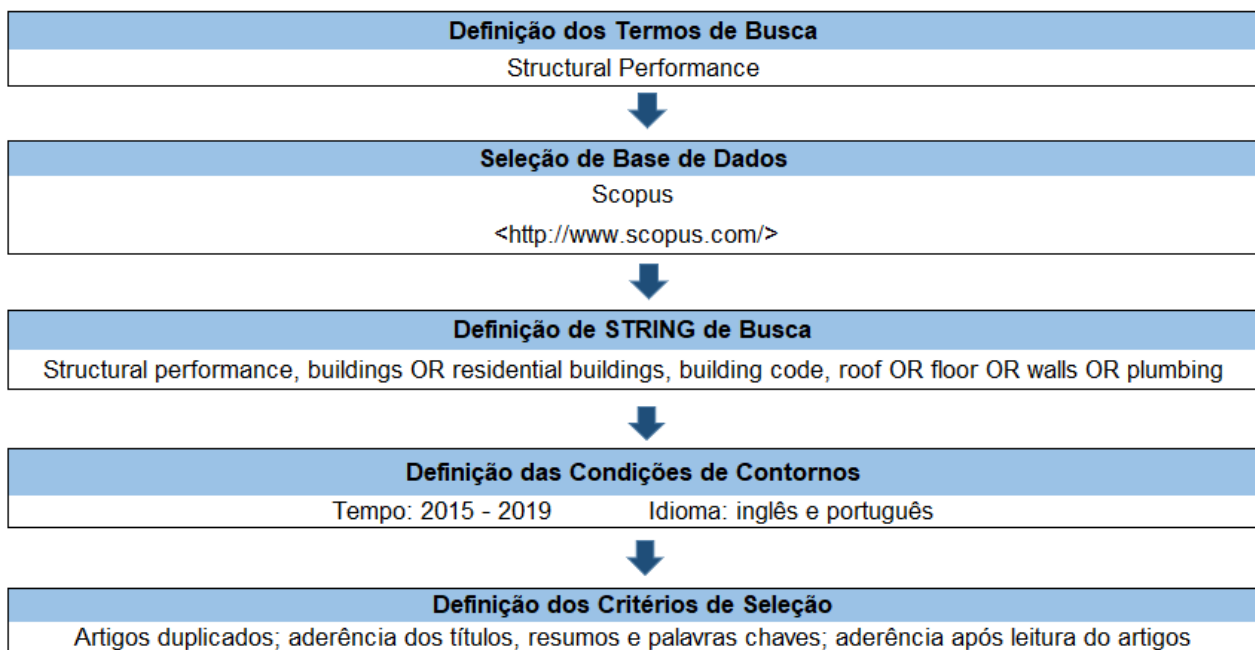


Figura 1. Fases do mapeamento sistematizado da literatura. Fonte: Adaptado de Falcão et al. (2018).

Adicionalmente, realizou-se um detalhamento dos dados extraídos da base de dados a partir das *strings* estabelecidas. Estes dados foram inseridos e analisados no software *VOSviewer 1.6.9*. Como resultado, foram obtidos mapas de rede e mapas de densidade, que explicitam as conexões entre trabalhos científicos realizados através de suas citações por outros autores, bem como a quantidade de trabalhos realizados por determinados autores, ou em determinado tópico. Estes mapas interagem entre si a partir das ocorrências de trabalhos científicos, e se subdividem em cores para permitir a diferenciação da frequência de artigos e a ocorrência de conceitos e temas similares entre si.

O programa *VOSviewer* foi aplicado neste estudo baseando-se no estudo de Pan et al. (2018), onde os autores realizaram um estudo de três ferramentas de mapeamento de padrões bibliométricos.

Desta forma, os artigos encontrados a partir das *Strings* supracitadas foram filtrados de forma a selecionar apenas aqueles que se enquadrassem na proposta deste estudo, a partir das três ferramentas:

- Ano de publicação: analisar a evolução do tema ao longo dos últimos anos;
- Continentes: analisar a distribuição de publicações ao redor do mundo, por cada país;
- Autores e citações: Avaliar a contribuição de cada autor no tema, a partir da quantidade de publicações no tema, e qual a frequência de citações destes artigos.

Os parâmetros utilizados para filtragem dos artigos, com a finalidade de excluir-se aqueles que não se encaixam nos objetivos deste trabalho, foram os propostos de acordo com Falcão et al. (2018), sendo eles: exclusão dos textos duplicados, leitura dos títulos, leitura dos resumos e palavras-chave de cada artigo, para avaliar a adequação ao tema e leitura integral dos artigos para constatar sua aderência ao objetivo e tema.

A obtenção de dados para realização desta MSL foi realizada a partir do banco de dados *scopus*. A opção por este banco de dados, foi feita baseando-se no trabalho de Chadegani et al. (2013), em que este autor realizou comparações quanto às características quantitativas e qualitativas entre as duas principais bases de dados utilizadas para pesquisa científica no Brasil: *Scopus* e *Web of Science*. Os resultados deste trabalho, inferem que *Scopus* possui uma abrangência numérica maior de revistas científica, embora estas possuam fator de impacto menor, e também possui maior quantidade de artigos recentes.

3. RESULTADOS

3.1 Tipos de fontes de pesquisa

A Tabela 1. apresenta as publicações que se enquadram na temática de desempenho estrutural, divididas por tipos de fontes de pesquisa. Após a filtragem realizada, foram identificadas quatro fontes principais de publicações. A fonte predominante é a de revistas científicas, devido a grande relevância que esse meio representa para o meio acadêmico, ocupando um percentual de 86,21% do total de trabalhos encontrados no MSL.

O resultado consideravelmente maior relativo aos artigos em revistas científicas deve-se ao fato de que o tema é de fato relativamente recente entre as discussões acadêmicas. Portanto, os debates acerca do tópico de desempenho estrutural estão em debate a algum tempo no meio científico, e ainda apresentam revelância de discussão, por haver um número relativamente grande de documentos encontrados no tempo escolhido para análise na pesquisa (2015 a 2019).

Em congressos, foram encontradas pesquisas acadêmicas apenas no meio internacional. Nacionalmente, não foram apontados artigos em congressos entre os anos de 2015 a 2019. A falta de pesquisas em congressos nacionais notada com os resultados da Tabela 1. deste trabalho, evidencia a falta de interesse no tópico de desempenho estrutural por parte da academia nacional. Este resultado reflete diretamente na qualidade das construções brasileiras, as quais atualmente, enfrentam grande cobrança por parte dos clientes de construtoras e incorporadoras, no sentido de problemas estruturais e durabilidade das construções. Pode-se inferir que apesar de antigo e amplamente debatido no meio privado, no Brasil, o tema de desempenho estrutural necessita de maior de interesse por parte dos pesquisadores e universidades, com o intuito de aliar o conhecimento teórico com o meio prático da construção.

Tabela 1. Número de publicações encontradas em cada fonte de pesquisa

Fontes	Nº Publicações	%
Revista científica	75	86,21
Congresso internacional	10	11,49
Livro	1	1,15
Genérico	1	1,15

Fonte: Autor (2021).

3.2 Ano de publicação

A partir da análise da Figura 2, é possível notar a evolução das publicações científicas no âmbito do desempenho estrutural, ao longo dos anos, após a filtragem de artigos não relevantes.

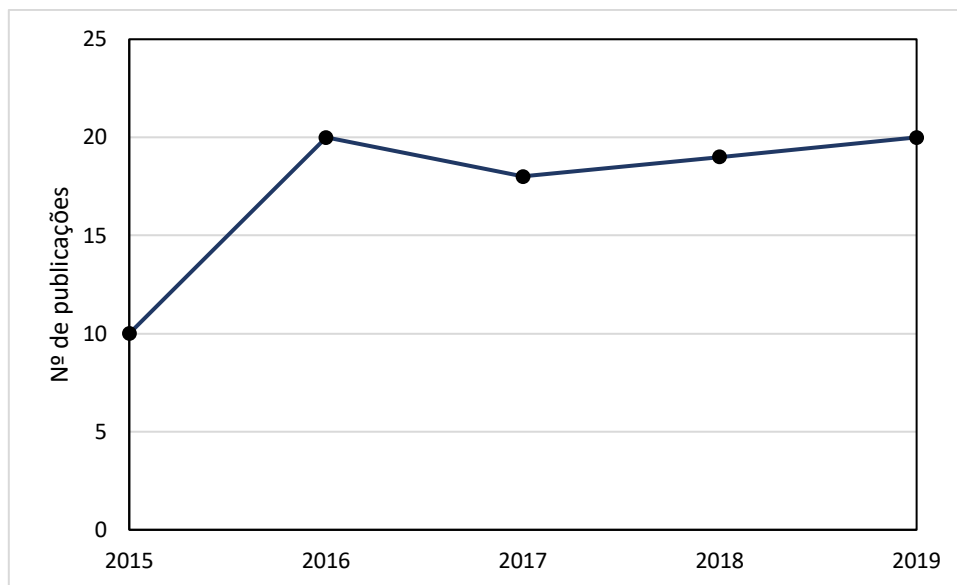


Figura 2. Evolución das publicações no tema ao longo dos anos. Fonte: Autor (2021).

Até a data desta pesquisa, ainda não havia terminado o ano de 2019, portanto, na realidade, os resultados desta etapa podem estar subquantificados. De maneira concisa, é possível inferir que houve pequeno crescimento no interesse por pesquisas na área de desempenho estrutural nos últimos anos. Este resultado considera pesquisas ao redor do mundo, e não secciona apenas a parcela de contribuições nacionais nas pesquisas. Porém, como já evidenciado no subtópico anterior, não é grande a discussão deste tópico nacionalmente nos trabalhos científicos.

3.3 Publicações por países

A partir da análise de publicações, conforme indicação da Figura 3, é possível verificar que grande parte delas são produzidas por países como: Coreia do Sul, Estados Unidos, Canadá, Turquia e China. A maioria dos países com maiores percentuais de publicações relativas ao desempenho estrutural, apresentam também grande frequência de abalos sísmicos por conta de sua posição geográfica no globo terrestre. Os países localizados na Europa e na Ásia são suscetíveis aos movimentos das placas tectônicas em que se situam, que pode levar ao colapso de estruturas construídas, mesmo quando ocorrem em escalas menos danosas.

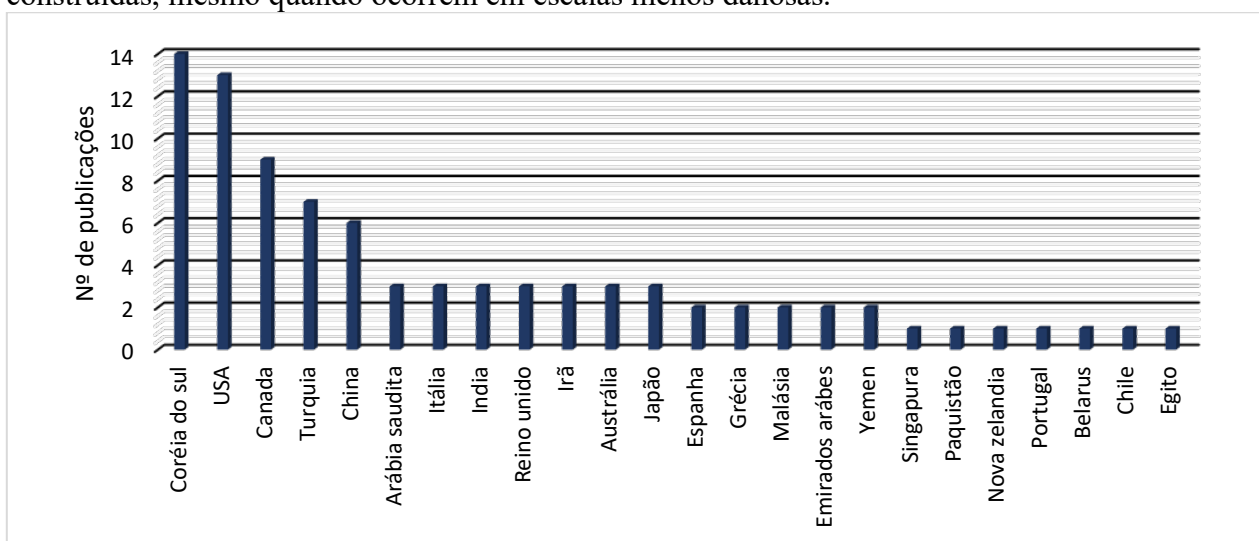


Figura 3. Publicações encontradas por país. Fonte: Autor (2021).

É fato que o avanço tecnológico geralmente surge para sanar ou solucionar problemas advindos da sociedade e da forma como o ser humano se relaciona com o meio em que se está inserido. É natural, portanto, que países que apresentem este tipo de situação, promovam em suas universidades mais pesquisas com a finalidade de aprimorar sua tecnologia e garantir a proteção e integridade de sua civilização. É natural também que países como Brasil, os quais não apresentam abalos sísmicos relevantes em intervalos de tempo curtos, não tenham grande interesse pelo avanço tecnológico neste campo do conhecimento.

3.4 Análise a partir do programa *VOSviewer*

O mapeamento sistemático de literatura aplicado à base de dados *Scopus*, resultou em um total 144 publicações. Com a filtragem descrita anteriormente, restou um total de 87 artigos relativos à temática de desempenho estrutural em edificações habitacionais. Em uma segunda etapa, foi possível confeccionar o mapa de densidade relativo a ocorrência de palavras-chaves, mostrada na Figura 4.

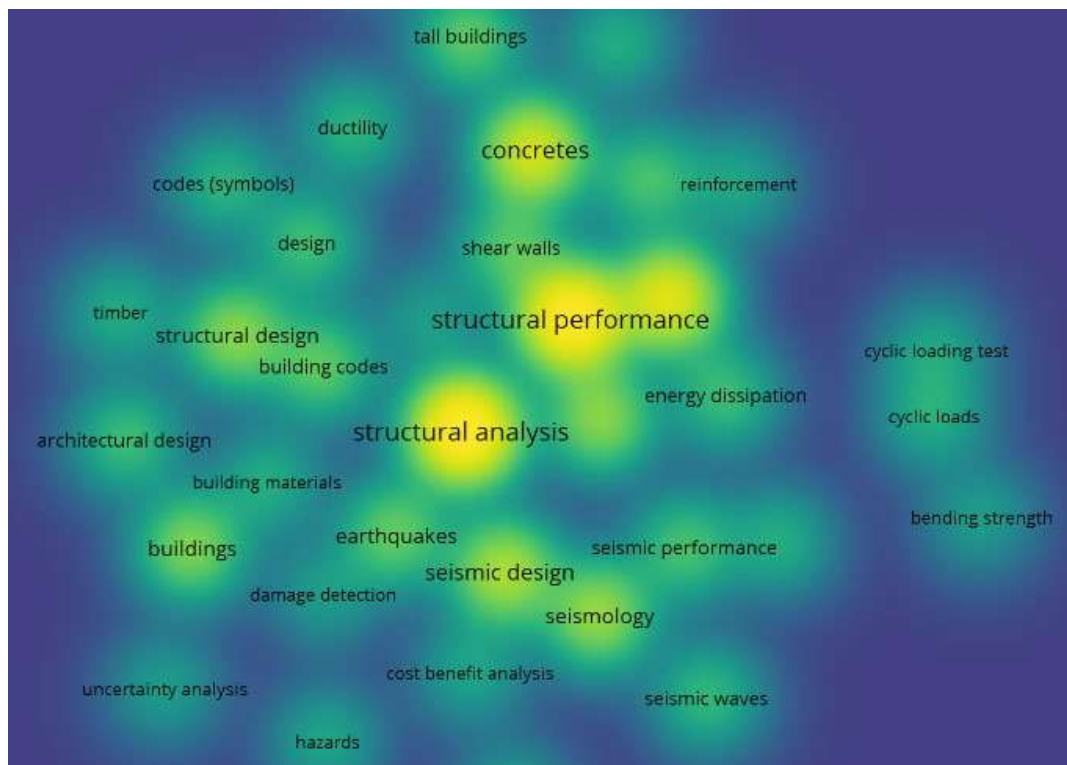


Figura 4. Mapa de densidade obtido a partir do software *VOSviewer* utilizando as palavras-chave

Conforme a Figura 4, foi possível visualizar a intensidade da força de rede das palavras-chave pela coloração mais intensa, relacionada aos termos utilizados. Foi considerada a ocorrência mínima de cinco vezes, para que as palavras-chave fossem consideradas relevantes e fossem representadas no mapa de densidade. Dessa forma, as palavras-chave que apresentaram maior ocorrência nos trabalhos científicos foram: *structural analysis*, *structural performance* e *concrete*. Este resultado permite que consideramos que existe grande foco nas análises estruturais voltadas às estruturas de concreto, e que a performance e análise estrutural é um tópico relevante para as pesquisas em desempenho estrutural.

É possível verificar que existe, apesar de menor, a ocorrência de palavras-chave como: *earthquakes*, *seismic design*, *hazards*, *seismic waves*, e *seismic performance*. Estas palavras chave evidenciam mais uma vez a necessidade de países ao redor do mundo em preparar suas estruturas para catástrofes naturais, o que resulta em um maior número de pesquisas na área do desempenho estrutural de edificações por parte deles, em detrimento de pesquisas nacionais.

Na Figura 3, é possível identificar, por meio do mapa de rede, não somente a força total de rede das palavras-chave, mas também como estes termos se correlacionam. As linhas de rede visualizadas na figura, permitem que sejam feitas análises acerca da ocorrência de termos com algum grau de similaridade, os quais são ligados por meio de seus resumos e títulos.

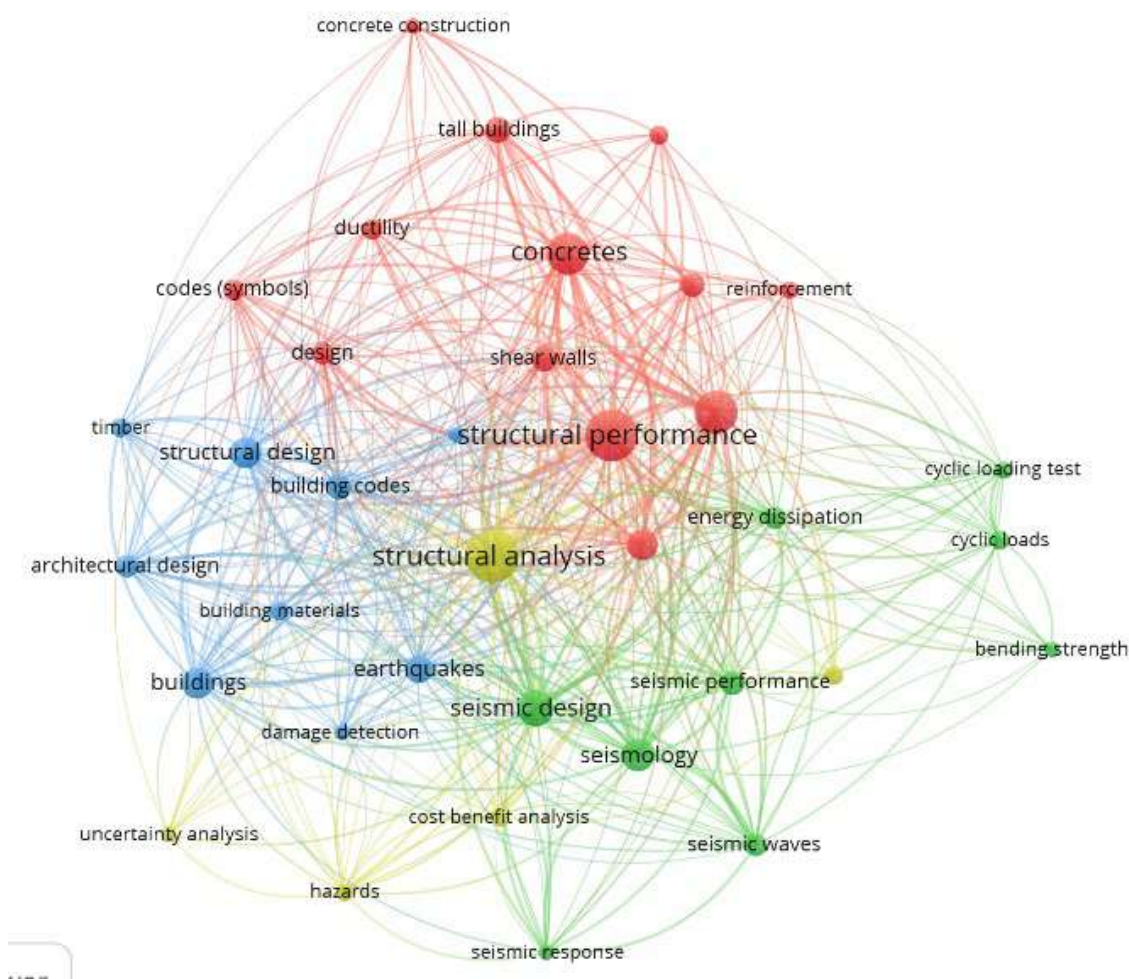


Figura 3. Mapa de rede obtido a partir do software VOSviewer

No mapa de rede, é possível perceber, através da coloração, 4 principais *clusters* de pesquisas científicas. Estes *clusters* são núcleos de pesquisas que são correlatas por seus títulos e resumos. Dentro dos 4 clusters encontrados, todos apresentam artigos relativos a abalos sísmicos, reforçando a hipótese de que a necessidade de avanço tecnológico para a proteção da integridade da população colabora para o aumento de pesquisas científicas em determinada área.

É possível também, identificar na cor azul, um *cluster* contendo o termo “*building codes*”. Este termo é relativo às normas de desempenho confeccionadas para garantir maior qualidade na construção. Levando em consideração que nesta pesquisa, poucos resultados de trabalhos científicos foram atribuídos ao Brasil, é possível que se defina aqui uma lacuna no campo do

conhecimento relativo a norma de desempenho, recentemente implementada neste país. Ao mesmo tempo, é evidenciado uma preocupação maior mundo afora, em termos de segurança estrutural e desempenho das habitações, já que este termo apresenta certa representatividade no mapa de rede obtido.

Acerca da busca realizada e posterior filtragem de palavras chave, cabe ressaltar que a maioria dos artigos localizados e aderentes à temática, tratavam o contexto do desempenho estrutural de forma abrangente, não fornecendo estudos que se adequem aos sistemas específicos de habitações abordados na ND, como: sistemas de pisos, paredes de vedação internas e externas, cobertura e aparelhos hidrossanitários.

A Figura 4 demonstra os autores que apresentaram pelo menos, três publicações elencadas ao seu nome na vertente de desempenho estrutural. Com os dados aplicados ao *software*, observou-se que 291 autores possuíam publicações nessa temática. No entanto, apenas 7 atenderam às fronteiras estabelecidas na análise, sendo, no mínimo, três publicações. Este resultado demonstra falta de continuidade nos subtemas das pesquisas. Geralmente, esta falta de continuidade evidencia falta de referências nessa área, o que pode apontar à certa descentralização do conteúdo e prejuízos para o estado da arte do tema.

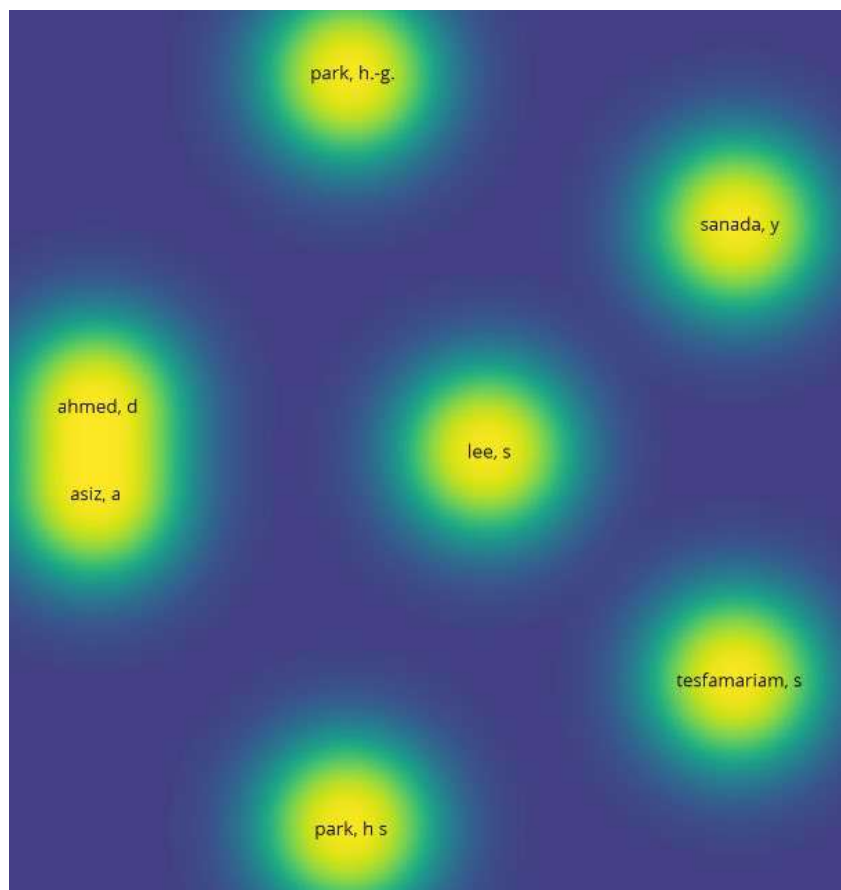


Figura 4. Mapa de densidade obtido a partir do software *VOSviewer* para análise de autores.
Fonte: Autor (2021).

3.5 Repercussão dos sistemas construtivos no MSL

A Norma de Desempenho é uma norma recente, dividida em seis partes que são abordadas em diferentes perspectivas, entre elas, o desempenho estrutural. Parte das pesquisas desenvolvidas mundialmente, não se alinham ao formato da ND brasileira, ou seja, abordavam os itens de

desempenho estruturas de forma mais genérica, sem subdivisões entre os elementos como coberturas e pisos. As pesquisas relacionadas à peças estruturais tratadas como conjunto correspondem a 61% do total de trabalhos científicos, dentre elas, pode-se destacar trabalhos de países considerados grandes centros tecnológicos, como os Estados Unidos.

É importante notar que cada país adota uma norma regulamentadora própria e isso impacta, diretamente, no conteúdo dos trabalhos que são realizados para suprir as necessidades da construção civil local. Os Estados Unidos, por exemplo, utilizam o *International Building Code* (2009), um código internacional de construção que traz consigo parâmetros de desempenho diferentes dos trabalhados na ND do Brasil. Este código não é dividido da mesma forma que a ND brasileira e, por consequência, pode ser responsável por promover estudos mais genéricos relacionados às estruturas neste país, já que adota também, exigências de desempenho para o sistema estrutural de forma holística, e não subdividida.

Em uma última etapa da MSL, buscou-se subdividir os resultados de trabalhos encontrados, de acordo com o item de enfoque do trabalho. Esta subdivisão pode ser visualizada na Figura 5. Notou-se que itens como coberturas e aparelhos hidrossanitários, representavam apenas 2% e 1%, respectivamente, to total de trabalhos científicos produzidos e, a partir destes resultados, pode-se inferir uma lacuna de estudo para estes itens.

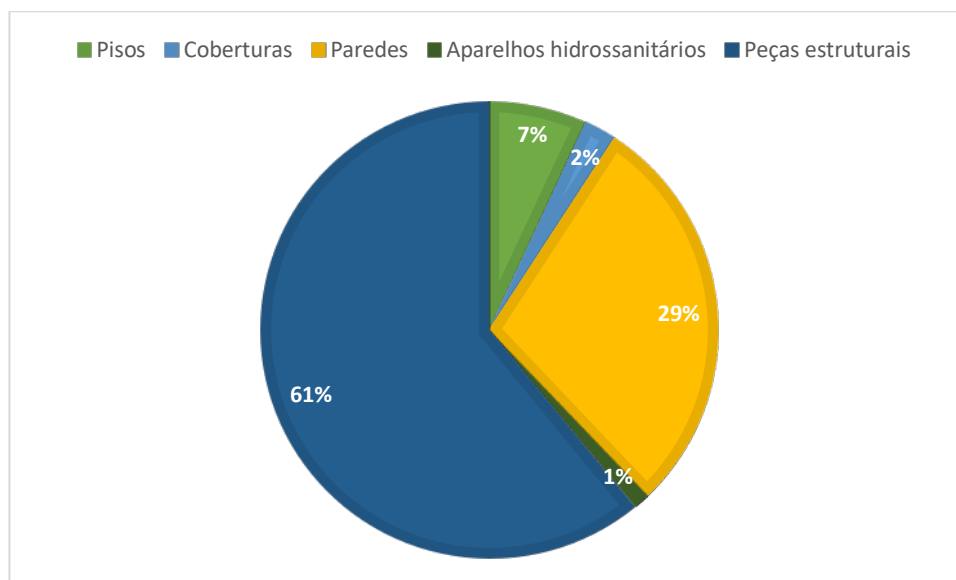


Figura 7. Publicações científicas classificadas por sistema construtivo segmentados, abordados na ND brasileira, NBR 15575/2013. Fonte: Autor (2021).

Tanto as normas internacionais quanto a ND nacional consideram os sistemas de cobertura como um item separado, quando se trata de desempenho estrutural, sendo estas, criteriosas quanto prescrição de itens de desempenho mínimo. Contudo, ainda que o item de desempenho de telhados e coberturas sejam tratados de forma singular em ambas normatizações, observa-se ainda, falta de estudos científicos direcionados especificamente para estes tópicos, tanto nacional quanto internacionalmente.

Os sistemas hidrossanitários apresentaram a menor representatividade dentre todos os itens pesquisados. De fato, quando se pensa em desempenho estrutural na construção civil, a preocupação dos profissionais geralmente se volta para peças estruturais de modo geral, como pilares, vigas, paredes, entre outros, e no que tange ao desempenho estrutural relativo à instalações hidrossanitárias, pouco se discute, na indústria e na academia. A exemplo disso, podemos observar

o capítulo acerca de sistemas hidrossanitários na ND brasileira como um dos menores e menos detalhados, o que pode ter íntima relação com o número de pesquisas realizadas na área, ao passo que elucida desinteresse em melhora no desempenho e fiscalização destes componentes.

Os trabalhos científicos relativos aos desempenho estrutural de paredes obtiveram a segunda maior representatividade nesta MSL, evidenciando o interesse internacional da comunidade científica acerca dos abalos sísmicos que atingem as estruturas na maioria dos países da pesquisa. A maior quantidade de pesquisas relativas ao desempenho estrutural de paredes, em relação à outros itens investigados, pode ser consequência dos efeitos demasiadamente danosos à experiência do cliente com seu imóvel. A falta de desempenho estrutural nas vedações de um edifício, por exemplo, ainda que em pequena escala, provocam o surgimento de trincas, fissuras, ou até rachaduras que atravessam o elemento. Estas manifestações patológicas causam depreciação financeira do imóvel, bem como promove preocupações do usuário do imóvel, que podem fazer inclusive com que o mesmo acione judicialmente construtoras e empresas no ramo da construção. É um dano extremamente comum e não está oculto, como outras manifestações patológicas.

Outro ponto que explica o número grande de pesquisas relativas à paredes e sistemas de vedação, são os próprios sismos identificados em diversos países ao redor do mundo. Estes sismos podem ocorrer em escalas muito pequenas, não chegando a afetar a estrutura do prédio em níveis consideráveis, porém, em sistemas mais frágeis como blocos de alvenaria de cerâmica ou mesmo paredes de concreto, provocam trincas e posteriores manifestações patológicas que depreciam o valor do imóvel, e poderiam ser evitadas caso estes sistemas apresentassem um desempenho maior à estas solicitações.

4. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo realizar o mapeamento sistemático da literatura (MSL) na base de dados *Scopus* e realizar análises, a partir dos dados obtidos, no software científico *VOSviewer*. A partir dos resultados obtidos, é possível concluir:

- Após a filtragem realizada, foram identificadas quatro fontes principais de publicações. A fonte predominante é a de revistas científicas, ocupando um percentual de 86,21% do total de trabalhos encontrados no MSL. O resultado consideravelmente maior relativo aos artigos em revistas científicas deve-se ao fato de que o tema é de fato relativamente recente entre as discussões acadêmicas. Em congressos, foram encontradas pesquisas acadêmicas apenas no meio internacional. Nacionalmente, não foram apontados artigos em congressos entre os anos de 2015 a 2019, evidenciando certo desinteresse tópico de desempenho estrutural nacionalmente.
- A maioria dos países com maiores percentuais de publicações relativas ao desempenho estrutural, apresentam também grande frequência de abalos sísmicos por conta de sua posição geográfica no globo terrestre. É natural, portanto, que países que apresentem este tipo de situação, promovam em suas universidades mais pesquisas com a finalidade de aprimorar sua tecnologia e garantir a proteção e integridade de sua civilização. É natural também que países como Brasil, os quais não apresentam abalos sísmicos relevantes em intervalos de tempo curtos, não tenham grande interesse pelo avanço tecnológico neste campo do conhecimento.
- É importante notar que cada país adota uma norma regulamentadora própria e isso impacta, diretamente, no conteúdo dos trabalhos que são realizados para suprir as necessidades da construção civil local. Os Estados Unidos, por exemplo, utilizam o *International Building*

Code (2009), um código internacional de construção que traz consigo parâmetros de desempenho diferentes dos trabalhados na ND do Brasil. Este código não é dividido da mesma forma que a ND brasileira e, por consequência, pode ser responsável por promover estudos mais genéricos relacionados às estruturas neste país, já que adota, também, exigências de desempenho para o sistema estrutural de forma holística, e não subdividida.

É evidenciada, desta forma, uma área ainda pouco explorada pelos estudos científicos brasileiros. Apesar de ser observado notado avanço nos últimos anos, no entendimento dos itens de desempenho estrutural no Brasil, a exemplo da criação de uma norma de desempenho nacional, ainda existem lacunas no conhecimentos e otimizações a serem realizadas, principalmente no que tange ao formato da nossa ND, o que pode propiciar melhor entendimento por parte dos profissionais da construção, bem como uma maior adequação de seus critérios para as realidades nacionais.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (2013) NBR 15.575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT.

Chadegani, A.A.C; Salehi, H.; Yunus, M.M.; Farhadi, H.; Fooladi, M.; Farhadi, M.; Ebrahim, N.A. (2013). A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases. *Asian social science*; vol. 9, No. 5.

Falcao, T.D.F. Santos, R.S. Sousa, L.C. Carvalho, M.T.M. (2018). Mapeamento sistematizado da literatura visando a aplicação sinérgica das ferramentas Lean e BIM. XVII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído,

Foliente, G.C. (2000) Developments in performance-based building codes and standards. *Revista dos produtos florestais*, n. 50, p.12-21, jul./ago.

INTERNATIONAL BUILDING CODE – IBC (2009). International code council.

Marsilio, M.; Cappellaro, G.; Cuccurullo, C. (2011). The intellectual structure of research into PPPs: A bibliometric analysis, *Public Management Review* V. 13, 763–782

Nakamura, J. (2012). Minha casa na mira. *Revista Construção Merca*, n.132, jul.

Pana, X.; Yanb, E.; Cuia, M.; Huaa, W. (2018). Examining the usage, citation, and diffusion patterns of bibliometric mapping software: A comparative study of three tools. *Journal of informetrics*, V.12, 481-493.

Serra, G. G. (1989). Post-occupancy evaluation at the urban scale in Brazil. In: PREISER, W. F. (Ed.). *Building evaluation*. Nova York: Plenum Press, p. 307-315.

Souza, J. L. P.; Kern, A. P.; Tutikian, B. F. (2018). Análise quantiquantitativa da norma de desempenho (NBR no 15.575/2013) e principais desafios da implantação do nível superior em edificação residencial de mul- tipavimentos. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 13, n. 1, p. 127-144.

Técnicas de caracterização de porosidade para o controle de misturas de concreto permeável

R. J. Mikami^{1,2*}, E. Pereira^{1,2}

*Autor de Correspondência: rjmikami@uepg.br

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

² Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

RESUMO

A porosidade em concretos permeáveis é um parâmetro imprescindível no controle de qualidade, influenciando a durabilidade e eficiência de pavimento drenantes. Este trabalho teve como objetivo comparar técnicas de caracterização da porosidade de misturas de concreto e avaliar a influência no controle das propriedades mecânicas e hidráulicas. Foram produzidas duas misturas de concreto permeável compactadas com diferentes energias para produzir porosidades distintas. Realizou-se a caracterização da porosidade, resistência e condutividade hidráulica. Com os resultados comprovou-se a relação entre a porosidade no estado fresco e endurecido. Foi possível construir modelos de previsão de condutividade hidráulica e resistência utilizando-se a porosidade como preditor. Os resultados demonstram a importância do controle da porosidade, uma vez que influencia propriedades essenciais para pavimentos drenantes.

Palavras-chave: pavimento permeável; porosidade; estado fresco; resistência; permeabilidade

ABSTRACT

Porosity in pervious concretes is an essential parameter in quality control, influencing the durability and efficiency of draining pavements. This study aimed to compare techniques for characterizing the porosity of concrete mixtures and to evaluate the influence on the control of mechanical and hydraulic properties. Two pervious concrete mixtures compacted with different energies were produced to produce different porosities. The characterization of porosity, strength and hydraulic conductivity was carried out. The results proved the relationship between porosity in the fresh and hardened state. It was possible to build models for predicting hydraulic conductivity and strength using porosity as a predictor. The results demonstrate the importance of controlling porosity, since it influences essential properties for draining floors.

Keywords: pervious pavement; porosity; fresh state; strength; permeability

RESUMEN

La porosidad en el hormigón permeable es un parámetro esencial en el control de calidad, que influye en la durabilidad y eficiencia de los pavimentos drenantes. Este trabajo tuvo como objetivo comparar técnicas para caracterizar la porosidad de mezclas de hormigón y evaluar la influencia en el control de propiedades mecánicas e hidráulicas. Se produjeron dos mezclas de hormigón permeable compactado con diferentes energías para producir diferentes porosidades. Se realizó la caracterización de porosidad, resistencia y conductividad hidráulica. Los resultados demostraron la relación entre la porosidad en estado fresco y endurecido. Fue posible construir modelos para predecir la conductividad hidráulica y la resistencia utilizando la porosidad como predictor. Los resultados demuestran la importancia de controlar la porosidad, ya que influye en propiedades esenciales para el drenaje de suelos.

Palabras clave: pavimento permeable; porosidad; estado fresco; resistencia; permeabilidad

1. INTRODUÇÃO

O concreto permeável é um material que tem se destacado como uma das alternativas para a mitigação de inundações urbanas (Xie et al., 2018). Com uma capacidade de infiltração elevada, o material pode ser utilizado em pavimentos permeáveis com o intuito de reduzir o escoamento superficial das águas pluviais. Essas estruturas têm se tornado atrativas por sua natureza multifuncional, funcionando como pavimentos para o tráfego de veículos e, simultaneamente, como componentes do sistema de drenagem urbana (Chandrappa e Biligiri, 2016). No entanto, o desempenho e durabilidade dos pavimentos permeáveis depende diretamente das suas propriedades mecânicas e hidráulicas.

Para garantir a qualidade de um pavimento drenante, o concreto permeável deve ser dosado para atingir uma resistência mecânica suficiente para resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos. Ao mesmo tempo, o material ainda deve manter um coeficiente de permeabilidade suficiente para garantir a rápida infiltração da água no pavimento. Porém, estas propriedades são inversamente proporcionais, sendo essa a principal dificuldade no processo de dosagem do material (Bonicelli et al., 2013; Gaedicke et al., 2015).

A porosidade é um dos parâmetros chave na dosagem misturas de concreto permeável, afetando a maioria das suas propriedades. Os concretos permeáveis usualmente são projetados com porosidades variando entre 15 e 30% (Zhong e Wille, 2015; Ibrahim et al., 2014). Dentro dessa faixa ampla, o volume de poros deve ser ajustado conforme a resistência mecânica e condutividade hidráulica desejadas. Dessa forma, o controle da porosidade é uma etapa fundamental para

assegurar a qualidade do concreto permeável e garantir a sua funcionalidade dentro de um pavimento.

Além disso, é necessário avaliar como as características das misturas de concreto permeável irão impactar a durabilidade dos pavimentos drenantes. Quando expostos às intempéries, os pavimentos permeáveis são suscetíveis ao efeito de colmatação dos poros, causado pelo acúmulo de sedimentos. A colmatação reduz significativamente a permeabilidade do material, prejudicando a sua durabilidade (Rao et al., 2020). O tamponamento dos vazios do concreto permeável depende não apenas da porosidade global do material, mas também de características como dimensão, forma e conectividade dos poros (Kia et al., 2017).

Portanto, ainda que seja uma propriedade importante, não há uma padronização na caracterização da porosidade dos concretos permeáveis. Embora muitas vezes não seja realizada nenhuma distinção, a porosidade do concreto permeável pode ser subdividida em três grupos, conforme a Figura 1.

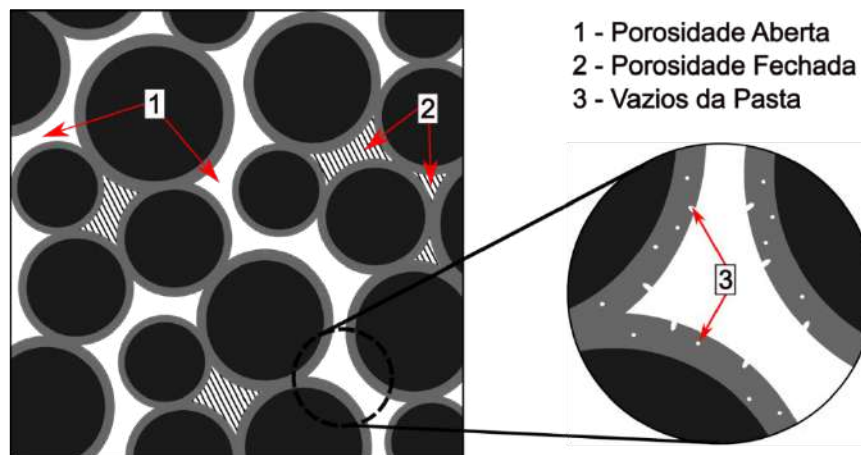


Figura 1. Classificação dos poros presentes no concreto permeável

Conforme ilustrado na Figura 1, a porosidade aberta consiste nos poros interligados capazes de conduzir a água pelo interior do material (Joshaghani, 2015). A porosidade fechada, por outro lado, é formada por poros isolados e que não contribuem para a condutividade hidráulica do concreto (Torres e Hu, 2016). A soma dessas duas porosidades é denominada de porosidade intergranular do concreto permeável. A matriz cimentícia do concreto permeável também apresenta uma porosidade, denominada neste estudo de vazios da pasta de cimento (Mehta e Monteiro, 2008). A soma das três parcelas de poros usualmente é denominada de porosidade total.

A determinação da porosidade pode ser realizada no estado fresco, conforme a ASTM C1688M (ASTM, 2014), e no estado endurecido, conforme a ASTM C1754M (ASTM, 2012). Além dessas duas metodologias, a porosidade aberta do concreto permeável também pode ser caracterizada por um método proposto por Deo e Neitalath (2010). O resultado obtido por cada uma dessas metodologias será diferente, o que pode ser atribuído aos tipos de poros considerados em cada técnica de caracterização. Para compreender como as propriedades do concreto permeável são afetadas pela porosidade, é fundamental distinguir os diferentes tipos de vazios e conhecer as técnicas de caracterização adequadas. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise comparativa entre as metodologias de caracterização da porosidade e estabelecer uma relação entre estas e as propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais e Dosagem da Mistura de Concreto Permeável

Na produção das misturas de concreto permeável foi utilizado o cimento Portland CP II F-32 e brita 0. O agregado graúdo apresentou uma distribuição granulométrica conforme a classe ASTM nº 89, com massa específica de 3,05 g/cm³ e massa unitária no estado compactado de 1,67 g/cm³. Foram desenvolvidos dois traços de concreto permeável, com o objetivo de estabelecer porosidades de 20 e 30% para um nível de compactação inicial. Para alcançar essas porosidades foram utilizadas relações agregado/cimento (g/c) de 3,10 e 4,68, respectivamente. Todos os concretos foram elaborados com relação água/cimento (a/c) de 0,28.

Cada mistura de concreto permeável foi compactada utilizando diferentes métodos de compactação para avaliar o impacto na porosidade. A compactação foi realizada utilizando-se um soquete Proctor com massa de 2,5 kg e altura de queda de 305 mm. O esforço de compactação foi variado ajustando-se o número de camadas de adensamento e o número de golpes aplicado por camada, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Métodos de compactação empregados na produção das misturas de concreto permeável

Método de Compactação	Nº Camadas	Nº Golpes
A	2	10
B	3	6
C	2	15
D	3	10
E	2	20
F	3	14

Foi produzido um total de 12 misturas de concreto (2 relações g/c e 6 métodos de compactação), sendo moldadas 8 amostras cilíndricas com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, totalizando 96 corpos de prova. Das 8 repetições, 4 foram destinadas ao teste de resistência à compressão axial e as demais utilizadas na determinação da porosidade e coeficiente de permeabilidade.

2.2 Técnicas de Caracterização da Porosidade

Neste estudo a porosidade do concreto permeável foi determinada por quatro metodologias distintas. A porosidade no estado fresco foi determinada seguindo o método descrito na ASTM C1688M (ASTM, 2014). No estado endurecido a propriedade foi determinada pelo procedimento descrito na ASTM C1754M (ASTM, 2012), baseado na pesagem hidrostática das amostras de concreto. A porosidade aberta também foi determinada por uma metodologia adaptada do estudo de Deo e Neithalath (2010). Neste método as amostras foram mantidas em estufa a uma temperatura de 100° C até constância de massa (m_{est}). Na sequência, foi realizada a vedação das laterais e base da amostra de concreto permeável com o auxílio de uma membrana plástica. Para determinar a porosidade, água é adicionada ao concreto permeável até que a amostra seja completamente saturada (m_{sat}). O volume de água adicionado à amostra corresponde ao volume de poros abertos no concreto permeável, conforme determinado na equação 1.

$$Pa = \frac{m_{sat} - m_{est}}{V} \quad (1)$$

Sendo Pa a porosidade aberta (%), m_{sat} a massa da amostra preenchida com água (g), m_{est} a massa da amostra seca em estufa (g) e V o volume da amostra (cm³).

Neste estudo foi proposta uma metodologia para caracterizar a porosidade intergranular. Para isto, foi realizado um ensaio para determinar a massa específica aparente do concreto permeável. Esse teste consistiu em fragmentar uma amostra de concreto permeável em grãos (compostos por agregado e pasta de cimento) e submetê-los à pesagem hidrostática, pelo mesmo procedimento utilizado na determinação da massa específica de agregados graúdos, conforme a NBR NM 53 (ABNT, 2009). Na sequência, a porosidade intergranular (P_i) pode ser estimada por meio de uma relação entre a densidade aparente do fragmento de concreto (d_{ap}) e da massa específica do concreto (M_{esp}), conforme a equação 2.

$$P_i = \frac{d_{ap} - M_{esp}}{d_{ap}} \quad (2)$$

Em que P_i é a porosidade intergranular no estado endurecido (%), d_{ap} é a massa específica aparente do fragmento de concreto (g/cm^3) e M_{esp} é a massa específica do concreto permeável (g/cm^3).

2.3 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica do concreto permeável foi determinada utilizando-se um permeâmetro de carga variável, conforme recomendado pela ACI 522R-10 (ACI, 2010). Para o desenvolvimento deste estudo foi elaborado um permeâmetro com capacidade de carga hidráulica de 50 cm, ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Permeâmetro de carga variável para determinação da condutividade hidráulica

A determinação da condutividade hidráulica foi realizada inserindo a amostra de concreto permeável envolpada no permeâmetro e preenchendo a coluna de carga do equipamento com água até um nível inicial (h_i). Em seguida foi medido o tempo necessário (t) para a água se deslocar até o nível final (h_f). Neste estudo utilizou-se uma carga inicial de 50 cm e carga final de 10 cm, ambos medidos em relação ao nível do extravasador. A condutividade hidráulica pode ser determinada pela equação 3, desenvolvida a partir da Lei de Darcy.

$$k = \frac{aL}{At} \ln \left(\frac{h_i}{h_f} \right) \quad (3)$$

Em que k é a condutividade hidráulica (cm/s), a é a área da seção transversal da amostra (cm^2), A é a área da seção transversal da coluna de carga (cm^2), L é a altura da amostra (cm), t é o tempo necessário (s) para o nível d'água se deslocar do nível inicial h_i (cm) para o nível final h_f (cm).

3. RESULTADOS

As 12 (doze) misturas de concreto permeável utilizadas neste estudo apresentaram porosidades no estado fresco variando de 15 a 30%, permitindo uma análise dentro da faixa usual reportada na literatura (Zhong e Wille, 2015; Ibrahim et al., 2014). As porosidades no estado fresco e endurecido foram determinadas e a relação entre estas descritas a seguir.

3.1 Porosidade no Estado Fresco

Os resultados de porosidade no estado fresco determinados para as misturas de concreto $g/c = 3,10$ e $g/c = 4,68$ submetidos aos diferentes processos de compactação estão ilustrados na Figura 3. Na figura, as colunas de um mesmo grupo seguidas de mesma letra não diferem significativamente no Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

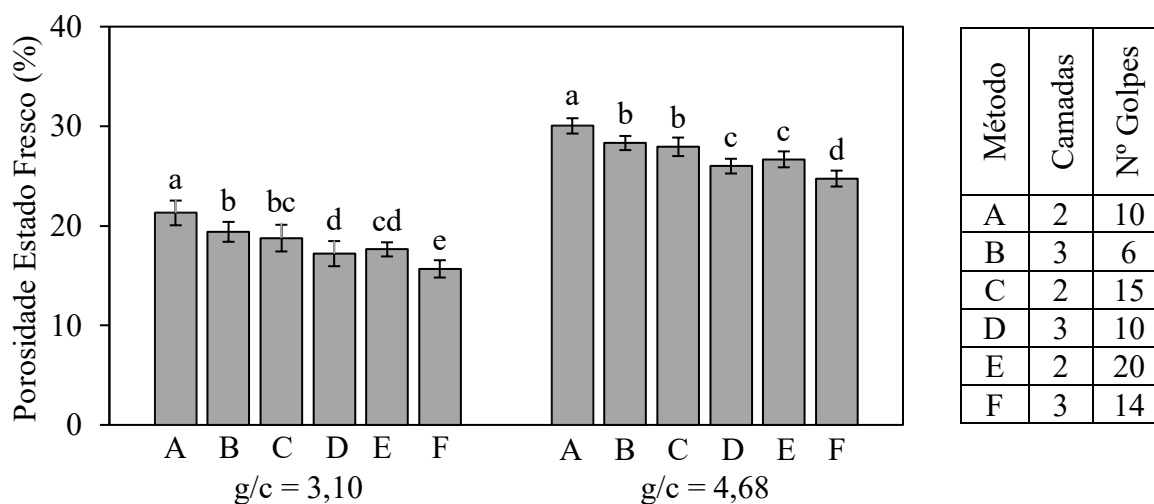


Figura 3. Porosidade no estado fresco das misturas $g/c = 3,10$ e $g/c = 4,68$.

Na Figura 3 é possível constatar que cada uma das misturas foi influenciada significativamente pelo esforço de compactação (número de golpes) aplicado. Os resultados demonstram que embora a proporção agregado/cimento tenha se mantido constante em cada grupo, a porosidade obtida em cada concreto permeável variou com o aumento da compactação. No grupo $g/c = 3,10$ a variação da compactação promoveu uma redução de porosidade de até 5,6%, enquanto no grupo $g/c = 4,68$ essa variação foi de até 5,3%. Por outro lado, a variação da relação g/c para uma mesma compactação promoveu uma variação média de 9,0% na porosidade. Isso pode ser explicado pela diferença no volume de pasta de cimento entre as misturas. Os concretos permeáveis do grupo $g/c = 3,10$ apresentaram um maior volume de pasta de cimento quando comparados ao grupo $g/c = 4,68$. Esse volume adicional de pasta passa a ocupar os vazios do agregado graúdo, reduzindo a porosidade do concreto (Torres et al., 2015). Os resultados expostos na Figura 3 demonstram que no processo de dosagem de concretos permeáveis a definição do traço do concreto (relação g/c) não é suficiente para controlar a porosidade e as demais propriedades do material. O controle do processo de compactação também é fundamental na produção de pavimentos permeáveis, uma vez que afeta diretamente a porosidade (Suleiman et al., 2006; Bonicelli et al., 2013).

O concreto permeável do grupo $g/c = 3,10$ compactado pelo método F apresentou uma porosidade de 15,67%, que é uma região próxima ao limite inferior sugerido na literatura. Uma compactação mais energética causaria uma redução excessiva da porosidade, comprometendo o desempenho hidráulico do material. Como consequência o pavimento não apresentaria uma capacidade de

infiltração de águas pluviais suficiente, principalmente a longo prazo pela ocorrência da colmatação dos poros.

3.2 Porosidade no Estado Endurecido e Porosidade Aberta

Os resultados de porosidade no estado endurecido e de porosidade aberta estão representados nas Figuras 4 e 5, respectivamente. Nas figuras as colunas de um mesmo grupo seguidas de mesma letra não diferem significativamente no Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

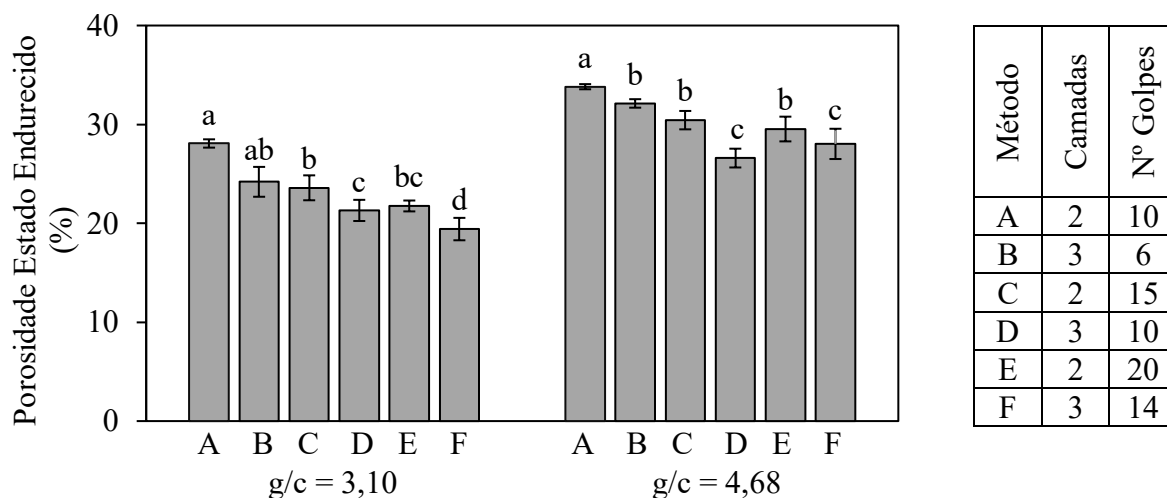


Figura 4. Porosidade no estado endurecido das misturas g/c = 3,10 e g/c = 4,68

É possível notar na Figura 4 que a porosidade total, determinada pela metodologia ASTM C1754M (ASTM, 2012), foi superior à porosidade no estado fresco. No entanto observa-se que o efeito do método de compactação foi coerente com o observado no estado fresco. Analisando a Figura 5 é possível notar que a porosidade aberta foi inferior à porosidade no estado endurecido.

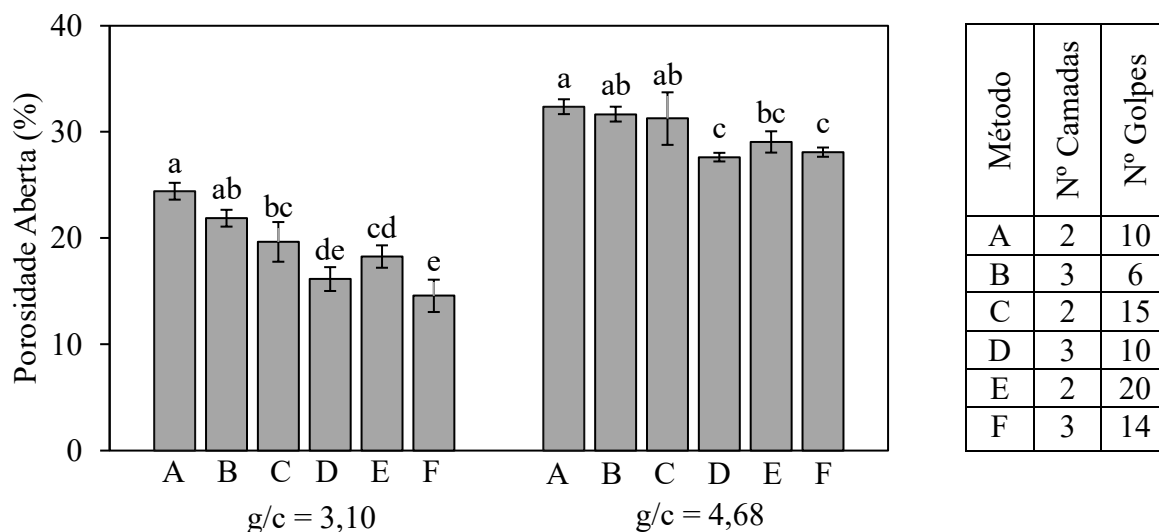


Figura 5. Porosidade aberta das misturas g/c = 3,10 e g/c = 4,68

Essa variação pode ser atribuída à presença de poros fechados, os quais não são acessíveis à água. Nos concretos do grupo g/c = 3,10 essa diferença foi em média 3,9%, enquanto nas misturas g/c = 4,68 a diferença foi inferior a 1,0%. Isso demonstra que os concretos com g/c = 3,10 apresentaram uma maior quantidade de poros fechados em relação ao segundo grupo. Isso se deve

ao maior volume de pasta de cimento na mistura, que além de reduzir a porosidade total pode reduzir a conectividade dos poros, formando vazios isolados (Montes et al., 2005; Torres et al., 2015). Nos métodos de compactação mais energéticos (D, E e F) o volume de poros fechados foi superior. Isso demonstra que a compactação afeta não apenas a porosidade global do concreto permeável, mas também a conectividade dos poros. Embora isso possa limitar a permeabilidade, uma energia de compactação mínima é necessária para conferir aos concretos resistência nos pontos de contato entre agregados e evitar manifestações patológicas como a desagregação dos pavimentos (Adil et al., 2020).

3.3 Relação entre as Porosidades no Estado Fresco e no Estado Endurecido

Comparando-se as porosidades obtidas por meio de cada metodologia, é possível notar que a porosidade no estado endurecido foi superior à porosidade no estado fresco em todos os concretos. Isto pode ser observado na Figura 6a, que representa a relação entre ambas as porosidades de cada amostra analisada.

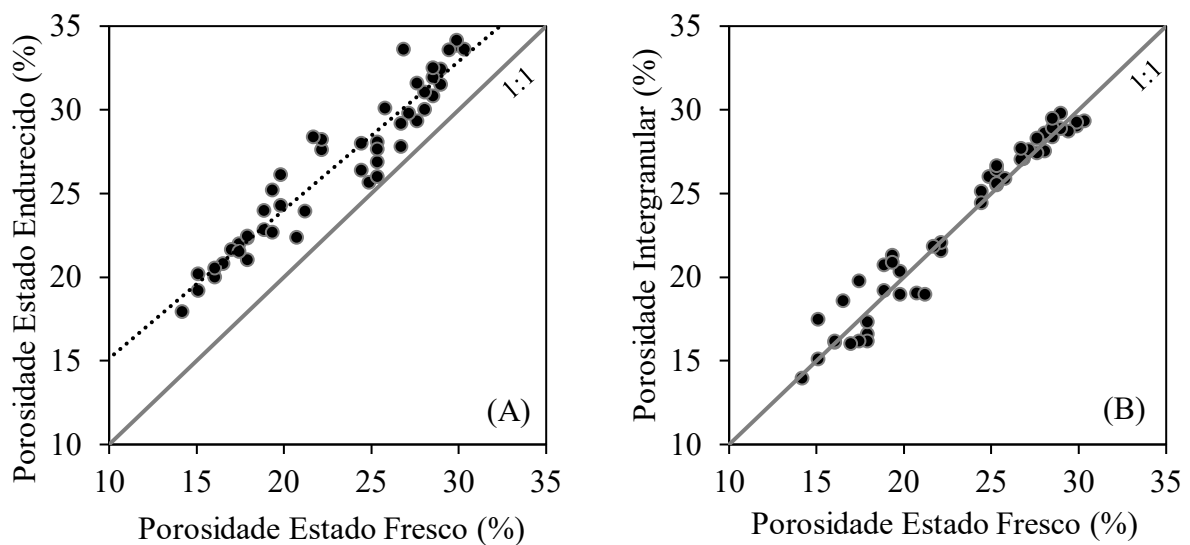


Figura 6. (a) Relação entre a porosidade no estado fresco e no estado endurecido e (b) relação entre a porosidade no estado fresco e intergranular

Na figura é possível verificar que a linha de tendência se encontra deslocada da reta de igualdade entre as porosidades. A variação entre a porosidade no estado fresco e estado endurecido foi mais acentuada nos concretos com porosidade inferior a 20%, decrescendo nas amostras mais porosas. Essa diferença se deve ao fato de que cada metodologia de caracterização considera diferentes tipos de poros no cálculo da porosidade. No estado fresco a metodologia descrita na ASTM C1688M (ASTM, 2014) utiliza a densidade teórica do concreto para realizar a estimativa de porosidade. Neste momento, a pasta de cimento é considerada como sendo isenta de poros. Desta forma, essa técnica de caracterização resulta na porosidade intergranular do concreto permeável. Por outro lado, no estado endurecido a ASTM C1754M (ASTM, 2012) estabelece que a porosidade seja determinada pelo procedimento de pesagem hidrostática após um período de imersão em água de 30 minutos. Nesta condição, não apenas os poros intergranulares serão saturados, mas também os vazios da pasta de cimento. Portanto, a utilização dessa metodologia permite o cálculo da porosidade total do concreto permeável. Pode-se concluir que a diferença entre a porosidade no estado endurecido e no estado fresco é equivalente ao volume de vazios da pasta de cimento.

Por meio do levantamento da densidade aparente do fragmento de concreto permeável, foi possível calcular a porosidade intergranular do concreto permeável, conforme a equação 2. Os resultados obtidos foram comparados com a porosidade no estado fresco, conforme apresentado na Figura 6b. Observando a Figura 6b é possível verificar uma correspondência entre a porosidade no estado fresco e a porosidade intergranular calculada, uma vez que os dados se aproximam da reta de igualdade. Desta forma, é possível considerar a porosidade no estado fresco como uma forma de avaliar os poros intergranulares do concreto permeável. Por outro lado, a porosidade no estado endurecido também considera os poros da matriz cimentícia, sendo uma forma de caracterizar a porosidade total.

3.4 Relação entre Porosidade e Condutividade Hidráulica

Conforme discutido, cada metodologia de caracterização do concreto permeável pode resultar em um tipo de porosidade distinta. Embora em muitos estudos não seja feita nenhuma distinção, é fundamental conhecer cada tipo de porosidade e o seu impacto nas demais propriedades do material. Uma das propriedades do concreto permeável afetada diretamente pela porosidade é a condutividade hidráulica (k). Com o intuito de avaliar o tipo de porosidade que apresenta maior impacto nessa propriedade, foram realizados ajustes de regressão não-linear baseados no modelo de Kozeny-Carman (Chandrupa e Biligiri, 2016; Debnath e Sarkar, 2019), conforme a equação (4).

$$k = A \cdot \frac{P^3}{(100-P)^2} \quad (4)$$

Na equação 4, a condutividade hidráulica (k) é estimada por meio da porosidade do material (P) e de um coeficiente A que depende das características da rede de poros, como tortuosidade, conectividade e dimensão (Neithalath et al., 2010; Zhong et al., 2016). O modelo de Kozeny-Carman foi ajustado utilizando-se a porosidade intergranular, porosidade aberta e porosidade total como estimadores da condutividade hidráulica, conforme apresentado nas figuras Figura 7 e 8.

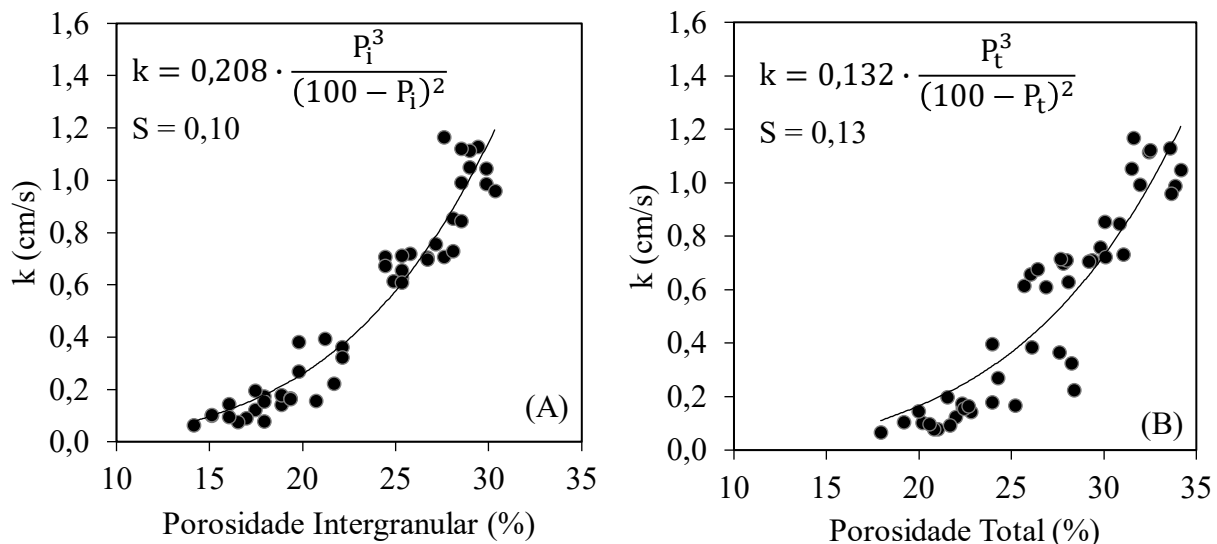


Figura 7. Modelo de Kozeny-Carman para previsão de permeabilidade utilizando (a) a porosidade intergranular como estimador e (b) a porosidade total como estimador

Na Figura 7a verifica-se que utilizando a porosidade intergranular como preditor houve um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo proposto, constatando-se um erro padrão de 0,10 cm/s.

Por outro lado, quando a porosidade total foi utilizada no modelo de regressão (Figura 7b) houve uma maior dispersão dos resultados experimentais, evidenciado pelo aumento no erro padrão para 0,13 cm/s. O maior erro neste modelo pode ser justificado pelo fato de que os poros da matriz cimentícia (considerados na porosidade total) não contribuírem diretamente para a condução de água no interior do concreto.

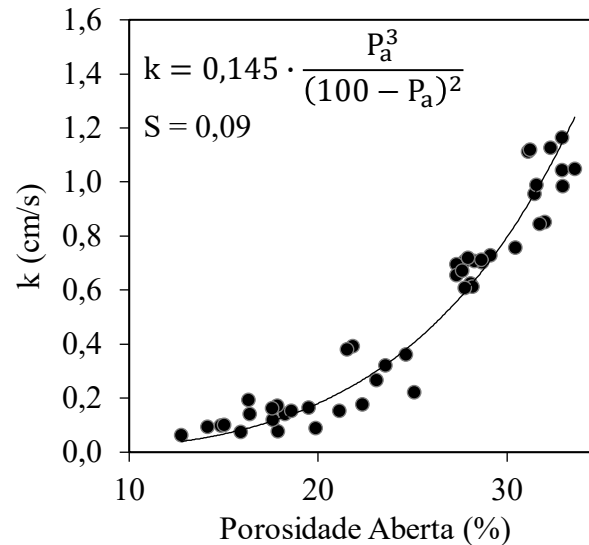


Figura 8. Modelo de Kozeny-Carman para previsão de permeabilidade utilizando a porosidade aberta como estimador

Na Figura 8 observa-se que a porosidade aberta foi o melhor parâmetro para descrever o comportamento da condutividade hidráulica do concreto permeável, com um erro padrão de 0,09 cm/s. O melhor desempenho da porosidade aberta como parâmetro de estimação da permeabilidade pode ser atribuído ao fato de que apenas os poros conectados, e que participam efetivamente na condução de água, são considerados. Na Figura 9 estão ilustrados os dados experimentais deste estudo comparados aos resultados descritos na literatura.

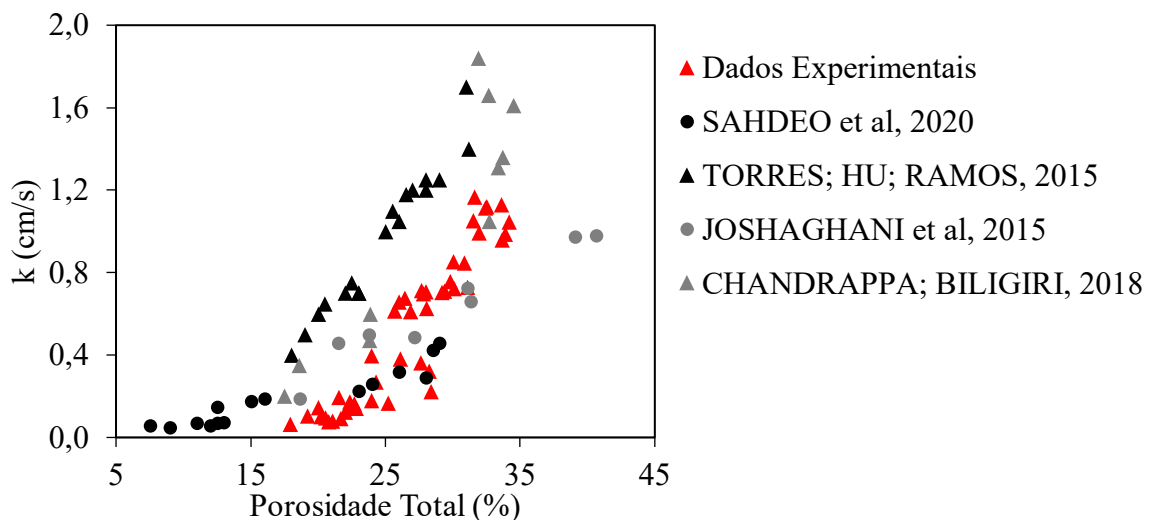


Figura 9. Comparação dos resultados de porosidade e condutividade hidráulica com dados experimentais da literatura

Conforme a Figura 9, os resultados de condutividade hidráulica foram coerentes com os valores usuais relatados na literatura. Observa-se uma tendência similar em todos os estudos, com crescimento exponencial da condutividade hidráulica com o aumento da porosidade. A maioria dos dados se concentrou entre 15 e 35% de porosidade, em concordância com a faixa usual exposta na literatura (Zhong e Wille, 2015).

A condutividade hidráulica é uma das principais propriedades no desenvolvimento de pavimentos drenantes, uma vez que estes devem apresentar uma capacidade de infiltração de água compatível com a precipitação de projeto. Modelos hidráulicos permitem a definição de uma porosidade que resulte em uma condutividade hidráulica suficiente para um desempenho adequado dos pavimentos porosos. Além disso, é possível estabelecer coeficientes de permeabilidade com uma margem de segurança, prevendo-se a ocorrência da colmatação dos poros. Isto permite a prolongação da vida útil do pavimento, garantindo a sua eficiência sem a necessidade de manutenções constantes.

Dessa forma, a estimação da condutividade hidráulica é de grande importância na dosagem de misturas de concreto permeável, sendo o controle da porosidade uma forma de garantir a qualidade e o desempenho do pavimento drenante. Embora o comportamento hidráulico do concreto dependa de outros fatores referentes as características dos poros, a porosidade aberta é um parâmetro com potencial aplicação prática na dosagem de misturas de concreto permeável.

3.5 Relação entre Porosidade e Resistência à Compressão

A resistência mecânica do concreto permeável também é afetada pela sua porosidade, porém de forma inversamente proporcional. Assim, ainda que o aumento da porosidade seja benéfico para aprimorar a capacidade hidráulica do material, a resistência mecânica pode ser insuficiente para a aplicação em pavimentos. Dessa forma, com o objetivo de analisar a influência dos tipos de poros no desempenho mecânico do concreto, foram elaborados modelos de regressão exponenciais. As porosidades intergranular, aberta e total foram utilizadas como preditores de resistência à compressão, conforme ilustrado nas Figuras 10 e 11.

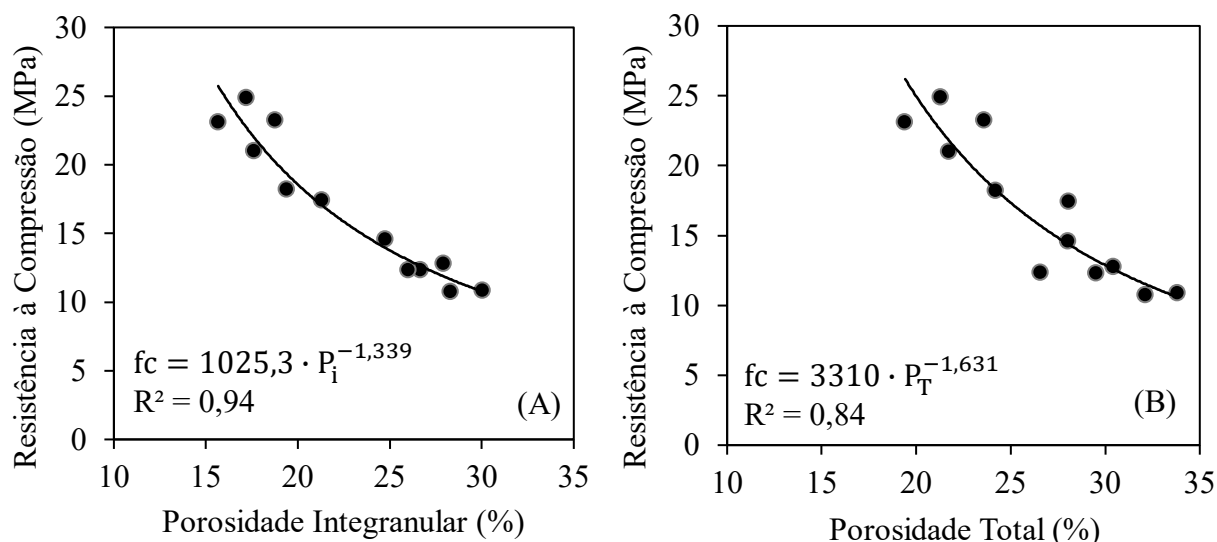


Figura 10. Modelos de regressão de resistência à compressão utilizando (a) a porosidade intergranular como estimador e (b) a porosidade total como estimador

Na Figura 10a é possível constatar uma forte correlação ($R^2 = 0,94$) entre a porosidade intergranular e a resistência à compressão. Embora a porosidade total considere os poros da pasta de cimento, que influenciam a resistência mecânica da matriz cimentícia, o modelo utilizando esse parâmetro como preditor não apresentou melhor coeficiente de determinação ($R^2 = 0,84$). Neste caso, como todos os concretos foram confeccionados com mesma relação água/cimento, é esperado que a matriz cimentícia apresente comportamento mecânico similar. Desta forma, a resistência mecânica do concreto permeável foi influenciada principalmente pela porosidade intergranular.

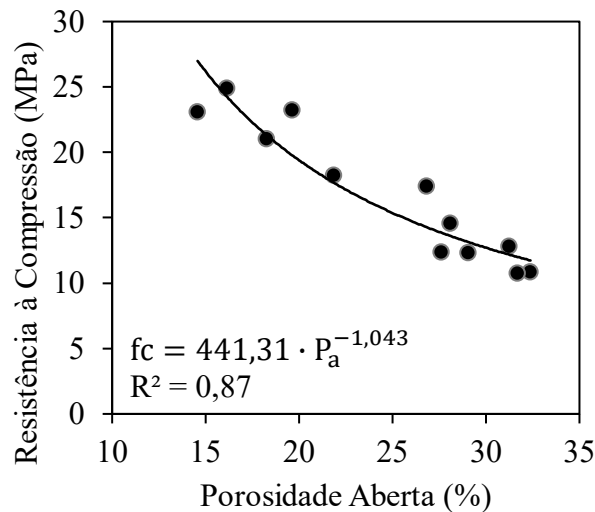


Figura 11. Modelos de regressão de resistência à compressão em função da porosidade aberta

O modelo utilizando a porosidade aberta como preditor da resistência mecânica (Figura 11) também apresentou desempenho inferior ($R^2 = 0,87$) quando comparado à porosidade intergranular. Isso pode ser justificado pelo modelo não considerar os poros fechados, prejudicando assim a sua capacidade em explicar a variação da resistência à compressão do concreto permeável. Portanto, a porosidade intergranular pode ser uma opção na dosagem de concretos permeáveis, visto que essa variável permite estabelecer uma relação com a resistência mecânica do material. Na Figura 12 estão representados os dados experimentais em comparação com valores da literatura.

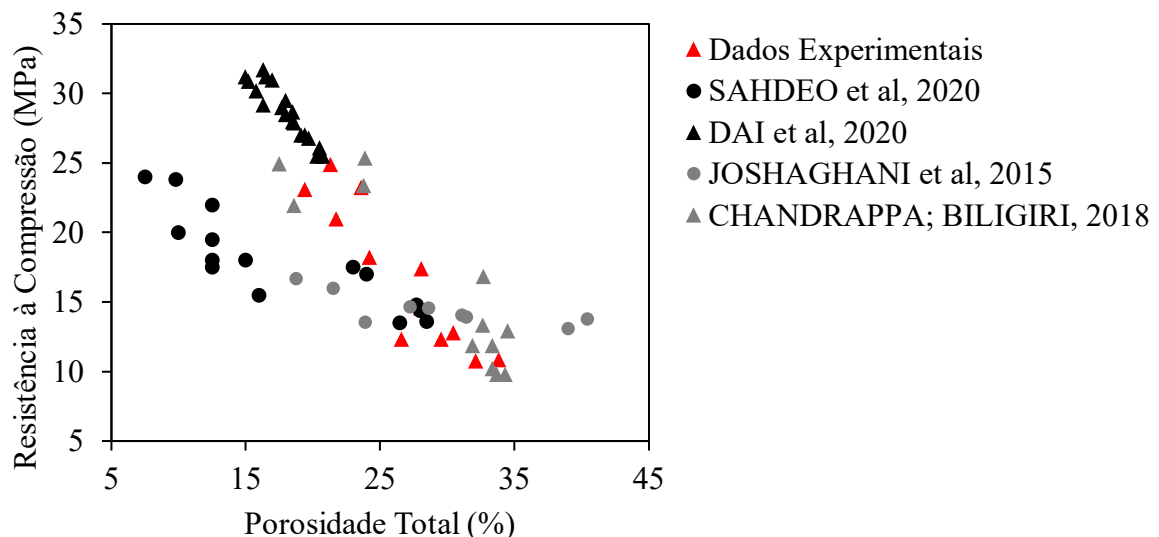


Figura 12. Comparação dos resultados de porosidade e resistência com dados valores da literatura

Na Figura 12 observa-se que os resultados de resistência à compressão obtidos neste estudo variaram de forma similar aos dados dos estudos selecionados. Projetando-se porosidades de 15 a 35% é possível ajustar a resistência à compressão do concreto permeável em uma faixa de 10 a 30 MPa. Embora concretos com porosidade superior a 30% apresentem um desempenho hidráulico superior (Figura 9), a resistência mecânica geralmente é um fator limitante na dosagem. Por outro lado, porosidades inferiores a 15% podem oferecer um melhor desempenho mecânico, porém com condutividade hidráulica limitada.

Portanto, a previsão do comportamento mecânico do concreto permeável também é fundamental para garantir a eficiência e durabilidade de pavimentos. A definição da resistência mecânica do concreto permeável deve ser feita com o objetivo de suportar o tráfego de veículos projetado para o pavimento. Um desempenho mecânico insuficiente poderá ocasionar deteriorações, como a ruptura ou a desagregação do material. Dessa forma, o controle da porosidade do concreto permeável possibilita a seleção de uma resistência mecânica em conjunto com uma condutividade hidráulica compatível para a aplicação em pavimentos drenantes.

4. CONCLUSÕES

Este estudo abordou a análise de diferentes técnicas de caracterização da porosidade, bem como a sua influência nas propriedades do concreto permeável. Os resultados obtidos demonstraram que a porosidade no estado fresco considera principalmente os poros intergranulares do material. No estado endurecido a caracterização resulta na porosidade total do concreto, uma vez que além dos poros intergranulares os vazios da matriz cimentícia também são considerados. Também foi possível caracterizar a porosidade aberta, excluindo-se os poros isolados do material. Foi possível constatar a importância em se diferenciar cada porosidade no concreto permeável, uma vez que cada propriedade é influenciada por um tipo principal de poro. A permeabilidade se demonstrou como dependente da porosidade aberta do concreto permeável. Esse resultado foi coerente com a literatura, visto que os poros isolados e os vazios da matriz cimentícia não contribuem diretamente na condução de água no interior do material. A resistência à compressão, por sua vez, pôde ser representada com melhor eficiência pela porosidade intergranular. Embora a porosidade aberta seja mais adequada para a previsão do comportamento hidráulico, essa é uma propriedade de difícil previsão, uma vez que depende das características do agregado e do processo de compactação empregado. No entanto, a porosidade intergranular, caracterizada no estado fresco, apresentou boa correlação tanto com as características hidráulicas como mecânicas do concreto permeável. A porosidade intergranular pode ainda ser ajustada pela relação g/c e pelo método de compactação. Assim, a utilização desse parâmetro é útil no processo de dosagem do material, sendo uma forma de estimar as propriedades relevantes para o desempenho adequado de pavimentos drenantes. Dessa forma, o controle da porosidade possibilita o desenvolvimento de misturas de concreto permeável com maior qualidade, visando assim a durabilidade dos pavimentos permeáveis.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa pelo apoio e infraestrutura disponibilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

ACI American Concrete Institute. (2010), *ACI 522R-10 Report on pervious concrete*.

Adil, G. et al. (2020), Influence of silica fume on mechanical and durability of pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 247:118453.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009), *NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro.

ASTM International. (2014), *ASTM C1688/C1688M-14a Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete*.

ASTM International. (2012), *ASTM C1754/C1754M-12 Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete*.

Bonicelli, A. et al. (2013), Laboratory analysis for investigating the impact of compaction on the properties of pervious concrete mixtures for road pavements. *Advanced Materials Research*. 723:409-419.

Chandrappa, A. K., Biligiri, K. P. (2016), Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research finding and future prospects: A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*. 111:262-274.

Chandrappa, A. K., Biligiri, K. P. (2016), Comprehensive investigation of permeability characteristics of pervious concrete: A hydrodynamic approach. *Construction and Building Materials*. 123:627-637.

Chandrappa, A. K., Biligiri, K. P. (2018), Methodology to Develop Pervious Concrete Mixtures for Target Properties Emphasizing the Selection of Mixture Variables. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*. 144(3): 04018031.

Dai, Z. (2020), Multi-modified effects of varying admixtures on the mechanical properties of pervious concrete based on optimum design of gradation and cement-aggregate ratio. *Construction and Building Materials*. 233: 117178.

Debnath, B.; Sarkar, P. P. (2019), Permeability prediction and pore structure feature of pervious concrete using brick as aggregate. *Construction and Building Materials*. 213:643-651.

Deo, O., Neithalath, N. (2010), Compressive behavior of pervious concretes and a quantification of the influence of random pore structure features. *Materials Science and Engineering A*. 528:402-412.

Gaedicke, C. et al. (2015), Effect of recycled materials and compaction methods on the mechanical properties and solar reflectance index of pervious concrete. *Revista Ingeniería de Construcción*. 30(3):159-167.

Ibrahim, A. et al. (2014), Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. *Construction and Building Materials*. 50:524–9.

Joshaghani, A. et al. (2015), Optimizing pervious concrete pavement mixture design by using the Taguchi method. *Construction and Building Materials*. 101:317-325.

- Kia A. et al. (2017), Clogging in permeable concrete: A review. *Journal of Environmental Management*. 193:221-223.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. “Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais”. IBRACON, São Paulo, Brasil, p. 782.
- Montes, F. et al. (2005), A new test method for porosity measurements of Portland cement pervious concrete. *Journal of ASTM International*. 2(1).
- Neithalath, N. et al. (2010), Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction. *Materials Characterization*. 61(8):802-813.
- Rao, Y. et al. (2020) Vertical distribution of pore-aggregate-cement paste in statically compacted pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 237:117605.
- Sahdeo, S. K. et al. (2020) Effect of mix proportion on the structural and functional properties of pervious concrete paving mixtures. *Construction and Building Materials*. 255: 119260.
- Suleiman, M. T. et al. (2006) “Effect of compaction energy on pervious concrete properties”. In: *Proceedings of the 2006 NRMCA Concrete Technology Forum – Focus on Pervious Concrete*, NRMCA, Nashville.
- Torres, A., Hu, J. (2016), An alternate test method for the void content of pervious concrete. *Advances in Civil Engineering Materials*. 5(1):24-45.
- Torres, A. et al. (2015), The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 95:850-859.
- Xie, X. et al. (2018), Maximum paste coating thickness without voids clogging of pervious concrete and its relationship to the rheological properties of cement paste. *Construction and Building Materials*, 168: 732-746.
- Zhong, R., Wille, K. (2015), Material design and characterization of high performance pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 98:51–60.

Análise das solicitações de assistência técnica - estudo de caso para edificações em residenciais multifamiliares

P.P.B. Pires¹, F. Pacheco^{2*}, C. Simonetti³, H.Z. Ehrenbring⁴, R. Christ⁵

*Autor de Contacto: fernandapache@unisinos.br

¹ Escola Politécnica, Engenharia Civil UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

^{2,3,4,5} Instituto tecnológico em desempenho e construção civil, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

RESUMO

É crescente o número de chamados de pós-obra identificando intervenções necessárias para a qualidade plena do imóvel, sendo necessária sua gestão. Nesse estudo analisou-se um banco de dados de assistência técnica de uma construtora, visando classificar e analisar as ocorrências. Objetivou-se a identificação dos sistemas com mais falhas relatadas na fase de uso da edificação, atendimento aos parâmetros de garantia conforme normativas e legislações e o custo de mão de obra para reparo de solicitações de assistência técnica acatadas. Após a análise de 266 solicitações de assistência técnica, contemplando 451 possíveis danos, os resultados apontaram um percentual de 43% de danos com reparo realizado pela construtora e que os sistemas com maior número de falhas são as instalações e esquadrias.

Palavras-chave: assistência técnica; manutenção; intervenção.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve um aumento de solicitações de assistência técnica no pós-obra de edificações, intensificado pelo forte crescimento na demanda imobiliária brasileira e justificada por um maior nível de exigência dos consumidores e baixa qualidade das edificações (ALVES; LIRA; JUNIOR, 2019). Conforme a Fundação de Proteção e Defesa do Consumidor de São Paulo (2019), o índice de atendimento das reclamações fundamentadas é insignificante, e isso pode decorrer do fato de as empresas priorizarem a diminuição de custos financeiros.

Todavia, muitas informações podem ser obtidas através das solicitações de assistência técnica, que se bem registradas e analisadas são determinantes na melhoria dos processos construtivos das edificações, diminuição dos custos com o setor de pós-obra e conseqüentemente maior satisfação dos clientes (CRUZ, 2013). Assim, se corrobora a importância dos pontos citados anteriormente, somado ainda a atual desaceleração do mercado da construção civil, que torna crucial medidas que visam reduzir custos e agregar confiabilidade ao produto final (ARANTES; DE PAULA; BRANDSTETTER, 2016; SIQUEIRA, 2015).

É de fundamental importância que as empresas desenvolvam setores com o foco de atendimento de seus clientes, resolvendo as falhas através da assistência técnica, visando satisfazer o cliente, agregando confiabilidade (SIQUEIRA, 2015).

Conforme Vazquez e Santos (2010), urge a necessidade de implantação e conservação de um sistema de armazenamento de informações, com a finalidade de retroalimentar o processo construtivo de uma edificação, através da descoberta da origem do problema avaliado e decorrente prevenção. Apresentam-se em pesquisas modelos teóricos de organização de dados e procedimentos de melhoria (CUPERTINO; BRANDSTETTER, 2015).

Em termos de normativas nacionais, conta-se com a NBR 15575 (ABNT, 2013), que apresenta parâmetros mínimos das edificações habitacionais, e ainda, desde 2012 com a norma brasileira de manutenção de edificações NBR 5674 (ABNT, 2012), acrescida ainda ao incentivo da busca da qualidade para obtenção de certificações como o PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat) e NBR ISO 9001 (ABNT, 2009). Destaca-se em tais documentos a relevância do cuidado no projeto, execução e cuidado com as edificações.

Os danos identificados na etapa de uso de uma edificação podem causar grande incômodo ao usuário e afetar o desempenho da unidade em questão. Podendo, esses eventos, serem originados pelo mau uso da edificação, o que pode ser caracterizado pela falta da disponibilização do manual de uso, operação e manutenção ou por imperícia do usuário, falhas originadas nas etapas que compõem o processo de produção da edificação, como projeto, aquisição de materiais e execução (ARIVABENE, 2015; CBIC, 2013; HELENE, 1992).

Torna-se necessário que haja, por parte da empresa responsável pela produção da edificação, maior preocupação com os danos encontrados na etapa de uso da edificação, tendo em vista o impacto da satisfação de seus clientes na consolidação da empresa no mercado econômico, e como o registro adequado das informações obtidas através na análise dos danos pode retroalimentar o processo construtivo, agregando maior qualidade ao produto final (SIQUEIRA, 2015; SOUZA; ABIKO, 1997; GIACOMELLI, 2016; TAGUCHI, 2010).

Considerando o cenário apresentado, esse estudo busca avaliar a incidência de chamados de pós-obra, ou seja, intervenções após a entrega de imóveis, em um empreendimento com 240 unidades habitacionais de edificação multifamiliar. A análise foi realizada através do banco de dados da empresa construtora, considerando 451 solicitações de assistência técnica para o empreendimento em questão. Os dados foram analisados em termos de local de ocorrências, situação da garantia, distribuição dos danos patológicos por área e origem da falha ou dano.

2. A CONSTRUÇÃO CIVIL E A QUALIDADE

De acordo com Ambrozewicz (2003), o setor da construção civil brasileira é marcado por um grande percentual de trabalhadores com pouca qualificação. A falta de qualificação da mão de obra acaba interferindo na implantação de sistemas de qualidade e produtividade, cruciais para o desenvolvimento do setor. A qualidade nas cadeias produtivas da construção civil não ganhou a devida importância por resultado a alta rentabilidade do setor, porém, atualmente a busca pela qualidade é crucial para que se mantenham a competitividade (NETO, 2017).

A gestão da qualidade se tornou um elemento fundamental para as empresas e organizações do setor da construção civil se manterem competitivas no mercado, atendendo a maior exigência dos consumidores quanto a qualidade dos produtos e serviços prestados (ROCHA, 2007; REZENDE, 2013; GOMES, 2003).

Conforme Rezende (2013), é necessário que haja um bom desempenho do produto entregue, satisfazendo os consumidores, com qualidade nos serviços, um bom atendimento, com segurança e credibilidade.

Segundo Vieira e Neto (2019), há dificuldades em se implementar, no setor da construção civil, as ferramentas que compõem a gestão de qualidade e que são utilizadas em outros setores industriais, e isso acontece porque a cadeia produtiva encontrada no setor é diferenciada. São poucas as obras que possuem um processo produtivo repetitivo, criando certa dificuldade em se padronizar a cadeia produtiva privando-a de uma série de benefícios como a padronização, otimização do tempo, diminuição de erros e consequente redução de retrabalho, diminuição de custos, que resultam consequente em mais qualidade no produto final.

Para que se tenha efetividade na implantação de um sistema de qualidade em uma empresa, o mesmo deve atuar em todos os setores que compõem a mesma, deste o setor de produção aos recursos humanos. A partir de um conjunto de técnicas interligadas entre si, geram maior organização, e consequente maior competitividade, possibilitando que se alcance o objetivo final que é satisfação de seus clientes (AMBROZEWICZ, 2003).

Um incentivo para as empresas surgiu com a norma de desempenho, que traz requisitos mínimos de desempenho e tornaram-se o objetivo das construtoras e demais empresas prestadoras de serviço que compõem o setor da construção civil brasileira (SOUZA, 2016).

2.1 Assistência técnica

A assistência técnica é uma das funções do setor de atendimento ao consumidor de uma empresa, destina a clientes que identificaram falhas no produto que lhe foi entregue, visando sua satisfação e uma repercussão favorável da empresa no mercado (SIQUEIRA, 2015). Assim, é imprescindível que seja bem estruturado, com um banco de dados e uma análise, se a solicitação é procedente ou não. Caso procedente, ou seja, dentro dos prazos e requisitos de garantia, é dado andamento a assistência, sendo posteriormente agendado uma vistoria na unidade do solicitante.

Siqueira (2015) informa sobre os cuidados as vistorias e o fechamento da solicitação técnica, coletando a assinatura do cliente, comprovando a solicitação e aceitação da solução adotada. Vale destacar que é crucial a verificação da satisfação do cliente quanto ao atendimento, desde a qualidade do serviço à conduta da equipe (SIQUEIRA, 2015; SOUZA; ABIKO, 1997).

Segundo Souza e Abiko (1997), outra função da assistência técnica é retroalimentar o processo produtivo da empresa, e isso ocorre por meio do registro das informações obtidas a cada solicitação, fundamentando a melhoria contínua e mitigando os erros.

2.2 Manual do usuário

Trata-se do canal de instruções técnicas das empresas aos usuários, visando que suas intervenções no imóvel sejam realizadas de modo satisfatório. Segundo Michelin (2005), o Manual de Uso,

Operação e Manutenção das edificações, é de suma importância, pois é o responsável pela interação entre as etapas de construtivas e de uso. Além de definir quais são os deveres do construtor e usuário, evita que a empresa seja responsabilizada pelo má utilização ou má fé do usuário, sendo sua justificativa a explicação de como proceder quanto sua utilização e manutenção.

2.3 Aspectos jurídicos

A finalidade do Código de Defesa do Consumidor (CDC) é igualar a relação entre o consumidor e o fornecedor. Essa relação se enquadra na construção civil, onde se tem o consumidor e o fornecedor (MEIRELLES, 2005; PELACANI, 2010).

O CDC faz a diferenciação entre vícios e defeitos encontrados em uma edificação na etapa de uso. O vício interfere na plenitude da edificação, decrescendo seu valor. Já o defeito é considerado um vício de maior gravidade, o qual pode colocar em risco a segurança do usuário, seus bens ou terceiros (MEIRELLES, 2005). Ainda, conforme o CDC, os defeitos encontrados em uma edificação são de responsabilidade do fornecedor, ou seja, em caso de danos o mesmo deverá ressarcir, independente de culpa, o consumidor e vítimas do evento, explicitado nos artigos 12 e 14. Já nos casos de vícios construtivos, o fornecedor só responderá caso for comprovado a sua culpa no evento (MEIRELLES, 2005).

Os vícios são considerados falhas que o imóvel possa apresentar que tornam seu uso impróprio ou que possam acarretar a desvalorização do mesmo. São casos em que o produto não apresenta a qualidade ou quantidade adquirida. Os defeitos são considerados falhas que possam pôr em risco a saúde e segurança do usuário. Ambos podem ser divididos entre aparentes e ocultos, os parentes são de fácil constatação e podem ser identificados no momento na compra ou entrega das chaves, já os ocultos normalmente só são identificados durante o uso da edificação (BARROS FILHO; RIVELINI, 2016).

2.4 Manifestações patológicas

Conforme Giacomelli (2016) e Taguchi (2010), o estudo das manifestações patológicas é crucial para a construção civil, principalmente pela grande quantidade de informações que podem ser obtidas em tal análise, como já falado, visando a melhoria contínua, através da retroalimentação de seus processos construtivos (FIESS et al., 2004).

Muitos fatores podem influenciar na deterioração antecipada das edificações, desde a erros de projeto, falhas construtivas, má utilização, matérias empregados de maneira incorreta, falhas involuntárias envelhecimento natural (ARIVABENE, 2015).

Conforme Helene (1992), o processo construtivo de uma edificação é composto pelas etapas de planejamento, projeto, fabricação dos materiais, execução e uso, sendo essas as possíveis origens das falhas. Segundo Arivabene (2015) e Helene (1992), as manifestações patológicas geradas através de erros de projeto são os mais preocupantes, principalmente devido a sua grande incidência e gravidade acentuada quando comparadas a manifestações ocasionadas por falhas construtivas ou qualidade de materiais.

A falta de compatibilização dos projetos acaba gerando problemas complicados, de resolução dificultada. Vale destacar também a falha na escolha por materiais adequados. Outro problema detectado são erros de cálculos estrutural, principalmente na definição dos esforços atuantes sobre a edificação, inexistentes ou escassez de juntas de dilatação, poucos estudos a respeito do solo onde será construído a edificação, início da etapa de execução antes da conclusão da etapa de projeto (ARANTES; DE PAULA; BRANDSTETTER, 2016; ARNALDO, 2007).

No cenário das falhas, tem-se ainda as de origem nos materiais, conforme Fiess (2004), identificadas por deterioração dos materiais, isentos da influência das etapas de projeto e execução. Salerno (2005) destaca que a maioria das manifestações patológicas geradas por falhas de

materiais são identificadas apenas na etapa de uso da edificação e são resultado da escolha de materiais de baixa qualidade, onde o fator custo predominou na escolha do mesmo.

É somente na fase de execução que as manifestações patológicas começam a surgir, ou seja na última etapa do processo construtivo, e surgem em maior número na etapa de uso. O que cria a necessidade de que se faça um diagnóstico preciso, visando identificar a etapa onde surgiu o problema (HELENE, 1992).

Boa parte das manifestações patológicas geradas na etapa de execução são devido a utilização de mão de obra mal qualificada. Além disso, ainda pode ocorrer a utilização inadequada dos materiais de construção, (ARANTES; DE PAULA; BRANDSTETTER, 2016; FIESS et al., 2004; ARNALDO, 2007; TAGUCHI, 2010). A falta de conhecimento técnico ligado ao uso e manutenibilidade das edificações, problemas econômicos e incompetência, são os principais responsáveis por manifestações patológicas ocasionadas por uso inadequado, manutenção incorreta ou falta de manutenção (ARIVABENE, 2015). As falhas de uso por muitas vezes ocorrem em decorrência do não entendimento dos usuários leigos sobre as características de manutenção pertinentes em uma edificação e pela carência de tais tarefas por parte das construtoras, com instrumentos como manual de uso, operação e manutenção, já citado.

3. PROCEDIMIENTO

3.1 Estudo de caso

O banco de dados de registros de solicitações de assistência técnica analisado pertence a uma empresa construtora. A empresa produz empreendimentos habitacionais multifamiliares, sendo o padrão construtivo predominante adotado para as edificações produzidas pela empresa enquadrado no programa do Governo Brasileiro Minha Casa Minha Vida (MCMV) como Faixa 3. A empresa executa também edificações com padrão construtivo médio superior.

De acordo com o efetivo de mão de obra disponível, e em consoante com a política da empresa, há sempre duas edificações na fase produção em andamento, tendo pelo menos uma terceira na fase de planejamento e de projeto.

A construtora conta com 5 empreendimentos já entregues, todos eles de edificações multifamiliares. No quadro da empresa há um profissional responsável por atuar na assistência técnica, sendo responsável pelo atendimento ao público externo na solução de intervenções necessárias nas edificações, sendo assim uma estrutura enxuta de pós-obra.

3.1.1 Empreendimento e sistema construtivo

O sistema construtivo utilizado é o de alvenaria estrutural. O empreendimento em estudo foi o Moradas de Sapucaia, foi entregue em 3 fases (etapas), sendo dividida em 80 apartamento por fase. A primeira fase foi entregue dia 4 de abril de 2019, a segunda foi dia 10 de dezembro de 2019 e por fim, a terceira fase foi entregue em fevereiro de 2020.

3.1.2 Documentação referente à qualidade e ao controle da empresa

Foram analisados os documentos disponibilizados pela empresa em relação a sua aplicação, pertinência e profissionais envolvidos.

a) Entrega das chaves: a empresa adota o documento de recebimento de unidade. Nesse documento o cliente atesta o recebimento do imóvel, estando em conformidade com a vistoria do momento da entrega, através de sua leitura e assinatura. Além disso, ele assinala o recebimento de documentos, como manual de uso, operação e manutenção, chaves, entre outros. E também, ele se responsabiliza pelo repasse desse manual caso a unidade seja vendida.

b) Abertura de chamado de atendimento: Há algum tempo a construtora desenvolveu uma ficha padrão, na qual se descreve o problema, classificando entre serviço técnico ou não técnico, assim como, a situação da garantia.

Para realização desse estudo, ampliou-se a análise dos dados, de acordo com os itens apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação das ocorrências patológicas.

A	B	C	D	E	F	G
Empreendimento	Tipo de Ocorrência	Nº Ocorrência	Status / ocorrência	Local / Apto	Data	Sistema
H	I	J	K	L	M	N
Solicitação Cliente	Data/Hora da Vistoria	Análise da Vistoria	Origem da Falha	Código	Data de Entrega (Anos)	Tempo de uso (Anos)
O	P	Q	R	S	T	U
Garantia item	Prazo de garantia	Profissional	Data/Hora do Serviço	Data de Fechamento	Prazo de atend.	Mão de Obra (h)
V						
Ok do cliente						

Na coluna A identifica-se o empreendimento. Na coluna B, destaca-se se é uma ocorrência em área comum ou privativa. Na coluna C segue-se uma sequência numeral. A coluna D aponta o status da ocorrência. As colunas E e F apresentam as informações de local e data, respectivamente. A coluna G tem função importante, indicando em que sistema ocorreu o ano, como esquadrias ou revestimento. A coluna H é alusivo a uma acolhida às solicitações do cliente. O item I apresenta os dados da vistoria. O item J descreve-se o dano. No item K busca-se atribuir uma origem a uma falha verificada. O item L é referente a um código de identificação. Os itens M e N envolvem a data de entrega e o tempo de uso da edificação, respectivamente. Analisando esses dois pontos, preenche-se o item O, indicando se há garantia no item e se houver, no item P preenche-se o prazo. No item Q, indica-se o profissional necessário para o reparo. Os itens R, S e T, indicam a data do serviço, de fechamento e o prazo para o atendimento. Apontam-se nos itens finais a quantidade de horas para o serviço e a satisfação ou não do cliente.

4. RESULTADOS

Ao analisar o local de ocorrência, por exemplo, tem-se 93 ocorrências nas áreas comuns, em relação a 358 localizadas nas unidades, em área privativa. A Figura 1a apresenta graficamente essa ocorrência.

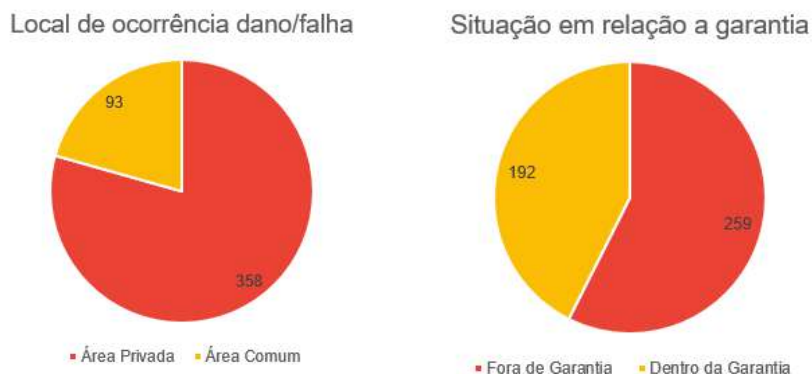


Figura 1. Local de ocorrências do dano/falha (a) e situação em relação a garantia (b).

Percebe-se assim, que grande parte dos danos patológicos é percebido no interior das unidades habitacionais. Ao analisar a origem desses danos, pode-se atribuir a maior presença no interior em decorrência dos sistemas empregados. Sabe-se que, conforme Antunes (2010), um dos itens de maior ocorrência patológica é o revestimento cerâmico, aplicado nas áreas molháveis, o que não ocorre nas áreas comuns (circulação), e assim, seu registro se dá nas unidades.

Checinel et al (2009) destacam ainda os danos patológicos que decorrem de instalações e projetos complementares, e assim, pode-se também perceber que essa incidência tende a ocorrer no interior dos imóveis, justificando esse percentual de 79% dentre as manifestações percebidas no presente estudo.

Conforme apresenta a Figura 1b, dos 451 apontamentos presentes nas 266 solicitações de assistência técnica analisadas constatou-se que 259 delas enquadravam-se como fora de garantia, sendo estes critérios balizados pelo Manual de Uso, Manutenção e Operação entregue junto a unidade.

Lima (2015) observou que, em edificação residencial sem rotina de manutenção implementada, danos ocorrem apenas em casos críticos que já apresentavam perda de desempenho. Fato que pode estar relacionado com o apresentado na Figura 1b, pois sem a realização de manutenção podem não ter sido identificados sintomas iniciais, que podem ter surgido ainda no período da garantia do imóvel, o que alteraria o cenário verificado.

De acordo com Mello (2010), o Código Civil estabelece que os vícios aparentes são de consciência do proprietário da unidade no momento de seu recebimento, ou seja, itens enquadrados como danos aparentes não possuem garantia legal. Conforme graficamente na Figura 1, grande parte dos danos relatos pelos clientes após o recebimento da unidade, são classificados como aparentes e sem garantia, sendo uma possível justificativa para o maior número de solicitações com este enquadramento.

Mello (2010) ressalta que como não há a definição por parte do Código Civil e Código de Defesa do Consumidor as normativas da ABNT, especificamente a NBR 15575 (ABNT, 2013), deve servir como parâmetro para determinação dos prazos de garantia mínimos, sendo esses requisitos base para elaboração dos critérios de garantia utilizados pela construtora e na planilha desenvolvida neste presente trabalho.

Conforme a Tabela 2, onde estão compilados os 8 sistemas com o maior número de danos registrados, tem-se que englobam 76,5% registros realizados. Sendo as Instalações Elétricas, como pode ser observado na Figura 2, o sistema com o maior número de danos e falhas.

Tabela 1. Principais sistemas com danos/falhas relacionadas.

Instalações elétricas - tomadas/interruptores/disjuntores/fios/ cabos/eletrodutos /caixas e quadros	125
Instalações hidráulicas coletores/ramais/ louças/caixas de descarga/bancadas/metais sanitários/ sifões/ ligações flexíveis/ válvulas/registros/ ralos/tanques	25
Esquadrias de alumínio e persianas de PVC	60
Esquadrias de madeira	31
Revestimentos de paredes, pisos e tetos internos e externos em argamassa/ componentes de gesso acartonado	23
Revestimentos de paredes, pisos e tetos em azulejo/ cerâmica	35
Pintura/verniz (interna/externa)	11
Equipamentos industrializados (motobombas, filtros, interfone, automação de portões e outros). Sistemas de interfone	35

Distribuição dos danos patológicos por área



Figura 2. Distribuição dos danos patológicos por área.

Os resultados evidenciados na Tabela 2 e na Figura 2 são semelhantes ao encontrado por Tejo (2018), onde o mesmo informou que as instalações elétricas foram o sistema com maior número de registros de solicitação de assistência técnica, aproximadamente 21,31%.

Com base nas descrições relatadas após a vistoria realizada na unidade reclamante, consta-se que grande incidência dos problemas identificados possui origem relacionada a execução e qualidade dos materiais empregados na execução do empreendimento.

Medeiros (2004) analisando um banco de dados de diversas edificações habitacionais, percebeu que os danos patológicos foram percebidos principalmente nos revestimentos, coberturas, paredes de vedação e instalações dos imóveis. Em relação aos dados do presente estudo, percebe-se semelhança, pois as instalações e o fechamento também ocorreram de modo predominante.

Rodrigues (2013) além de concordar com os resultados em termos dos principais sistemas com danos, destacou um percentual de 35% para as instalações elétricas e hidráulicas com danos apresentados, valor próximo ao resultado obtido na presente pesquisa. No estudo realizado por Prates et al (2019), onde os mesmos determinaram que os revestimentos em geral fazem parte dos 3 principais sistemas com falhas registradas, novamente denota-se semelhança com os resultados obtidos na pesquisa e apresentados na Figura 2.

Como pode ser observado na Figura 3, foi realizada a classificação em relação a origem da falha ocasionada e identificada na fase de uso da edificação, tal informação é de extrema importância para mensuração do impacto financeiro causado pela falha e mapeamento para tomada de ação visando mitigação ou eliminação de sua ocorrência.

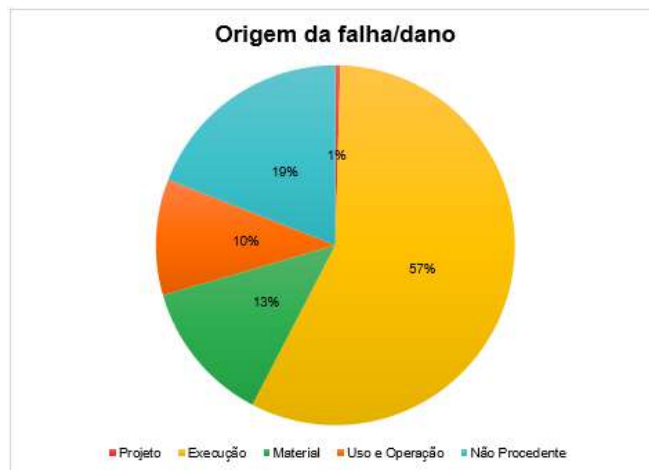


Figura 3. Origem da falha/dano.

Através da representação gráfica, pode se observar um grande percentual de falhas com origem na fase de execução do processo construtivo, sendo muitos deles advindos da falta de treinamento da mão de obra, falta de controle de qualidade e conferência. Vale destacar que atividades executadas antes do momento ideal, por exemplo revestimentos cerâmicos, tendo sido percebido no decorrer do processo que a mesma ocorreu na construção alvo do estudo realizado, resultou em um grande fluxo de pessoas e equipamentos após o assentamento das peças, aumento a incidências de danos. Vale destacar que o uso de materiais de baixa qualidade resultaram em ações interventivas e transtornos aos usuários das unidades habitacionais, serve como exemplo as esquadrias de alumínio e disjuntores. Ocorreu um número significativo de falhas ocasionadas pelo uso incorreto dos equipamentos e sistemas que compõem a edificação, muitos ocasionados pela falta de verificação/leitura do Manual de Uso, Operação e Manutenção, onde há especificação de materiais e práticas a serem adotadas nas unidades. Como por exemplo, o uso de eletrodomésticos incompatíveis com o dispositivo residual de proteção, o qual é contra indicado e mesmo assim tiveram grande incidência de uso.

No estudo realizado por Cupertino e Brandstetter (2015), no qual os mesmos realizaram o mapeamento da origem das falhas/danos registrados, estimou-se que 44% eram advindos da fase de execução e 22% dos materiais empregados. Já no estudo realizado por Siqueira (2015), constatou-se que 77% das falhas tiveram origem na fase de execução e 26% dos materiais utilizados. Valores bastante próximos e proporcionais aos encontrados na presente pesquisa, sendo eles 57% originados na execução e 13% dos materiais.

No Tabela 3 está representado os sistemas com maior número de horas de mão de obra geradas em decorrência de assistências técnicas.

Tabela 2. Sistemas com maior número de horas de mão de obra geradas em decorrência de assistências técnicas.

Sistemas	Horas
Instalações elétricas	101,6
Instalações hidráulicas	23,0
Esquadrias de alumínio e persianas de PVC	64,0
Esquadrias de madeira	23,0
Revestimentos em argamassa/ componentes de gesso acartonado	34,0
Revestimentos de paredes, pisos e tetos em azulejo/ cerâmica	24,0
Equipamentos industrializados	22,5

De acordo com a Tabela 3, as instalações elétricas formam o sistema com maior quantidade de horas em comparação aos demais sistemas. Tal comportamento foi observado também na pesquisa realizado por Cupertino e Brandstetter (2015), onde os mesmos estimaram que as instalações elétricas foram responsáveis por 21,09% do custo total gerado através do atendimento de solicitações de assistência técnica. O custo gerado pelos reparos realizados após a entrega das unidades, ou seja, através do serviço de atendimento ao cliente, é um indicador bastante utilizado pela construtora, como foi observado no estudo realizado por Alves et al (2019), onde os autores estimaram que 50% das construtoras avaliadas fazem uso do indicador.

5. CONCLUSÃO

Tendo em vista que o objetivo principal da presente pesquisa era analisar a gestão para o registro de solicitações de assistência técnica de uma construtora específica, conclui-se que o objetivo foi atingido e por meio da avaliação do banco de dados físico dos registros de solicitações técnicas, foi possível desenvolver uma planilha eletrônica contemplando os principais parâmetros necessários e de impacto relevante para obtenção dos indicadores visados. Pode-se afirmar que o setor de pós-obra é uma fonte indispensável para aperfeiçoamento das etapas que constituem a construção de uma edificação.

Com base na avaliação de 266 registros de solicitações de assistência técnica de uma construtora de porte médio, totalizando mais de 451 apontamentos, foi possível identificar os principais sistemas com danos relatados, e com base nesses sistemas determinar os que mais necessitam intervenção nas etapas que antecedem seu uso. Sendo possível assim aprimorar os processos construtivos, permitindo a melhoria contínua e desenvolvimento. Resultando em um produto com maior qualidade, desempenho e satisfação do cliente.

Objetivou-se nesse estudo a análise das características das solicitações registradas, observou-se que mais de 57% dos danos relatados não foram cobertos pela garantia, por mais que tal percentual induza a interpretação de que houve economia pelo número menor de assistências prestadas, e que houve o atendimento as normativas e legislações no que tange os direitos do consumidor, denota-se grande incidências de danos que não só interferem na qualidade produto final, como também tem influência determinante na satisfação do cliente.

A quantificação do custo de mão de obra é de suma importância para mensuração do quão ocioso torna-se os reparos realizados após a entrega da unidade. O mesmo pode ser obtido para cada solicitação e para cada sistema que compõem a edificação através da planilha gerada no estudo, sendo assim é permitido afirmar que o objetivo específico foi atendido com satisfação e torna-se viável fazer o comparativo entre o custo de uma ação interventiva ou preventiva com este indicador em questão.

O presente estudo caso tem sua justificativa comprovada no que tange a necessidade de maior aproveitamento das informações provenientes da fase de uso das edificações, corroborada pela necessidade crescente da busca pela satisfação do cliente final, ansiando não só pelo atendimento as legislações protetivas do consumidor cada vez mais complexas, mas por gerar um produto final com maior qualidade e desempenho, proporcionando o desenvolvimento do setor da construção civil.

6. REFERÊNCIAS

- ALVES, K. C. C.; LIRA, V. Q.; JUNIOR, A. C. L. O pós-obra em empresas da construção civil. *Revista de Engenharia Civil*, v. 12, n. 56, p. 34–43, 2019.
- AMBROZEWICZ, P. H. L. Metodologia para capacitação e implantação de sistema de gestão da qualidade em escala nacional para profissionais e construtoras baseado no PBQP-H e em Educação

- à Distância. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- Antunes, G. R. Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – sistematização da incidência de casos. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- ARANTES, G. M.; DE PAULA, R. F.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. Subsídios para o gerenciamento de risco na Construção Civil - Probabilidade e análise no pós obra. *In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2016. Anais [...]. João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2016.
- ARIVABENE, A. C. Patologias em Estruturas de Concreto Armado - Estudo de Caso. *Revista Especialize On-line IPOG*, v. 01, p. 1–22, 2015.
- ARNALDO, M. E. A. 20 Anos na Construção Civil. *In: Encontro de 20 anos da Engenharia Civil*, 2007. Anais [...]. Portugal, Tomar: Instituto Politécnico de Tomar – Departamento de Engenharia Civil, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Edificações habitacionais: Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5674: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- BARROS FILHO, O. X. de; RIVELINI, A. R. B. Vícios construtivos em obras públicas: um estudo de caso em 27 obras. *Revista UNINGÁ Review*, v. 28, n.2, p.16-23, 2016.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Guia nacional para a elaboração do manual de uso, operação e manutenção das edificações. Fortaleza: Gadioli Cipolla Branding e Comunicação, 2014.
- CECHINEL, B. M.; VIEIRA, F. L.; MANTELLI, P.; TONEL, S. O. Infiltração em alvenaria - estudo de caso em edifício na Grande Florianópolis. *Caderno de Publicações Acadêmicas*, v. 1, n. 1, p. 18-24, 2009.
- CRUZ, D. C. Análise de solicitações de assistência técnica em empreendimentos residenciais como ferramenta de gestão. 2013. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.
- CUPERTINO, D.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. Proposição de ferramenta de gestão pós obra a partir dos registros de solicitação de assistência. *Revista Ambiente Construído*, v. 15, n. 4, p. 243-265, out./dez. 2015. doi: 10.1590/s1678-86212015000400049
- FIESS, J. R. F. et al. Causas da ocorrência de manifestações patológicas em conjuntos habitacionais do estado de São Paulo. *In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 2004. Anais [...]. São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004.
- FUNDAÇÃO DE PROTEÇÃO E DEFESA DO CONSUMIDOR DE SÃO PAULO (PROCON-SP). Cadastro de reclamações fundamentadas - 2018. São Paulo: PROCON-SP, 2019.
- GIACOMELLI, D. V. Principais patologias encontradas nos prédios da UFSM executados pelo Programa REUNI. 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- GOMES, A. Metodologia para implantação do PBQP-H em empresas construtoras no Noroeste Fluminense: um estudo de caso. *In: XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção*, 2003. Anais [...]. Ouro Preto: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2003.
- HELENE, P. R. L. Manutenção para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1992.
- LIMA, B. S. Principais manifestações patológicas em edificações multifamiliares. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia,

- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- MEDEIROS, V. Q. Análise e mapeamento das manifestações patológicas vistoriadas pela seguradora em imóveis financiados pela Caixa Econômica Federal no Rio Grande do Sul em 1999 e 2000. 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- MEIRELLES, H. L. Direito de construir. 9ª ed. São Paulo: Malheiros, 2005.
- MELLO, G. Q. Responsabilidades e garantias na Construção Civil. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2010.
- MICHELIN, L. A. C. Manual de operação, uso e manutenção das edificações residenciais multifamiliares: coleta e avaliação de exemplares de empresas de Caxias do Sul-RS. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- NETO, M. L. M. A utilização da norma ISO 9001 na Indústria da Construção. 2017. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2017.
- PELACANI, V. L. Responsabilidade na construção civil. Curitiba: Caderno do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná, 2010.
- PRATES, A. E.; NASCIMENTO, J. C.; MENDES, K. E. Principais manifestações patológicas em conjunto habitacional de interesse social - Montes Claros/MG. Revista Intercâmbio, v. 15, p. 14-34, 2019.
- REZENDE, J. L. Processo de Implementação do PBQP-h: O Caso dos Municípios Paranaenses. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- ROCHA, M. Q. B. Elaboração de indicadores e uso de ferramentas de controle da qualidade na execução de obras prediais. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- RODRIGUES, A. C. Levantamento das principais manifestações patológicas em edificações residenciais de uma construtora de Porto Alegre. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- SALERMO, L. S. Aplicação de ferramentas da mentalidade enxuta e da manutenção autônoma aos serviços de manutenção dos sistemas prediais de água. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- SIQUEIRA, T. D. Assistência técnica na construção de edifícios. Revista Especialize On-line IPOG, v. 01, p. 1-22, 2015.
- SOUZA, J. L. P. Desafios na implantação do nível superior da norma de desempenho em edificação residencial em Novo Hamburgo/RS. 2016. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.
- SOUZA, R. de. Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte. 1997. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- TAGUCHI, M. K. Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- TEJO, F. A. C. Análise das principais patologias pós-obra por um setor de assistência técnica de uma construtora de pequeno porte. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- VAZQUEZ, E. G.; SANTOS, V. Estudo estatístico de patologia na pós-entrega de empreendimentos imobiliários. *In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, v. 13, 2010.
- VIEIRA, E. S.; DE OLIVEIRA NETO, J. M. Qualidade na Construção Civil: PBQP-H-Análise do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat. Revista ETIS, Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability, v. 1, n. 1, p. 54-64, 2019.

Análise e classificação de itens apontados em uma inspeção predial realizada em empreendimento em fase de uso - Estudo de Caso em empreendimento misto de grande porte

Janine. Pedroso^{1*}, Fernanda. Pacheco¹, Camila Simonetti²
*janinepedroso@hotmail.com

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, Brasil.

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

O estudo das manifestações patológicas é de suma importância para a garantia da segurança e qualidade das edificações. Este estudo teve como objetivo, a partir de um relatório de inspeção predial realizado em um empreendimento misto, analisar e classificar os itens apontados quanto as suas origens. Os resultados, predominantemente, apontaram para anomalias de origem endógena, com danos principalmente no sistema de revestimento argamassado, oriundas da etapa de execução da obra. Ao analisar o grau de risco imposto aos usuários, decorrente dos itens apontados, os mesmos foram em sua maioria caracterizados como de risco mínimo. E a partir da aplicação do método GUT definiu-se que devem ser priorizadas intervenções nos itens que apresentaram danos nas partes estruturais das duas edificações.

Palavras-chave: Manifestações patológicas. Falhas. Grau de risco. Inspeção predial.

Analysis and classification of items pointed out in a building inspection carried out in a development in use phase - Case Study in a large mixed development

ABSTRACT

The study of pathological manifestations is of extreme importance to the guarantee the safety and quality of buildings. This study aimed, based on a building inspection report carried out in a joint venture, to analyze and classify the items mentioned according to their origins. The results predominantly pointed to anomalies of endogenous origin, with damage mainly to the mortar coating system, arising from the execution stage of the work. When analyzing the degree of risk imposed on users, arising from the items mentioned, they were mostly characterized as minimal risk. And from the application of the GUT method it was defined that priority should be given to interventions in items that showed damage in the structural parts of the two buildings.

Keywords: Pathological manifestations. Failures. Degree of risk. Building inspection.

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, o ato de construir remete-se a um criterioso conjunto de procedimentos que resulta em um processo de atividades que contemplam etapas de planejamento, projeto e execução (Almeida,2008). Posterior a isto, o uso deverá também contemplar corretamente formas de operação e manutenção das edificações. Caso ocorra alguma falha em alguma destas etapas, fica impendente o surgimento de manifestações patológicas ou falhas na elaboração e execução dos planos de manutenção.

As falhas encontradas nos planos de manutenção podem ocorrer por diversos fatores atrelados à distração, inexperiência, desconhecimento de procedimentos, desconhecimentos de métodos construtivos e questões financeiras (Almeida,2008). Estas falhas estão ligadas diretamente a etapa de uso e manutenção das edificações.

Lichtenstein (1986), há mais de 30 anos, já apresentava a patologia das edificações como uma ciência, indicando ainda, que ocorre de acordo com três etapas fundamentais, sendo: levantamento de subsídios, diagnóstico da situação e definição da conduta.

A inspeção predial, de acordo com Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias- IBAPE (2012), configura-se como conjunto de análises técnicas, de uma edificação quanto as suas condições de uso, manutenção e operação. Segundo Lichtenstein (1986), as observações apontadas pelo usuário não possuem caráter técnico, e não podem ser conclusivos para afirmar sua existência e dimensões do problema. Diante disto, Lichtenstein (1986) afirma que somente através de uma inspeção predial, realizada por um profissional devidamente habilitado, podem ser de uma forma mais precisa levantados todos os problemas patológicos presentes na edificação, podendo assim agir de forma precisa na correção das manifestações patológicas.

Outros pontos destacam a pertinência da análise dos danos patológicos, indicando características do setor de construção civil, como destaca Vieira (2016) que cita a alta rotatividade de mão de obra e baixo nível de especialização. Há ainda de ser considerado o panorama dos custos, em que tem-se, segundo Helene (1997) uma progressão geométrica de razão cinco, que quanto maior o tempo transcorrido até pensar-se em manutenção, mais custosa é a sua realização.

2. PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES, INSPEÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DE DANOS

No campo da construção civil, o termo patologia das construções caracteriza-se como o estudo das causas de falhas e degradações dos sistemas construtivos, com objetivo de conhecer as suas origens, suas formas de se manifestar, assim como suas possíveis consequências. (Souza e Ripper, 1998). De acordo com Silva e Jonov (2016) o termo patologia está diretamente atrelado ao não atendimento do desempenho desejado da edificação.

Dentro da patologia das edificações, tem-se a sintomatologia como o estudo dos sinais que uma edificação apresenta quando ocorre um problema em sua integridade, indicando um sinal de alerta (Tutikian e Pacheco, 2013). Conforme Lichtenstein (1986) pode ser necessária a análise de um profissional habilitado, pois os sintomas podem ser de complexa identificação e análise, classificando-se como pré ou pós-patogênicos.

Tão importante quanto à análise dos sintomas é a avaliação da origem dos danos. Helene (1997) divide a tarefa da construção em 5 etapas, sendo elas planejamento, projeto, fabricação de materiais oriundos de fabricantes, execução da obra e a mais significativa: a fase de utilização do usuário, onde são realizadas operações e o uso das obras. Sabendo a origem, é possível identificar o tratamento, além de, evitar sua repetição em novos empreendimentos.

O IBAPE (2012) classifica a origem das patologias das construções em quatro grupos, sendo endógena, exógena, natural e funcional.

São chamadas de endógenas as manifestações patológicas que se produzem do interior da estrutura para o exterior, ou seja, que tem seus fatores inerentes a própria edificação. (IBAPE, 2012). Dentre essas causas pontuam-se falhas de projetos (Santana, 2006), de materiais, execução e o controle da qualidade (Souza e Abiko, 1997). Já as exógenas, possuem ações externas como o mau uso (Freire, 2010), as ações naturais decorrentes de fenômenos da natureza (Giacomelli, 2016) e as funcionais.

Em relação aos principais sistemas de surgimento dos danos, segundo Saldanha (2011), tem-se predominantemente as estruturas com 58% das ocorrências, seguidas das fachadas (11%) e dos telhados (10%).

De acordo com Pujadas, Silva, Kalil e Francisco (2015) um estudo realizado pela Câmara de Inspeção Predial do IBAPE/SP em 2009, apontou que o percentual de incidentes ocorridos nas edificações, por tipo de origem é bastante representativo e relevante, pois se trata, em sua maioria, de problemas ocasionados por falhas de manutenções prediais e utilização da edificação (66%).

Nesse cenário, no Brasil conta-se com a NBR 5674 (ABNT, 2012), que cita que é imprescindível que seja realizada a gestão do sistema de manutenção das edificações a fim de preservá-las. De acordo com Vieira (2016) embora os usuários sejam instruídos a realizar manutenções preventivas nas edificações, muitos condomínios não as realizam de forma periódica acarretando em danos patológicos

As ações de inspeções a serem realizadas, quer seja para monitoramento dos tarefas de manutenção, quer seja para análise dos dados, podem ter como resultado o prognóstico e a classificação do risco das edificações. De acordo com Sotille (2014) com o objetivo de priorizar as ações, de forma racional, a ferramenta matriz GUT permite visualizar quais são os problemas que mais trazem impactos negativos e, também, permite escolher a tomada de ação menos prejudicial.

Um dos exemplos de ferramentas que pode ser empregada é a matriz GUT, de gravidade, urgência e tendências (Sotille,2014), que requer o preenchimento de um formulário conforme apresentando pela Tabela 1:

Tabela 1. Formulário Gravidade, Urgência e Tendência.

Problemas	G	U	T	GUT
	Gravidade	Urgência	Tendência	

Fonte: Sotille (2014).

A gravidade pode ser considerada nas seguintes categorias: sem gravidade, pouco grave, grave, muito grave e extremamente grave. Em relação à urgência, analisa-se em quanto tempo necessita-se da intervenção, podendo ser: longuíssimo prazo, longo prazo, prazo médio, curto prazo e imediatamente. Em relação à tendência, varia-se em relação a algo que desaparece com o tempo, algo que se reduz, algo que permanece igual, algo que aumenta em pouco tempo ou que terá grande evolução rapidamente (Sotille,2014). Considerando o apresentado, esse estudo analisou danos patológicos em um empreendimento misto, classificando seu local e forma de ocorrência.

3. METODOLOGIA

3.1 Etapas

Esse estudo foi realizado em um empreendimento de uso misto. Foram analisados relatórios técnicos de inspeção somados a realização de visitas no local. Na sequência, baseando-se no apresentado no referencial teórico, foram estipuladas variáveis que permitiram realizar análises mais completas dos itens apontados no relatório da inspeção predial, conforme ilustra Tabela 2 a seguir:

Tabela 2. Modelo de planilha para classificação dos itens.

(a) Nº do Item	(b) Utilização	(c) Ambiente	(d) Local	(e) Itens apontados	(f) Sistema pertencente	(g) Origem	(h) Observações referentes à origem	(i) Etapa	(j) Status de atendimento do desempenho atual - aparente	(k) Status de atendimento do desempenho - prognóstico	(l) Grau de manutenção

Fonte: elaborada pela autora (2020).

Sendo: (a) número do Item: simples numeração; (b) utilização: se trata-se do local comercial ou residencial; (c) ambiente: local de ocorrência em nível macro, como fachada ou cobertura; (d) local: em que elemento ocorreu, como: parede, piso; (e) itens apontados: variável que descreve as anomalias e falhas apontadas que foram analisadas; (f) sistema pertencente: em qual sistema da edificação ocorreu a anomalia ou falha, como estrutural ou alvenaria. (g) origem: endógena, exógena, natural, funcional ou falha, conforme discriminados no referencial teórico; (h)

observações complementares do item g; i) etapa: em qual das cinco fases pode ter surgido o dano (projeto, fabricação de materiais, execução da obra, sistema de gestão da qualidade e utilização do usuário); (j) status do atendimento do desempenho atual - aparente: define se atualmente há ou não perda de desempenho (k): indica-se se o prognóstico é de que haja perda de desempenho e (l) grau de manutenibilidade, indica se o item é manutenível, não manutenível ou é substituível. Após, para cada item aplicou-se a matriz GUT.

3.2 Descrição da empresa e do empreendimento

A construtora dedica-se a construir imóveis de médio e alto padrão, projetados para diversas finalidades e possui atuação na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

O empreendimento “A” foi projetado para uso comercial e residencial, com uma área de 17.801,91 m², composto por 02 torres, uma comercial e outra residencial. A torre comercial é composta por 15 andares e dispõe de 05 lojas, 120 salas comerciais, 90 vagas de estacionamento para veículos, depósito condominial, sala dos medidores, lavabo, sala de reservatórios e bombas, sala de máquinas dos elevadores, reservatórios superiores, circulações e escadas. Já a torre residencial também composta por 15 andares, dispõe de 44 apartamentos, salão de festas, fitness, brinquedoteca, apartamento de zelador, vestiários masculino e feminino, piscinas, playgrounds, áreas de lazer externas, depósitos condominiais, guarita, vestiário de funcionários, sala de pressurização da escada, sala dos medidores, sala de reservatórios e bombas, sala de máquinas dos elevadores, reservatórios superiores, circulações e escadas. O sistema construtivo é composto por lajes, vigas e pilares com suas paredes externas executadas em blocos cerâmicos de vedação e obtiveram suas cartas de habitação expedidas no mês de agosto do ano de 2014. As edificações possuem idades iguais de 05 anos e contam com uma garantia contratual de 05 anos por parte da construtora em questão.

4. RESULTADOS

Inicialmente, analisou-se o local de ocorrência dos danos. Ao todo, foram 166 itens relatados. Destes, 92 itens ou 55% ocorreram na parte comercial do empreendimento. Embora a edificação de uso comercial disponha de menor quantidade de áreas de uso comum, se comparado com a edificação de uso residencial, onde se normalmente tem-se um uso mais intenso das áreas condominiais, como salão de festas, brinquedoteca (freqüentadas por crianças), piscina (item potencial de anomalias), a edificação de uso residencial ainda assim apresenta um menor número de itens registrados.

Dando sequência à análise, verificou-se o sistema pertencente, gerando os resultados apresentados na Tabela 3.

A partir da Tabela 3 é possível perceber que as anomalias e falhas identificadas se manifestaram praticamente nos mesmos sistemas nas duas edificações, em proporções diferentes. O principal sistema em termos de danos foi o revestimento argamassado. Na edificação comercial esse sistema foi responsável por 31,5% das ocorrências, e no residencial de 25,7%. Este é um valor bastante relevante se comparado com os percentuais dos demais 14 sistemas possíveis de apresentar anomalias e falhas. Tal resultado já se era esperado, pois conforme Ferreira (2010) os revestimentos argamassados são utilizados em grande volume nas edificações e em decorrência disto, é freqüente a ocorrência de manifestações patológicas, o tornando assim, um dos sistemas mais danificados. Pereira, Brito e Silvestre (2020) pontuam que, tratando-se de revestimento de

fachadas diversos são os danos passíveis de ocorrência, o que decorre da presença do elemento estrutural em área exposta a diversos danos, com a presença do intemperismo, por exemplo.

Tabela 3. Percentual de anomalias e falhas por sistema.

Comercial		Residencial	
Revestimento argamassado	31,5%	Revestimento argamassado	25,7%
Esquadrias	10,9%	Estrutural	12,2%
Piso, azulejo ou pedras naturais	9,8%	Estrutura metálica	10,8%
Estrutura de madeira	7,6%	Esquadrias	10,8%
Pintura	6,5%	Reservatório	6,8%
Estrutura metálica	6,5%	Contrapiso	6,8%
Instalações hidráulicas	5,4%	Outros	5,4%
Contrapiso	5,4%	Estrutura de madeira	5,4%
Estrutural	4,3%	Piso, azulejo ou pedras naturais	4,1%
Reservatório	3,3%	Pintura	2,7%
Outros	2,2%	Instalações hidráulicas	2,7%
Gesso	2,2%	Instalações elétricas	2,7%
Alvenaria	2,2%	Gesso	1,4%
Instalações elétricas	1,1%	Cobertura	1,4%
Fachada	1,1%	SPDA	1,4%

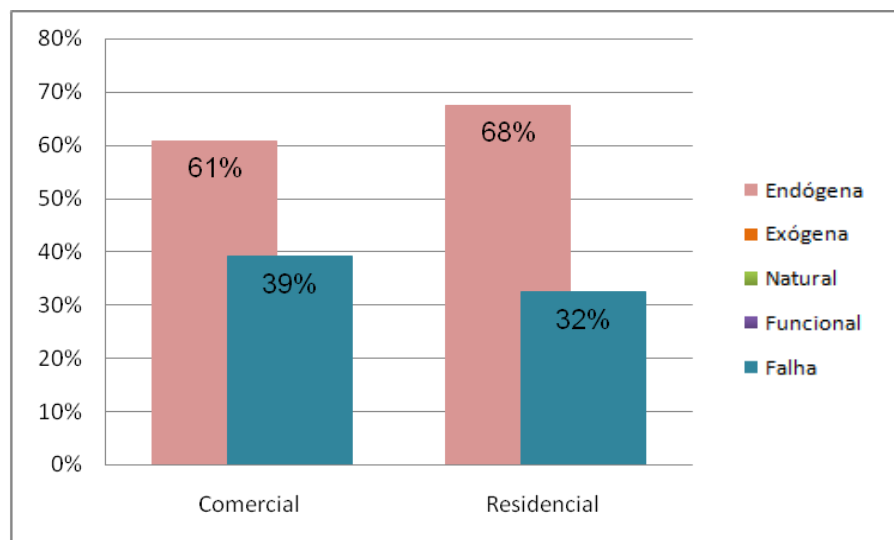
Fonte: elaborada pela autora (2020).

Observa-se que as instalações hidráulicas apresentaram um percentual pequeno se comparado com outros sistemas menos passíveis de anomalias, 5,4% na edificação comercial e 2,7% na edificação residencial. Porém, Assunção, Ferreira e Pina (2011) lembram que os sistemas prediais hidráulicos, muitas vezes se apresentam em percentuais pequenos porque, para que se obtenha resultados mais consistentes torna-se necessário realizar testes mais invasivos ou destrutivos que correspondem a períodos maiores de observação. Ainda, os percentuais do sistema elétrico também foram baixos, 1,1% no comercial e 2,7% no residencial. Estes resultados podem estar relacionados com o tipo de avaliação que foi realizada durante a inspeção predial: a análise dita sensorial. Esta análise conforme conceitua a NBR 16747 (2020), utiliza-se da percepção dos cinco sentidos: visão, olfato, gustação, tato e audição, e que então não contemplam testes mais específicos que poderiam ter encontrado anomalias ou falhas ocultas, nestes que são sistemas propensos a este tipo vício. Giacomelli (2016) cita que por mais que algumas análises possam ser simples, há complexidade na interpretação e identificação dos sintomas.

4.1 Origem

Buscou-se classificar a origem dos danos nos cinco tipos: endógena, exógena, natural, funcional e falha. A Figura 1 ilustra o cenário correspondente aos percentuais obtidos:

Figura 1. Classificação dos itens quanto à origem



Fonte: elaborada pela autora (2020).

Como pode ser observado, não foram encontradas anomalias oriundas de causas exógenas, naturais e funcionais. No que tange a classificação de origem exógena, não foram detectados indicativos de anomalias decorridas de ações de terceiros como, por exemplo, escavações de obras vizinhas ou outros. Também não foram registrados sinistros decorrentes de causas naturais, como tempestades, inundações, ventanias ou outros de mesma origem. Considerando a vida útil da edificação, há pequena probabilidade de que pudesse ter sofrido dano nesse período, o que não isenta a possibilidade de ainda ocorrer.

Quanto a não terem sido classificadas anomalias de origem funcional, atenta-se ao fato de não terem sido encontradas evidências que justificassem que os sintomas apontados nos itens ou sistemas, estariam relacionados ao término da vida útil, já que as edificações possuem idades de apenas 05 anos e a maior parte dos itens não acarreta na perda de desempenho. Peres (2001), aponta ainda que anomalias funcionais são decorrentes do longo período de uso das edificações.

Ao serem analisadas classificações de origem endógena e falha, pode-se entender conforme define a NBR 16747 (ABNT,2020) que se trata de duas esferas distintas: uma esfera voltada para o âmbito construtivo, endógenas, e outra esfera voltada para manutenção realizada na etapa de utilização dos usuários, correspondente as falhas. É notório a partir da Figura 1 que neste estudo as anomalias de origem endógena, na edificação de uso comercial, representam um percentual significativo, de 61% frente às falhas encontradas. Na edificação residencial este percentual torna-se ainda maior, sendo de 68%. Fica evidente que as anomalias tiveram em sua maioria origem endógena, ou seja, decorrentes de problemas intrínsecos a edificação.

Tal resultado é compatível com outros estudos. Vargas (2016), por exemplo, avaliou uma edificação no RS, com idade de 6 anos, e percebeu que a maior parte das anomalias tinham origem endógena. Cabrita, Coelho e Freitas (2000) apresentaram através de um levantamento realizado em Portugal, que já entre as décadas 70 e 90, as principais anomalias em grandes edificações tinham origens construtivas.

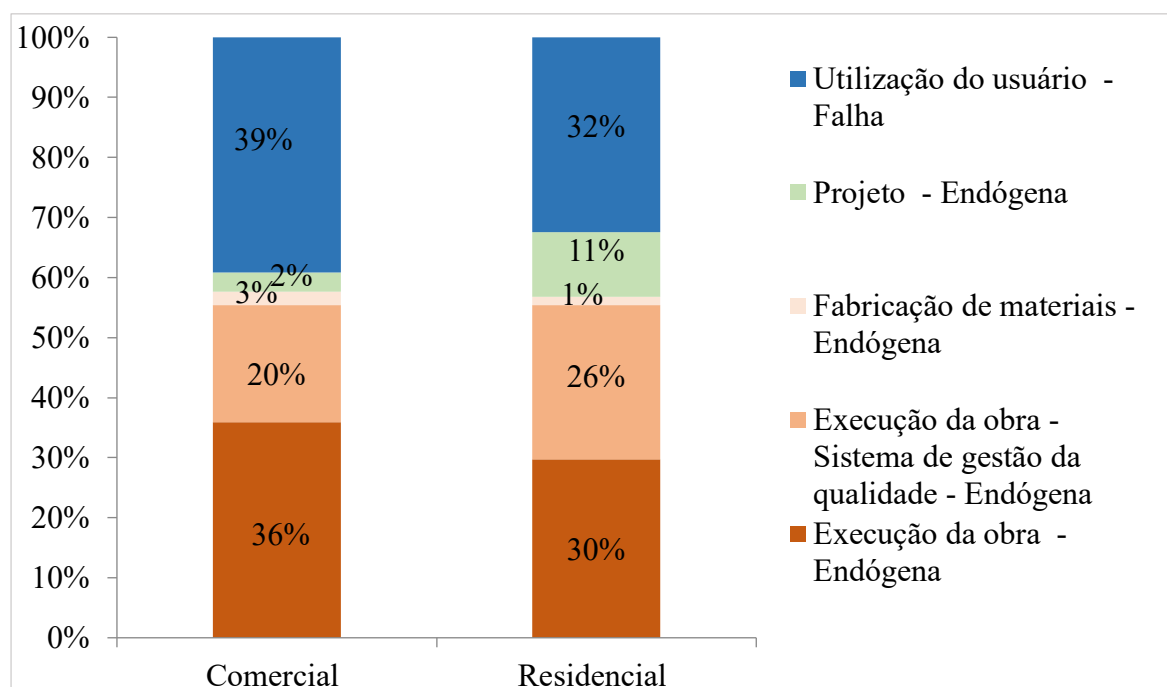
As falhas encontradas decorrentes do uso, manutenção e operação dos usuários, neste estudo de caso, corresponderam a 39% na edificação comercial, e 32% na edificação residencial. Percebeu-

se na análise, que a maioria é devido à falta de periodicidade nas manutenções dos sistemas. Embora encontradas em menor quantidade, as falhas oriundas de manutenção não devem ser menosprezadas, já que conforme Pujadas, Silva, Kalil e Francisco (2015) um estudo realizado pelo IBAPE/SP em 2009 aponta que a incidência de acidentes prediais provenientes de falhas de manutenção e uso correspondem a 66% se comparados com acidentes oriundos de anomalias construtivas.

4.2 Etapa

Após terem sido classificados os itens de acordo com a sua origem, em uma análise mais detalhada, foi possível verificar a etapa mais provável em que o problema ocorreu, vide Figura 2.

Figura 2. Origem x etapa.



Fonte: elaborada pela autora (2020).

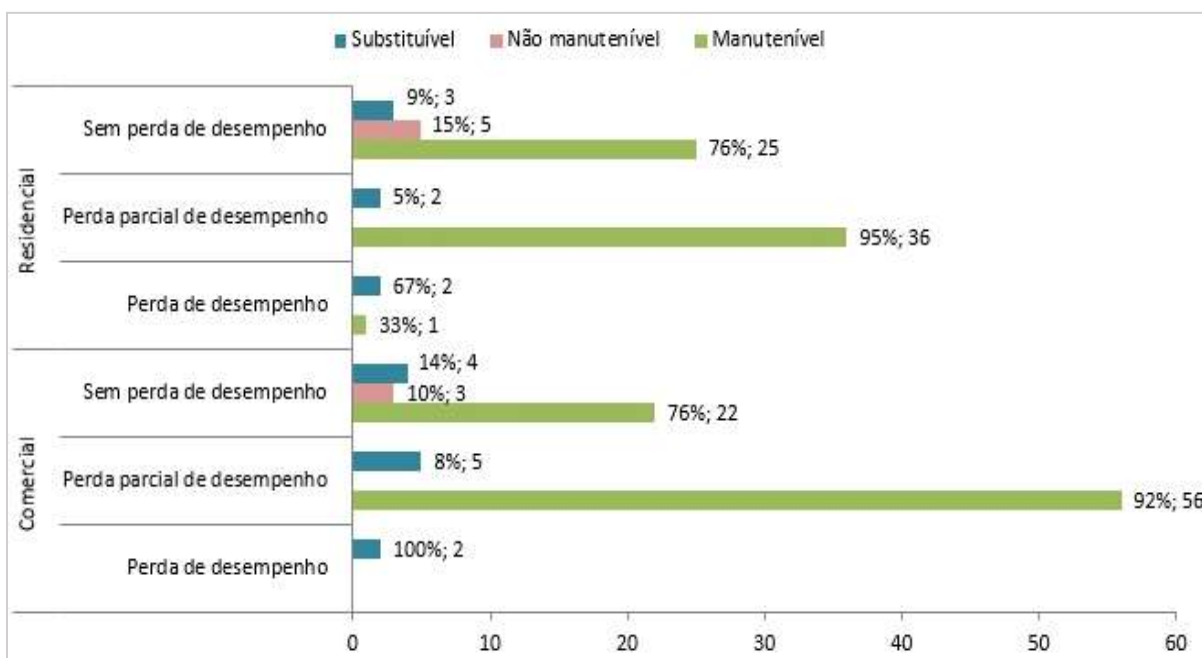
Pode-se constatar que as anomalias endógenas tiveram, em ambas as edificações, predominantemente suas origens na etapa de execução da obra, sejam elas provenientes do sistema de gestão da qualidade ou das demais fases de execução da obra. Santos, Silva e Nascimento (2017) citam que a maior parte dos danos verificados em seu estudo poderiam ter sido minimizados ou até mesmo impedidos se existisse um programa de controle de qualidade mais eficaz. Salienta-se que se somadas estas duas etapas mais relevantes, há um percentual de 56% em ambas as edificações de anomalias oriundas do processo construtivo.

A etapa de utilização do usuário indicou um percentual de 39% na edificação de uso comercial e 32% na edificação de uso residencial. Waldhelm (2014) apontou resultados semelhantes, com percentuais por etapas correspondentes a: 64% execução, 27% manutenção, 6% materiais e 3% projeto. Cabe destacar que embora com pequenas variações de percentual ainda assim a etapa de execução se apresenta de forma bastante expressiva em ambos os estudos.

4.3 Desempenho x Manutenção

Analisou-se para esses resultados elementos que apresentaram perda de desempenho, ou seja, de funcionalidade. Ao que se refere ao grau de manutenção, considerou-se o estipulado pela NBR 15575, em relação aos manuteníveis, substituíveis e não manuteníveis. A Figura 3 apresenta os resultados.

Figura 3. Status de desempenho atual x Percentual de grau de manutenção.



Fonte: elaborada pela autora (2020).

Para Rodrigues e Teixeira (2006) e Villanueva (2015) para alcançar esta relação desempenho x manutenção deve-se estabelecer compromissos desde a fase de planejamento, projeto e construção, através de escolhas de materiais de boa qualidade, sistemas e processos que sejam atrelados as expectativas dos usuários bem como facilidade de reparos ou até mesmo substituições de itens quando necessário.

Pode-se observar na Figura 3, que predominantemente tanto na edificação de uso comercial como na edificação de uso residencial, houve mais itens com perda parcial de desempenho. Como pode ser verificado, estes itens correspondem a 38 na edificação de uso residencial e 61 na edificação de uso comercial, frente à segunda classificação que se apresentou mais relevante: os itens que não apresentaram perda de desempenho. Estes corresponderam a 33 itens na edificação de uso residencial e 29 na edificação de uso comercial.

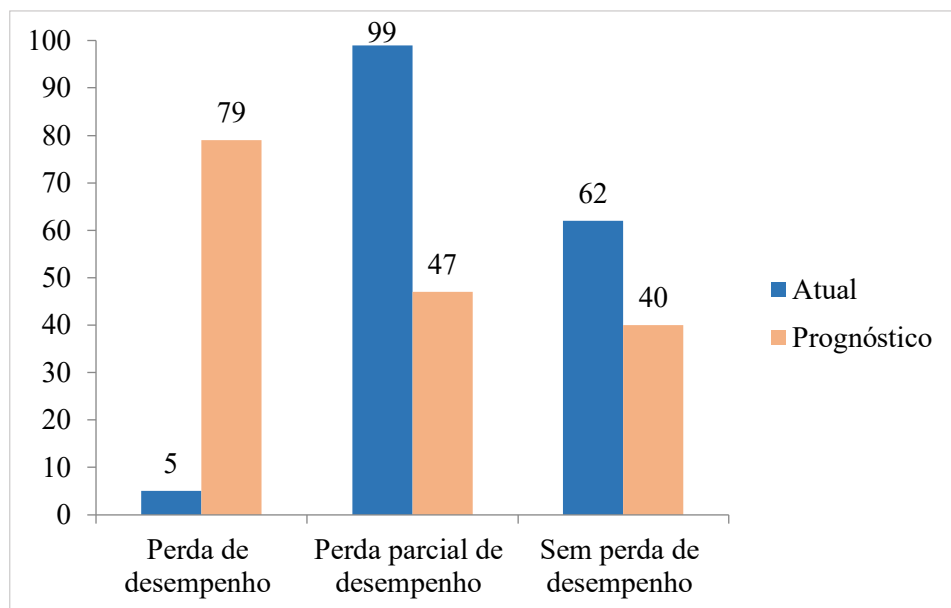
Entre as duas edificações apenas 5 itens apresentaram perda de desempenho total nos seus sistemas.

Pode-se observar também que dos itens que apresentaram perda parcial de desempenho na edificação de uso comercial, 92%, ou seja, 56 itens são passíveis de manutenção e na edificação de uso residencial este número corresponde à 95%, ou seja, 36 itens são passíveis de manutenção. Aponta-se ainda que os itens classificados como não manuteníveis, nas duas edificações, não apresentaram perdas de desempenho. Já os itens classificados como substituíveis apresentaram todos os graus de desempenho: perda, perda parcial e sem perda de desempenho, nas duas edificações. Para Villanueva (2015) a maior vida útil das edificações somente será alcançada se

houver uma manutenção adequada durante a fase de utilização dos usuários, a qual a responsabilidade principalmente faz parte de uma gestão predial eficiente.

Ao serem consideradas as hipóteses de evolução dos problemas, relatados no relatório de inspeção predial, caso não sejam realizadas intervenções capazes de reverter, minimizar ou estancar o quadro, provavelmente, como pode ser observado através da Figura 4, se terá uma evolução significativa de itens que não apresentaram perda ou apresentaram perda parcial, para itens que apresentarão perda total no seu desempenho.

Figura 4. Comparativo de desempenho atual e prognóstico



Fonte: elaborada pela autora (2020).

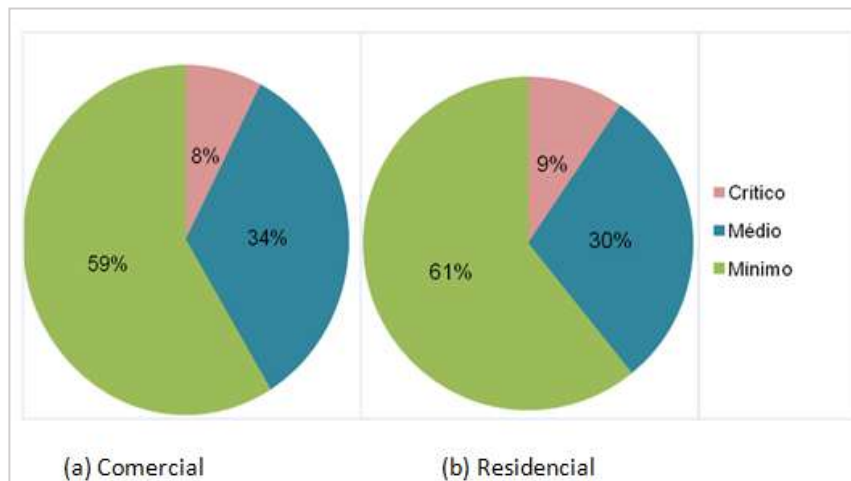
Percebeu-se que atualmente apenas 5 itens apresentam perda de desempenho, porém, caso não sejam realizadas ações corretivas este número aumentará para 79 itens, ou seja quase 50% dos 166 itens hoje apontados, apresentarão perda significativa de suas funcionalidades. A outra parcela ficará diluída entre itens que evoluirão ou se manterão com perda parcial, e 40 itens correspondentes a 24%, que irão se manter sem perda de desempenho.

Tais resultados comprovam a tese levantada por Harris (2001) de que a ausência de medidas rápidas e eficientes para controlar o processo de deteriorização das edificações e seus elementos, impacta diretamente nos custos aplicados e na profundidade das intervenções a serem realizadas, chegando inclusive na necessidade de medidas mais severas consistindo na manutenção, reparo e reabilitação de praticamente todos os elementos da estrutura.

4.4 Hierarquização das intervenções sob a ótica técnica

Diante da aplicação da matriz GUT nos itens verificados na edificação, as notas foram atribuídas e os danos classificados. Os resultados são apresentados na Figura 5.

Figura 5. Grau de criticidade dos itens.



Fonte: elaborada pela autora (2020).

Com base na Figura 5a é possível identificar que predominante as anomalias e falhas apontadas na edificação de uso comercial não apresentam riscos aos usuários, já que 59% dos itens apontados tem grau de risco mínimo. Já 8% dos itens correspondentes a 7 itens de 92 itens apontados, foram classificados como grau de risco crítico, que de alguma forma acarreta danos seja aos usuários, ao meio ambiente ou a sociedade em que a edificação está inserida.

Na análise da edificação de uso residencial (Figura 5b) também houve predomínio de risco mínimo, com 61%. O risco crítico apresentou 9% dos itens apontados. Pode-se então concluir que predominantemente os itens apontados nas duas edificações acarretam grau de risco mínimo aos usuários. Não devem, no entanto, ser ignorada a sua intervenção, considerando-se o prognóstico da sua evolução.

Giacomelli (2016) aponta a pertinência em apresentar uma hierarquia baseada no risco, minimizando os danos e o impacto causado pela decorrente manifestação.

Para Watt (1999), considerando o futuro das edificações bem como seus recursos disponíveis, torna-se necessário apontar o prognóstico das manifestações patológicas diagnosticadas a fim de estabelecer a conduta mais apropriada das intervenções. Para fundamentar a classificação dada, além de ser considerado o produto obtido pelo método GUT, foram levantadas hipóteses de evolução do problema conforme exposto na coluna “r”.

5 CONCLUSÃO

Nesse estudo foi possível perceber que quanto à origem dos danos, houve predominância de causas endógenas, principalmente oriundos da etapa de execução da obra, nas duas edificações. Isso pode indicar falta de qualificação da mão de obra, falta de condições no ambiente de trabalho, curtos prazos para entregas dos serviços e da obra, gestão técnica insuficiente dos serviços que são executados e falhas nos treinamentos que são designados para as equipes de execução.

Ao que refere-se ao status de desempenho em relação a manutenção dos itens apontados, fica evidente que independente a quem seja atrelada a responsabilidade da correção dos problemas, se forem realizadas manutenções corretivas nas edificações o quadro do status aparente de desempenho dos sistemas, que hoje apresenta em sua maioria perda parcial, seja provavelmente revertido recuperando assim as funcionalidades e melhorando a habitabilidade dos usuários em ambas as edificações.

Ainda pode-se concluir que a inspeção predial é uma ferramenta importante na identificação das manifestações patológicas na edificações, e que a partir dela pode-se realizar análises que atestem o grau de risco que as mesmas e seus sistemas impõem aos usuários. Neste estudo de caso as duas edificações apresentaram em sua maioria itens com grau de risco mínimo.

No que tange a utilização do método GUT para a definição da ordem de prioridade para as intervenções a serem realizadas, é notório a eficácia de sua aplicabilidade, já que a partir dele tornou-se possível realizar a hierarquização das intervenções, mesmo que em grande quantidade. Apesar de alguns graus de priorização terem contemplado mais de uma manifestação patológica pode-se notar que estas apresentavam semelhanças em seus diagnósticos e até mesmo níveis de deterioração dos elementos das edificações.

Por fim pode-se verificar que as duas edificações embora utilizadas para usos distintos apresentaram resultados bastante semelhantes em todas análises realizadas provavelmente por terem sido projetadas e construídas pela mesma empresa, e atualmente por serem dirigidas pela mesma administradora de condomínio, convergindo assim para as mesmas condições técnicas de uso, operação e manutenção.

Baseando-se nos resultados encontrados pode-se concluir que a justificativa apresentada para o desenvolvimento deste trabalho é válida e corrobora com a importância do estudo realizado por Vieira (2016) nesta área da engenharia civil, visto que foi possível mapear as falhas decorrentes de cada etapa que envolve o processo de concepção das edificações, desde a fase de projeto até a fase de uso, podendo ser agravado pela manutenção inadequada das edificações.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ricardo. **Manifestações patológicas em prédio escolar: uma análise qualitativa e quantitativa**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNTNBR 15575: Edificações habitacionais – desempenho – parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **ABNT NBR 5674: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **ABNT NBR 16747: Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSUNÇÃO, Ricardo Silva; FERREIRA, Gustavo Vaz; PINA, Henrique Ducatti de. **Levantamento de manifestações patológicas nos sistemas prediais hidráulicos**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiania, 2011.

CABRITA, Antonio Reis.; COELHO, Antonio Baptista.; FREITAS, M. Joao (2000). Gestão Integrada de Parques Habitacionais de Arrendamento Público – guião recomendativo. LNEC. Intervenção Operacional Renovação Urbana – IORU. Lisboa. 2000.

FERREIRA, Beatriz Bernardes Dias. **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FREIRE, Altair. **Patologias nas edificações públicas do Paraná**: estudo de caso da unidade escolar padrão 023 da super intendência de desenvolvimento escolar - sude. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Construção de Obras Públicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GIACOMELLI, Delane Vieira. **Principais patologias encontradas nos prédios da UFSM executados pelo programa REUNI - CAMPUS SEDE**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

HARRIS, Samuel Y. **Building Pathology: deterioration, diagnostics, and intervention**. Nova York: John Wiley & Sons, 2001.

HELENE, Paulo. Vida útil das estruturas de concreto. In: IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (CONPAT 97), Porto Alegre, 1997. **Anais...** Porto Alegre: 1997.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE). **Norma de Inspeção Predial**. São Paulo, 2012.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo - IBAPE/SP (São Paulo). **Inspeção predial: por que é tão importante saber o que é?** .2011.

LICHTENSTEIN, Norberto B. **Patologia das Construções**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1986. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – 06/86).

PEREIRA, Clara; BRITO, Jorge de; SILVESTRE, José D. **Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in façade renders**. Lisboa, 2020.

PERES, Rosilena Martins. Levantamento de manifestações patológicas em prédio histórico: um estudo de caso. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001

PUJADAS, Flávia Zoéga Andreatta; SILVA, Gerson Viana da; KALIL, Marli Lanza; FRANCISCO, Vanessa Pacola. **Inspeção predial: "a saúde dos edifícios"**. 2. ed. São Paulo: 2015.

RODRIGUES, Maria Fernanda; TEIXEIRA, José M. Cardoso. **Building pathologies in social housing: the portuguese state of art.**, Portugal, 2006.

SALDANHA, Marcelo Suarez. **Checkup predial: como prevenir acidentes**. Porto Alegre: Ibape-rs, 2011. 140 slides, color.

SANTANA, Ava Brandão. **Proposta de avaliação dos sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

SANTOS, Cleyton Roberto Bezerra dos; SILVA, Dione Luiza da; NASCIMENTO, Ismaylly Michel Silva do. Incidência de Manifestações Patológicas em Edificações Residenciais na Região Metropolitana do Recife (RMR). **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, p. 76-83, jan. 2017.

SILVA, Adriano de Paula.; JONOV, Cristiane Machado Parisi. **Manifestações patológicas nas edificações**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

SOTILLE, M.A. **A Ferramenta GUT – Gravidade, Urgência e Tendência**. PMTECH Capacitação em projetos, 2014.

SOUZA, Roberto de; ABIKO, Alex. **Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**: 1.ed. São Paulo: Pini, 1998.

TUTIKIAN, Bernardo; PACHECO, Marcelo. **Boletín Técnico – Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil**. Merida, 2013.

VARGAS, Edson de Almeida. **Laudo técnico de patologias**. Uri – Universidade de Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Frederico Westphalen: 2016.

VIEIRA, Matheus Assis. Patologias Construtivas: conceito, origens e método de tratamento.. **Revista Especialize On-line Ipog**, Uberlândia, v. 01, n. 12, p. 1-15, jan. 2016. Semestral.

VILLANUEVA, Marina Miranda. A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

WALDHELM, Caroline. **Manifestações patológicas em unidades habitacionais de baixo padrão do Jardim Columbia em Londrina-PR**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Edificações, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

WATT, David S.. **Building pathology: principles and practice**. 2. ed. London:1999.301p..

Modelo para especificar, ejecutar y controlar la impermeabilización de cubiertas planas en concreto reforzado construidas en la ciudad de Bogotá.

C. Chinome^{1*}, C. Rios-Fresneda²

*Autor de Contacto: cchinome@unal.edu.co

¹ Estudiante maestría en construcción, facultad de artes, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

² Profesor Universidad Nacional de Colombia, Grupo de investigación de estructuras, facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

RESUMEN

La investigación realizada tiene como objeto evaluar un modelo diseñado para optimizar la impermeabilización de cubiertas de tipo plana en concreto, con conocimiento de las características de las tecnologías disponibles y unifique como solución el criterio de reducción de la permeabilidad del concreto y la aplicación del recubrimiento impermeable como un solo sistema que trabaje en conjunto. El modelo establece un compendio de criterios como una “guía paso a paso” que será de gran utilidad para los constructores. Su diseño metodológico se basa en la investigación proyectual, modelos sistémicos y la experiencia del ejercicio profesional de los autores. Se concluye que el modelo propuesto permitirá que la cubierta de tipo plana no cumpla su vida útil antes del tiempo esperado.

Palabras clave: Impermeabilización, concreto, recubrimiento, especificación, control.

RESUMO

O objetivo da investigação realizada é avaliar um modelo desenhado para otimizar a impermeabilização de coberturas planas em concreto, com conhecimento das características das tecnologias disponíveis e unificar como solução o critério de redução da permeabilidade do concreto e a aplicação do revestimento impermeável, como um sistema único que funciona em conjunto. O modelo estabelece um compêndio de critérios como um “guia passo a passo” que será de grande utilidade para os construtores. Seu desenho metodológico é baseado na pesquisa de projetos, modelos sistêmicos e na experiência da prática profissional dos autores. Conclui-se que o modelo proposto permitirá que a cobertura do tipo plano excede a expectativa de vida esperada.

Palavras-chave: Impermeabilização, concreto, revestimento, especificação, controle

ABSTRACT

The purpose of the research carried out is to evaluate a model designed to optimize the waterproofing of flat roofs in concrete, with knowledge of the characteristics of the available technologies and to unify as a solution the criterion of permeability reduction of concrete and the application of the waterproof coating as a single system that works together. The model establishes a compendium of criteria as a “step-by-step” guide that will be of great use to builders. Its methodological design is based on project research, systemic models, and the experience of the authors' professional practice. It is concluded that the proposed model will allow the flat roof to

exceed the expected useful life.

Keywords: Waterproofing, concrete, coating, specification, control.

1. INTRODUCCIÓN

Las cubiertas planas en concreto reforzado son construidas como cerramiento de la parte superior del edificio y en su geometría no se contemplan pendientes superiores al 5%. Las cubiertas deben garantizar un nivel de servicio adecuado para la exposición al medio ambiente que le rodea, los niveles de cargas de diseño y a los cambios climáticos que se presentan (Monjo & Maldonado, 2001; Gonçalves et al., 2019).

Estos elementos estructurales de la edificación son, desde el punto de vista ingenieril, encargados de transmitir fuerza a los elementos verticales del sistema estructural. Su diseño debe soportar su propio peso, cargas por elementos no estructurales de acabados, cargas vivas, cargas por empozamiento de agua, cargas por granizo, vibraciones de equipos y las acciones dinámicas derivadas por un sismo. Además de un correcto diseño estructural, la cubierta debe considerar el correcto diseño de la mezcla de concreto, teniendo en cuenta el grado de exposición del medio ambiente y cumpliendo los requisitos de durabilidad necesarios para su correcto funcionamiento, (AIS 100, 2010).

Las edificaciones desde el punto de vista arquitectónico están compuestas por un sistema que contribuye a mediar entre lo inestable de por fuera y lo estable de adentro del edificio; este sistema se conoce como envolvente. La envolvente se compone de todas las uniones de muros exteriores, cubierta, aleros o voladizos, cimentación, vanos, aberturas acristaladas y sistemas de drenaje (Fernández, 2006). La cubierta en concreto reforzado es un elemento que hace parte de la envolvente del edificio (Pedrosa & Del Río, 2018); por tal motivo es necesario no solo tener un criterio estructural en su diseño, sino también la visión del confort que debe generar la cubierta a sus usuarios.

Las cubiertas en concreto reforzado son un hito para el proyecto de construcción, que en la práctica se suele subestimar y se ejecuta sin revisar el proceso constructivo en sus diferentes etapas. Por ejemplo, una mala práctica en el proceso de impermeabilización en la cubierta traerá como consecuencia lesiones físicas, la aparición de filtraciones y el acortamiento de la vida útil.

Las filtraciones son un fenómeno que suele ser visto en distintas perspectivas. El cliente o usuario observa la filtración como una “gotera” que afecta su comodidad y puede dañar sus muebles. El constructor lo ve como una garantía que debe soportar con el fin de evitar la ejecución de una póliza de estabilidad. El aplicador de impermeabilizantes lo ve como una postventa que debe solucionar para poder cobrar su retención de dinero por garantía. Un especificador experimentado ve el fenómeno como una lesión física que genera lesiones mecánicas y lesiones químicas en la estructura de concreto y que trae como principal consecuencia la afectación de la estabilidad y reducción de la vida útil de la cubierta y como posteriormente la afectación de la comodidad y confort del usuario.

Cuando la cubierta es el objeto de estudio de una investigación y esta hace parte de la envolvente de la edificación, necesariamente las lesiones dentro de ella harán parte de los principales propósitos de una auscultación, y por ello las filtraciones en cubiertas de concreto reforzado se definen como un tipo de lesión física que se manifiesta porque el agua atraviesa la sección transversal antes de ser evacuada por el sistema de drenaje. El agua puede entrar y atravesar las cubiertas de concreto por sus intersticios, al tener alta permeabilidad en la superficie porosa o por lesiones mecánicas como grietas y fisuras que permiten el paso de este líquido.

Una clasificación inicial de las filtraciones (Carretero, et al., 2017) se presenta de este modo:

- **Filtración localizada:** Penetración de agua a través de puntos débiles de un elemento constructivo, de forma aislada (situada en puntos específicos).
- **Humedad por filtración:** Entrada y / o presencia de agua por puntos débiles de una construcción elemento, de forma generalizada (situado en superficies más extensas).

La condición de diseño deseada para garantizar que la cubierta funcione correctamente es la estanqueidad, o capacidad de impermeabilización ante la lluvia (Carretero & de Brito, 2016). Si la cubierta no cuenta con esta condición, el agua accede a través de la sección transversal, dando paso a potenciales lesiones que inician las filtraciones. Para evitar que esta situación suceda es importante contar con una combinación de tecnologías dispuestas para lograr una impermeabilización óptima, las cuales se deben especificar y presupuestar antes de iniciar un proyecto de construcción (Rodríguez, et al., 2004).

La prevención de las filtraciones suele ser subestimada. Una vez ocurren propietario y constructor suelen no dimensionar el conjunto de consideraciones técnicas y económicas que se deben tener para solucionar el problema. Las tecnologías disponibles para prevenir y corregir las filtraciones se componen de un conjunto de criterios establecidos para cada etapa de la impermeabilización e interrumpir el paso del agua. Enfatizar en el estándar mínimo necesario para la calidad del proceso constructivo de impermeabilización, es la principal motivación para emprender la investigación presentada y brindar así un aporte al conocimiento.

2. ESTRUCTURA EN LA TIPOLOGÍA DEL MODELO PROPUESTO

Las cubiertas bien especificadas deben cumplir como mínimo con un recubrimiento impermeable. Sin embargo, para las solicitaciones climáticas de algunas ciudades (v.gr. Bogotá) no es suficiente contemplar con un mero recubrimiento y se requiere del apoyo de otros sistemas de impermeabilización adicionales. La propuesta de del modelo propuesto se puede observar en la figura 1.

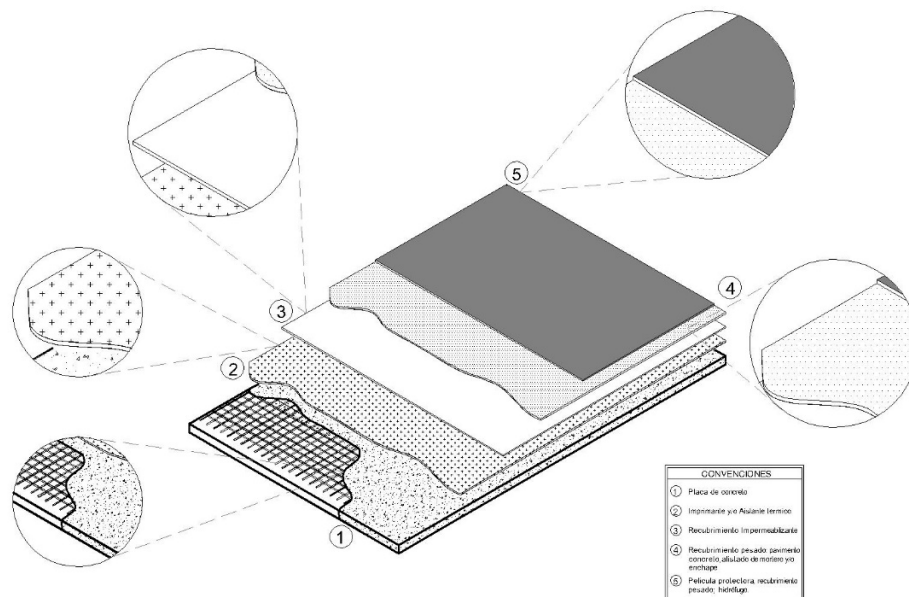


Figura 1: Estructura en la tipología de impermeabilización de cubiertas planas en concreto reforzado del modelo (elaboración Propia)

3. PROCEDIMIENTO

3.1 La investigación proyectual y los modelos sistémicos.

Los proyectos de construcción inicialmente se desarrollaron mediante un pensamiento sistémico que obedece un orden lógico de las cosas. Ese orden se establece mediante unas normas de construcción prescriptivas (García, 2014), para convertir su idealización en una materialización por medio de un proceso constructivo (Monjo, 2005). Este pensamiento se viene implementando desde que se creó la teoría general de los sistemas por Von Bertalanffy (Hernández, 2008; Villate & Tamayo, 2010).

La arquitectura como disciplina ha estado en constante evolución y desarrollo de metodologías para proyectar construcciones en sus diferentes etapas: Diseño, ejecución, control, validación y mantenimiento. Los arquitectos en la realización de proyectos no solo ven el proyectar como una secuencia lógica que se desarrolla mediante un pensamiento mecánico con una serie de pasos con el fin de solucionar un problema, también se interpreta como un pensamiento subjetivo en el que el profesional realiza un especulativo sobre el objeto de estudio y materializa una idea por medio de materiales y procesos constructivos. Esta metodología se conoce como investigación proyectual (Martínez, 2013; Alba, 2016; Salas, 2017; Godinho & Verde, 2017).

El modelo propuesto tiene como fundamento dos corrientes de pensamientos en el desarrollo de proyectos, combinada con la experiencia profesional adquirida en la práctica profesional del autor y las cuales se proponen aquí como lecciones aprendidas (Navarrete, 2016).

3.2. Etapas consideradas en el modelo

La investigación desarrollada propone un modelo de impermeabilización integrado con las siguientes fases: diseño, recomendaciones del proceso constructivo, criterios de aceptación, recomendaciones de mantenimiento y otras opciones para optimizar el proceso de impermeabilización. Las diferentes etapas consideradas se pueden visualizar en la Figura 2.

3.2.1 Diseño

Los sistemas de impermeabilización para cubiertas elaboradas con concreto reforzado requieren de un diseño previo a su intervención. El diseñador de los sistemas de impermeabilización se le conoce como especificador. A partir del “lápiz del especificador” comienza la planeación del sistema de impermeabilización. Un especificador es un profesional de la ingeniería civil, arquitectura o construcción con experiencia en materiales y en aplicaciones, que tiene la responsabilidad de definir la materialidad y secuencia del proceso constructivo del sistema de impermeabilización (Racusin, 1989).

Al culminar el proceso de diseño se debe el entregable es un plano de intervenciones con: dimensiones de los elementos, tipo de material con normativa aplicable para cada especificación, un documento que contiene el presupuesto y una memoria técnica del proceso constructivo, con las respectivas recomendaciones para la intervención (García, 2017; Racusin, 1989).

3.2.2 Funcionalidad

Al considerar la funcionalidad de la cubierta se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos: Las condiciones del medio ambiente donde se emplazará el recubrimiento de la cubierta. Existen notorios efectos del cambio climático en varias ciudades del mundo.. Como ejemplo de lo anterior se pueden citar las lluvias con granizo que Bogotá experimento entre 2019 y 2020. La obstrucción de drenajes, y los daños parciales en las cubiertas se convirtieron en los orígenes de filtraciones

no previstas.(Peña & Pabón, 2020). Los recubrimientos de la estructura de concreto reforzado y los sistemas de drenaje deberán soportar entonces solicitaciones unas mayores exigencias de precipitaciones y granizadas (Ruggiero & Rutila, 1990).

Un segundo aspecto para considerar por quien especifica es el tipo de tráfico que debe tolerar la cubierta: tráfico peatonal permanente u ocasional o tráfico vehicular. También se debe considerar si el diseño es para obra nueva o para una intervención preventiva o correctiva. (Ruggiero & Rutila; Racusin; Wohl & LaFraugh 1990).

Una solicitud tan exigente como las anteriores corresponde a los efectos de los asentamientos diferenciales sobre la cubierta. Este fenómeno puede causar agrietamientos y fisuras en las cubiertas. Su aparición puede aducir un gran número de razones: Suelos expansivos, diseños geotécnicos insuficientes, están dentro de las más comunes. Suele citarse la expansión como el término que describe los cambios volumétricos del suelo donde se emplaza la estructura de cimentación. Sin embargo, el efecto en cualquier caso es el mismo: daño estructural, sin que la cubierta escape a ello. Cuando se evidencia que la edificación tiene diferenciales en sus ejes de apoyo y estos no alcanzan a ser resistidos uniformemente por la estructura, surge la necesidad de, emplear recubrimientos no adheridos a la placa. De lo contrario se habrá especificado equívocamente (Ruggiero & Rutila, 1990).

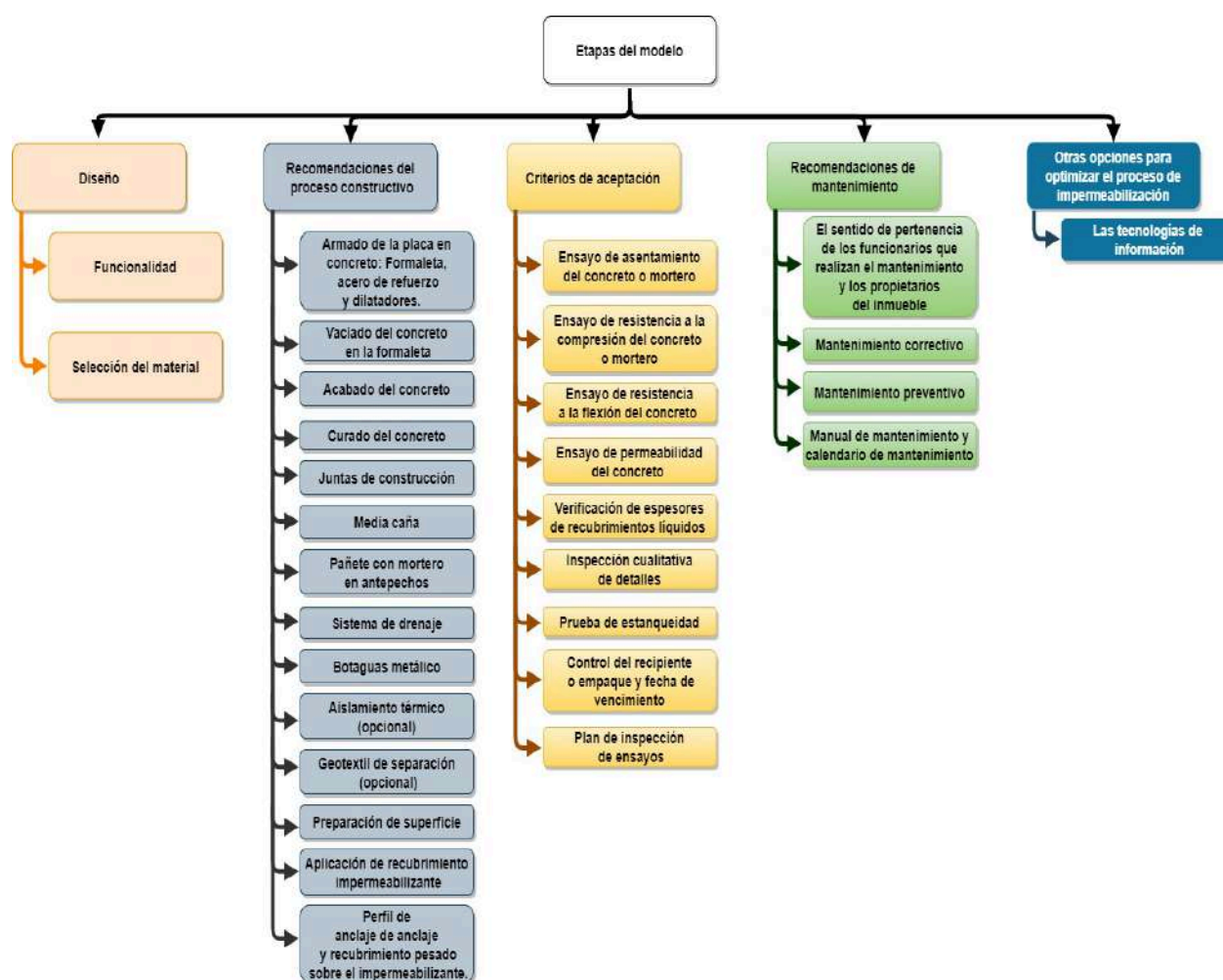


Figura 2: Etapas consideradas en el modelo (elaboración Propia)

3.2.3. Materialidad

Las cubiertas también requieren un especial detallado en la selección de materiales. Estos deben cumplir las condiciones de calidad suficientes para cumplir el propósito para el cual se va a emplear (Arredondo; Ruggiero & Rutila; Racusin, 1990). Algunas recomendaciones para tener en cuenta en el modelo propuesto son:

El concreto que constituya la cubierta debe reducir su permeabilidad con el fin de tener una estructura que sea durable. Para lograr que el concreto reduzca su permeabilidad se puede considerar: aumentar la resistencia a la compresión del concreto (Comité ACI 201, 2012; Montejo, et al.,2013; Matallana 2019), utilizar aditivos y/o materiales cementicios complementarios en la mezcla, o realizar un cuidadoso proceso de curado Comité ACI 201; Matallana, 2019; Pillai, et al.,2020).

El reducir la permeabilidad del concreto se puede considerar como un sistema colaborante esencial, que puede complementarse con el uso de un recubrimiento adicional en la parte superior de la sección de la cubierta. El uso de recubrimientos para protección de superficies en concreto es también una alternativa para alargar la vida útil de estructuras expuestas, disminuyendo el riesgo ante la penetración de agentes agresivos por difusión, migración o absorción capilar (Medeiros et al., 2015).

Algunos autores (Lesur, 2010) clasifican los sistemas de acuerdo con la familia de materiales a la que pertenecen, según su lugar de aplicación y según su temperatura de aplicación. A partir de esta clasificación, se establece una nueva manera de ver los sistemas de recubrimiento sobre el concreto, de la siguiente forma: adheridos, no adheridos y sistemas electrónicos de detección de fugas, como se puede observar en la figura 3.

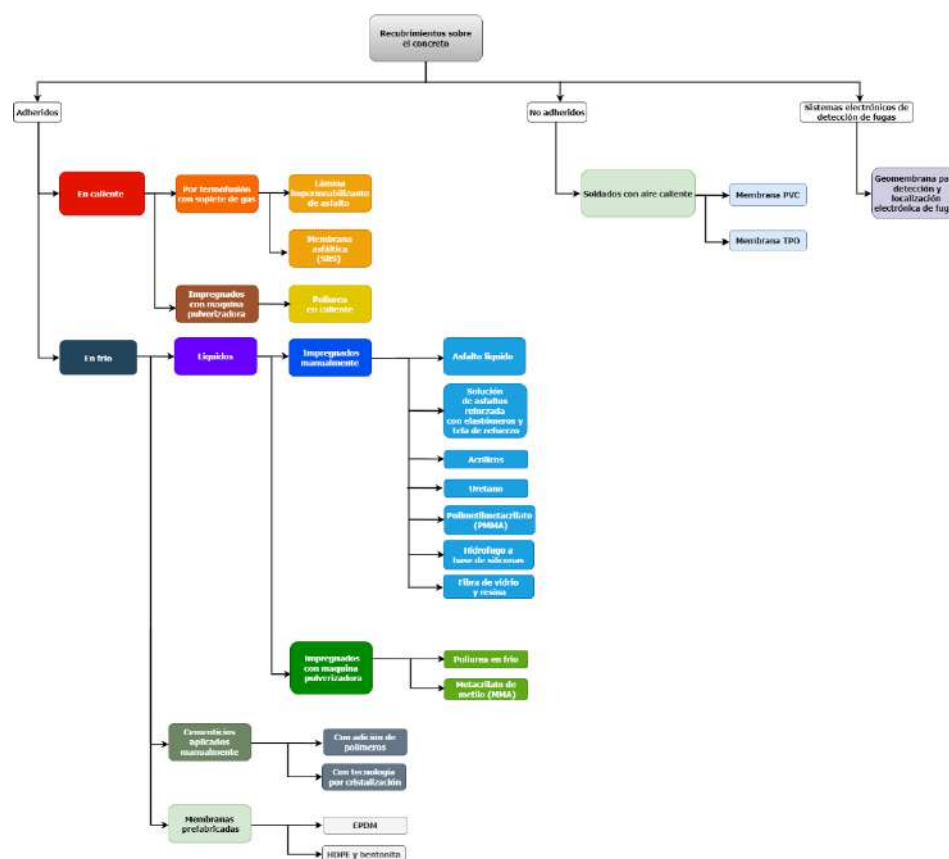


Figura 3: Clasificación de los recubrimientos sobre el concreto (elaboración Propia)

3.3. Recomendaciones del proceso constructivo.

El proceso constructivo es el conjunto de reglas que se deben seguir de forma prescriptiva, con el fin de materializar elementos que conforman un sistema. Este a su vez hace parte del programa arquitectónico de la edificación (Fernández, 2006; García, 2014; Monjo, 2005). El modelo propuesto tiene como salida de la etapa de diseño los planos de detalle, el presupuesto y la memoria descriptiva de las especificaciones; los cuales, a su vez se convierten en el parámetro de entrada para la etapa del proceso constructivo del sistema. Se recomienda rigurosidad en su cumplimiento, con el fin de que el sistema de impermeabilización que se construye sea congruente con el diseño. Antes de iniciar la construcción, es recomendable revisar con el equipo de trabajo los detalles constructivos de los planos, la memoria descriptiva y las fichas técnicas de los materiales especificados. Adicionalmente, es importante conciliar una explicación en una instancia preoperacional por parte del especificador y de un asesor del fabricante de las tecnologías a emplear. Esto va a generar una adecuada transferencia de tecnología, garantizando un entendimiento previo del sistema constructivo que se va a ejecutar (Racusin, 1989).

3.4. Criterios de aceptación

Existen varias opciones para definir un estándar de calidad mínimo. Un ejemplo internacionalmente aceptado y que permite la construcción de un conjunto de criterios mínimos dentro de un sistema de ejecución es la ISO 9001:2015: Sistemas de gestión de la calidad. Cada País tiene una estructura para certificar sistemas y dentro de ellos pueden existir los de las empresas de construcción o supervisión que contemplen listas de chequeo para recibir la construcción de un sistema de impermeabilización. Una organización (v.gr. propietarios, constructores o supervisores) podrá construir una serie de criterios de aceptación y corresponderán al conjunto de parámetros y condiciones deseables que deben ser cumplidos para dar por aceptada la entrega de un producto o servicio, (PMI, 2017). Todo servicio que se preste en un área específica debe llevar un proceso de seguimiento, medición, análisis y evaluación, con el fin de verificar que el proceso realizado cumpla los parámetros preestablecidos. Para aplicar mecanismos de control de calidad en el modelo propuesto el principio de control de variables, control de atributos y no-control (Cortés,2017).

El control de variables consiste en la aceptación o rechazo de un producto a través de la medición de un parámetro de gran importancia, (Cortés,2017). En el modelo propuesto se establecen en esta clasificación la inspección el ensayo de asentamiento del concreto o mortero, el ensayo de resistencia la compresión del concreto o mortero, el ensayo de resistencia a flexión del concreto y la verificación de espesores en recubrimientos líquidos, son buena muestra de ello.

El control de atributos consiste en una clasificación de aceptación o rechazo de un producto por un parámetro de observación cualitativa y no por una medición, (Cortés,2017). En el modelo propuesto se establecen en esta clasificación la inspección cualitativa de detalles y la prueba de estanqueidad.

El no-control de atributos consiste en todo aquello que no se controla directamente por la organización. Por ejemplo, un producto que viene certificado por el fabricante, (Cortés,2017). En el modelo propuesto se aplica no-control para los aditivos, adiciones e impermeabilizantes. En ellos solo se verifica la etiqueta de sello del fabricante, integridad del recipiente o empaque y la fecha de vencimiento.

En los proyectos se debe realizar una planeación de ensayos y criterios de aceptación necesarios para aprobar el servicio o producto, esto se conoce como plan de inspección de ensayos, (AIS 100, 2010; PMI, 2017). En los sistemas de impermeabilización en los numerales anteriores se desarrollaron una serie de criterios de aceptación basados en la normativa legal vigente y experiencia profesional de autor.

El realizar un plan de inspección de ensayos en un proceso de impermeabilización de cubiertas tiene como fin, el verificar la calidad del sistema, (Alba, et al., 2013). Los parámetros del sistema se verifican desde: La materialidad del concreto desde el punto de vista físico y mecánico, la aplicación del recubrimiento, el aspecto cualitativo de los procesos constructivos y la integridad de los productos previo a su aplicación. En la Tabla 1. se presenta la propuesta de plan de inspección de ensayo recomendada para un proceso de impermeabilización de cubiertas planas.

Tabla 1. Plan de inspección de ensayos para el proceso de impermeabilización de cubiertas planas

Nombre del ensayo	Tipo de ensayo	Criterio de aceptación	Responsable de realizar el ensayo	Responsable de verificar los resultados
Asentamiento del concreto (ICONTEC, NTC 396;2017)	No destructivo	2.5 cm y 7,5 cm en concretos convencionales. 455mm y 810 mm de extensión de la mezcla en estado fresco/ Entre 2 segundos y 10 segundos para extenderse 500 mm, para concretos autocompactantes. (Matallana, 2019)	Constructor	Interventor
Resistencia a la compresión del concreto NTC 673 (ICONTEC, 2010)	Destructivo	Mínimo 17 Mpa. Debe coincidir con los diseños establecidos por el especificador y/o diseñador estructural, (AIS 100,2010)	Laboratorio especializado	Interventor
Flexión del concreto NTC 2871 (ICONTEC, 2018; INVIAS 2013)	Destructivo	Debe coincidir con los diseños establecidos por el Ing. Civil especialista en ingeniería de pavimentos (Matallana, 2019; Montejo, Montejo & Montejo, 2013)	Laboratorio especializado	Interventor
Permeabilidad del concreto NTC 4483 (ICONTEC, 1998)	Destructivo	Penetración del agua menor a 30 mm (Matallana, 2019)	Laboratorio especializado	Interventor
Verificación de espesores de recubrimientos líquidos	No destructivo	Debe coincidir con lo establecido por el fabricante y/o especificador	Constructor	Interventor
Inspección cualitativa de detalles	No destructivo	Se rechaza en los siguientes casos:	Constructor	Interventor

		<p>Grietas y fisuras en elementos de concreto o mortero.</p> <p>Delaminación del concreto.</p> <p>Pozos de agua en la cubierta de concreto.</p> <p>agrietamiento o desprendimiento de imprimante o de recubrimiento impermeable.</p> <p>Perdida de adherencia en unión en los traslapes de mantos o membranas (Carretero et al., 2017; Monjo & Maldonado, 2001)</p>		
Prueba de estanqueidad	No destructivo	No se deben presentar filtraciones en un periodo de 24 horas debajo de la cubierta (Osuna, 2016)	Constructor	Interventor
Control del recipiente o empaque y fecha de vencimiento	No destructivo	No debe estar caducado con respecto a la fecha actual	Constructor	Interventor

3.4. RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO

Antiguamente la gestión de proyectos se enfocaba en su desarrollo por etapas: Planear, organizar, ejecutar y controlar. Sin embargo, con el tiempo se fue necesario aclarar que se requieren servicios de mantenimiento o después de la entrega del proyecto. Estas postventas y mantenimientos preventivos o correctivos comenzaron a formar parte del ciclo de vida de los proyectos. Por esa razón, la metodología de dirección del proyecto se considera el mantenimiento como una filosofía que hace parte del proceso y son tenidos en cuenta incluso desde la etapa documental y contractual, (Consortio RehabiMed, 2007; PMI, 2017).

En el caso específico de las cubiertas en concreto reforzado, debemos tomar en cuenta que su estructura y el recubrimiento impermeable estarán expuestas a la intemperie. Por esa razón es importante considerar un proceso de mantenimiento de los elementos que la conforman con el fin de prolongar su vida útil, (Monjo, 1986). Es importante que el mantenimiento inicie según lo especificado y desde el mismo día que se pone en funcionamiento la edificación. En los edificios no se debiese llegar a la rehabilitación precipitadamente pues la vida útil se prolonga cuando se realizan los mantenimientos requeridos oportunamente. (Consortio RehabiMed, 2007).

3.4.1. El sentido de pertenencia de los funcionarios que realizan el mantenimiento y los propietarios del inmueble.

Es un aspecto filosófico que las personas no valoren las cosas, hasta no involucrarse directamente para lograrlas. El mantenimiento del inmueble debería ser una labor que involucre a la comunidad u organización. En algunas ocasiones no se presta la importancia necesaria a este aspecto y ocurre el deterioro o abandono del inmueble. Es importante se involucre a la comunidad con una apertura de la cubierta en donde se exponga el antes, durante y después del proyecto. También es recomendable capacitar al personal de mantenimiento con el fin de realizar las tareas fijas que garanticen la conservación del inmueble, (Consortio RehabiMed, 2007).

3.4.2. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es el que se asocia a la reparación que se realizan de forma inmediata de las fallas que ocurren por la degradación del sistema. Esto puede ocurrir cuando se declara abandono y no se efectuaron con rutinas de mantenimiento preventivo, (Rodríguez, et al., 2004). Sin embargo, estos mantenimientos pueden suscitarse también por casos fortuitos en los que la naturaleza supera todas las consideraciones técnicas en una obra civil y se debe analizar si es posible realizar correcciones de forma puntual.

Los mantenimientos correctivos van a ocurrir en algún momento de la vida útil de la edificación. Es una realidad que si se realizan las rutinas de mantenimiento preventivo de forma rutinaria su frecuencia disminuirá, (Consortio RehabiMed, 2007).

Existen algunos casos en los que el sistema no se interviene definitivamente y se realizan labores paliativas. Las labores paliativas son realizadas con el fin de realizar correcciones temporales de la falla, para que el sistema siga funcionando mientras se soluciona la causa raíz. En las cubiertas de concreto reforzado comúnmente se pueden realizar mecanismos de solución paliativas tales como: el uso de bandejas metálicas que recolecten las filtraciones, la aplicación de morteros de ultra fraguado con recubrimiento cementicio impermeable que obturan las fugas de forma provisional. En la figura 4 se puede observar las bandejas metálicas para recolectar el agua proveniente por filtración.



Figura 4: Bandejas metálicas para recolección de agua proveniente por filtración

3.4.3. Mantenimiento Preventivo.

Las labores preventivas son todas aquellas labores rutinarias que se realizan de forma planeada y bajo una frecuencia, con el fin de conservar el inmueble en condiciones de mantenimiento óptimas, (González, et al., 2020). También el mantenimiento puede ser visto como el conjunto de tareas que se realizan para prologar la vida útil del inmueble y alejarlo de la rehabilitación temprana, (Herrera, et al., 2016) Para realizar un mantenimiento preventivo en cubiertas de concreto reforzado se debe realizar unas rutinas que se dividen de la siguiente forma:

- Limpieza de sifones y canales: Todas las cubiertas tienen el propósito de proteger a la edificación desde la parte superior y permitir la habitabilidad en el inmueble, (Monjo, 2005).
- Las cubiertas planas deben evacuar el agua a los drenajes y para garantizar eso se debe evitar obstrucciones de sifones y canales. Es una tarea necesaria en todos los casos el realizar una limpieza superficial de hojas y material granular que pueda estar sobre ella y evitar que ocurra una obstrucción de drenajes.
- Revisión de materialidad y funcionamiento recomendado por el fabricante: Los sistemas de impermeabilización de cubiertas de acuerdo con su forma de aplicación y material requieren un mantenimiento preventivo distinto. Esto se debe consultar en la ficha técnica del fabricante e incluirse en el plan de mantenimiento.

3.4.4. Manual De Mantenimiento Y Calendario De Mantenimiento.

El manual de mantenimiento es una guía paso a paso de las labores preventivas y correctivas que se deben realizar al entregar el inmueble y es un documento entregable del proyecto. Su elaboración requiere de la consideración de tareas fijas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del inmueble, (Consortio RehabiMed, 2007).

Bajo el parámetro de manual de mantenimiento es que el profesional de mantenimiento designado por el cliente y/o el personal técnico del cliente, realizan el calendario de mantenimiento. El calendario de mantenimiento son los días en que se establecen las rutinas fijas para garantizar las tareas preventivas para alargar la vida útil del inmueble, (Consortio RehabiMed, 2007).

5. DISCUSIÓN

El modelo propuesto es un compendio de criterios y conocimientos resultantes de una revisión temática y de la experiencia profesional, que se estructuró con la secuencia de proyecto de construcción, con el fin de realizar un aporte a la academia dando una nueva perspectiva a los procesos constructivos en la impermeabilización de cubiertas planas en concreto.

El modelo propuesto ya se implementó en un proyecto profesional de uno de los autores y fue un caso de éxito. El proyecto donde se implementó es la cubierta de un centro comercial y se ejecutó entre mayo y octubre del 2020. El proceso constructivo desarrollado se ilustra por medio de un flujograma en la figura 5.

En la implementación del modelo se realizó prueba de estanqueidad al recubrimiento impermeable, la cual se puede observar en la figura 6.

Posteriormente se construye un recubrimiento pesado sobre la impermeabilización con mortero 1:3 mejorado con aditivo látex y juntas de dilatación con sello elastómero para controlar cambios volumétricos por temperatura.

El recubrimiento pesado se puede observar en la figura 7. Finalmente, se aplicó un recubrimiento de protección para el recubrimiento pesado utilizando manto multicapa fabricado con base en asfaltos no oxidados modificados, con refuerzo central de fibra de vidrio y con acabado en “foil” de aluminio gofrado. El recubrimiento de protección se puede observar en la figura 8.

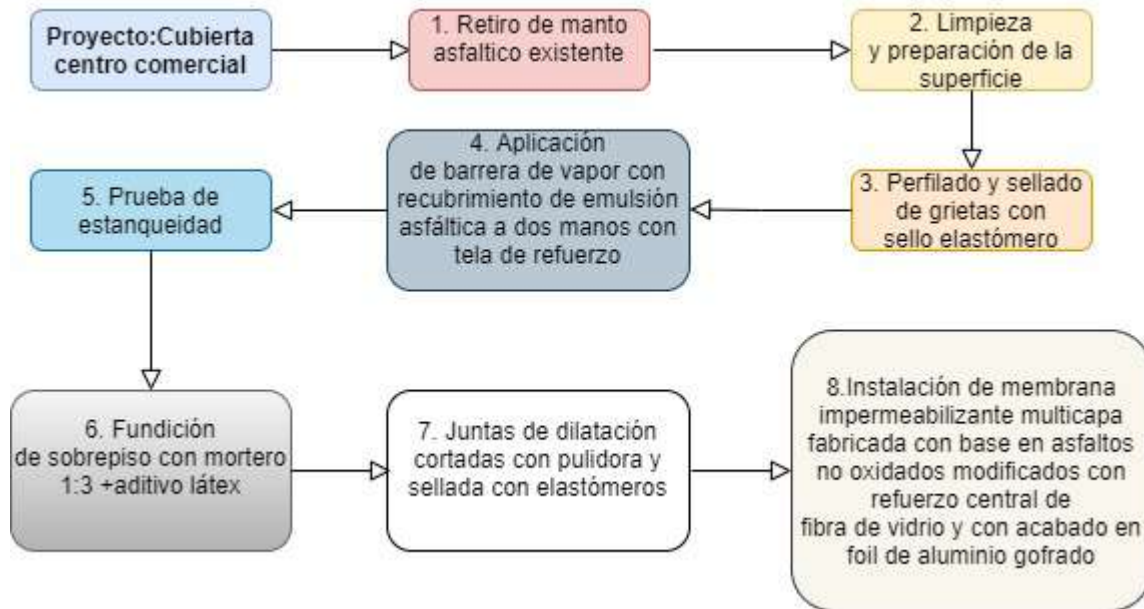


Figura 5: Flujograma proceso constructivo del proyecto de impermeabilización de cubierta de un centro comercial (elaboración Propia)



Figura 6: Prueba de estanqueidad.



Figura 7: recubrimiento pesado sobre la impermeabilización con mortero 1:3 mejorado con aditivo látex y juntas de dilatación con sello elastómero para controlar cambios volumétricos por temperatura.



Figura 8: Recubrimiento de protección con manto multicapa fabricado con base en asfaltos no oxidados modificados, con refuerzo central de fibra de vidrio y con acabado en foil de aluminio gofrado.

Se comprueba por medio de la implementación del modelo en un caso práctico que al reducir la permeabilidad de una mezcla de concreto y aplicar un recubrimiento impermeable, considerando

todas las etapas del proceso constructivo se puede llegar a una condición de estanqueidad en la cubierta plana de concreto reforzado y se reduce el riesgo de filtraciones que afecten el inmueble. Se entregó al personal de técnicos del mantenimiento *in-house* del cliente las recomendaciones de mantenimiento y su calendario. Sin embargo, es necesario realizar el seguimiento posterior a su entrega para garantizar que los procedimientos constructivos sean congruentes con el modelo propuesto.

6. CONCLUSIONES

- La impermeabilización es un proceso constructivo que requiere de un constante seguimiento desde la etapa de diseño hasta su entrega y posterior mantenimiento. El poder realizar el control en cada una de sus etapas garantizara que la vida útil del inmueble no se disminuya.
- El reducir la permeabilidad del concreto que constituye la cubierta es una solución que ayuda a disminuir el riesgo de filtraciones. Sin embargo, es un sistema colaborante y no es recomendable que sea la única opción para garantizar la estanqueidad. Por consiguiente, se debe colocar un recubrimiento impermeable sobre la superficie y a dicho recubrimiento se le dará la mayor parte de la responsabilidad de la estanqueidad.
- Los criterios de aceptación en cualquier proyecto son necesarios para lograr que sea entregado a satisfacción. El plan de inspección de ensayos para proyectos de impermeabilización de cubiertas planas es una herramienta de gran valor que permitirá a los profesionales de la construcción evaluar el sistema de impermeabilización antes de su puesta en funcionamiento.
- El realizar el mantenimiento preventivo a los sistemas de impermeabilización de una cubierta plana en concreto permitirá alargar la vida útil del elemento de concreto reforzado. Si no se realiza el mantenimiento oportunamente la cubierta requerirá una rehabilitación antes del tiempo estimado.
- En general, el modelo propuesto es de gran pertinencia para la sociedad, porque permitirá optimizar el proceso de impermeabilización de cubiertas en concreto reforzado. Es de notar que la patología de la construcción es una disciplina que no solamente se orienta a reparar estructuras con lesiones, también puede enfocarse en mejorar el control de calidad del proceso constructivo antes de que se presenten daños o errores.

7. AGRADECIMIENTOS

Al grupo Toxement Euclid Group por el apoyo técnico y asesoría. A la firma ACOMAQ ingeniería SAS por permitir el uso de información de los proyectos de impermeabilización donde uno de los autores participó como líder de proyecto, los cuales fueron de gran utilidad para la investigación. A la Universidad Nacional de Colombia y sus facultades de artes y la facultad de ingeniería, brindaron apoyo a los autores en los temas que profundizan los diferentes campos de la construcción.

8. REFERENCIAS

- ACI Comité 201, (2012). *Guía para la Durabilidad del Hormigón*. Estados Unidos.
- AIS 100. (2010). *TÍTULO B – Concreto estructural. NSR-10, TÍTULO C*. Colombia.

- AIS 100. (2010). *TÍTULO C – Concreto estructural. NSR-10, TÍTULO C*. Colombia.
- AIS 100. (2010). *TÍTULO I - Supervisión técnica. NSR-10, TÍTULO I*. Colombia.
- Alba-Cruz, R. C, Cruz-Álvarez, J.J, & Posada, A.A (2013). “Mejora del proceso en el control de la calidad para el diseño de los sistemas de impermeabilización en las edificaciones”. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7(2), 1–51. [fecha de Consulta 9 de Mayo de 2021]. ISSN: . Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193929227001>
- Alba-Dorado, M. I. (2016). “Arquitectura y creatividad. Reflexiones acerca del proceso creativo del proyecto arquitectónico”. *Arquitectura revista*, 12(2), 125–139. <https://doi.org/10.4013/arq.2016.122.01>
- Arredondo-Verdu, F. (1990). “Materiales de la construcción. Generalidades”. Dextra. Madrid. p.35.
- Carretero-Ayuso, M. J., & de Brito, J. (2016). “Analysis of the Execution Deficiencies of Flat Roofs with Bituminous Membranes”. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. ASCE. 30(6), 1-8. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000904](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000904)
- Carretero, M. J., Moreno-Cansano, A., & de Brito, J. (2017). Failure and damage determination of building roofs. *Revista de La Construcción*, 16(1), 145–157. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.1.145>
- Consorcio RehabiMed. (2007). “Método RehabiMed. Arquitectura Tradicional Mediterránea. II”. *Rehabilitación*. Col·legi d’Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona para el consorcio RehabiMed Bon Pastor. p.39-41.
- Cortés, J.M. (2017). “Sistema de gestión de calidad (ISO 9001:2001)”. ICB Editores-Bogotá: Ediciones de la U; 1ra edición. p. 178.
- Fernández, J. (2006). “Material Architecture”. (Vol. 21, Issue 1). Architectural Press & Elsevier.
- García, L. E. (2014). “Desarrollo de la normativa sismo resistente colombiana en los 30 años desde su primera expedición”. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, 41, 71–77. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i41.785>
- García-Ramírez, W. (2017). “A priori, A posteriori: la memoria descriptiva como reflexión teórica en arquitectura”. *Apuntes*, 29 (1), 99–109. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.apc29-1.mdr>
- Godinho-Lima, A.G. & Verde-Zein, R. (2012). “Proyecto y Métodos proyectuales en La Investigación académica: algunos indicadores útiles”. 4ª Jornadas Internacionales sobre Investigación en Arquitectura y Urbanismo, Valencia: (España), pp. 1-13.
- Gonçalves, M., Silvestre, J.D., de Brito, J., & Gomes, R. (2019). “Environmental and economic comparison of the life cycle of waterproofing solutions for flat roofs”. *Journal of Building Engineering*, 24(February), 100710. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.02.002>
- González-Domínguez, J., Sánchez-Barroso, G., & García-Sanz-Salcedo, J. (2020). “Preventive maintenance optimisation of accessible flat roofs in healthcare centres using the Markov chain”. *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101775>
- Hernández-Moreno, S. (2008). “Teoría General de Sistemas aplicada al diseño arquitectónico sustentable”. *Revista Legado*, 4(4), 55–66. <https://legadodearquitecturaydiseno.uaemex.mx/article/view/13756>
- Herrera-Cardenete, E, Martínez-Ramos, R. & García-Nofuentes, J.F. (2016). “El proceso metodológico en el estudio de la patología de la construcción”. *Opción*, 32(9),918-928. [fecha de Consulta 9 de mayo de 2021]. ISSN: 1012-1587. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31048482051>
- ICONTEC. (1998). *NTC 4483. ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Métodos de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua*. Bogotá.
- ICONTEC. (2003). *NTC 5222. Métodos de ensayo para medir el flujo libre, flujo restringido y segregación en concretos autocompactantes*. Bogotá.
- ICONTEC. (2007). *NTC 5551 Concretos. Durabilidad de estructuras de concreto. Ntc 5551,1–24*.

- ICONTEC. (2010). *NTC 673. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Bogotá.
- ICONTEC. (2015). *NTC-ISO 9001. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos*. Bogotá.
- ICONTEC. (2017). *NTC 396. Concretos. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto*. Bogotá.
- ICONTEC. (2018). *NTC 2871. Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)*. Bogotá.
- INVIAS, (2013). *I.N.V. E – 414– 13. Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en los tercios de la luz*. Bogotá.
- Lesur L. (2010), “*Manual de Impermeabilización: una guía paso a paso*”. (3rd Ed). Trillas. (original publicado en 1998).p 46-47.
- López-Rodríguez, F., Rodríguez-Rodríguez, V., Cruz-Astorqui, J.S, Torreño-Gómez, I, & Ubeda-De Mingo, P. (2004). *Manual de patología de la edificación. Tomo 1 el lenguaje de las grietas patología y recalces de las cimentaciones*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Martínez-Osorio, P.A. (2013). “*El proyecto arquitectónico como un problema de investigación*”. *Revista de Arquitectura Universidad Católica*, 15, 54-61. doi:10.14718/RevArq.2013.15.1.6
- Matallana-Rodríguez, R. (2019). “*El concreto fundamentos y nuevas tecnologías*”. Corona y Concreto. Bogotá.
- Medeiros, M.H.F., Real, L.V., Quarcioni, V.A, & Helene, P. (2015). “*Concreto con protección de superficie y expuesto a solución de cloruros: Espesor de recubrimiento equivalente*”. *Revista ALCONPAT*, 5(3), 209–223. <https://doi.org/10.21041/ra.v5i3.90>
- Monjo-Carrio, J. (1986). “*Propuesta de evaluación de sistemas constructivos*”. *Informes de La Construcción*, 38(385), 5–29. <https://doi.org/10.3989/ic.1986.v38.i385.1691>
- Monjo-Carrio, J. & Maldonado-Ramos, L. (2001). “*Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*”. Munilla-Lería, Madrid.
- Monjo-Carrio, J. (2005). “*La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización*”. *Informes de La Construcción*, 57(499–500), 37–54. <http://digital.csic.es/handle/10261/23065>
- Montejó-Fonseca, A., Montejó-Piratova, F. & Montejó-Piratova, A. (2013). “*Tecnología y patología del concreto armado*”. Universidad Católica de Colombia. Bogotá.
- Navarrete, S. (2016). “*Enfoque fenomenológico de la crítica arquitectónica: el rol de la experiencia sensible*”. *Arquisur*, 6 (9), 44–55. <https://doi.org/10.14409/ar.v0i9.5802>
- Osuna-Moral, J.J. (2016). “*Pruebas de estanqueidad para cubiertas planas, identificación y solución de fallos en el desarrollo de las pruebas*”, Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, p.29.
- Oteo-Mazo, C. (2018). “*Patología geotécnica: Recalce y refuerzo del Terreno*”. Grupo de proyectos de ingeniería E.T.S.I. Minas y Energía-Universidad Politécnica de Madrid; 1ra edición. p38.
- PMI. (2017). “*Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos PMBOK*”. (6ta ed.). Estados Unidos.
- Pedrosa, A., Del Río, M., & Fonseca, C. (2014). “*Interaction between plasticized polyvinyl chloride waterproofing membrane and extruded polystyrene board, in the inverted flat roof*”. *Materiales de construcción*, 64(316), 1–14. <https://doi.org/10.3989/mc.2014.008913>
- Peña-Beltrán, Z.Y. & Pabón-Caicedo, J.D. (2020). “*Climatology of hailstorms in Colombia*”. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de geografía*, 29(1), 259–282. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.75438>
- Pillai, R.G., Gettu, R. & Santhanam, M. (2020), “*Uso de materiales cementicios suplementarios (SCM) en sistemas de concreto armado - Beneficios y limitaciones*”, *Revista ALCONPAT*, 10 (2), pp. 147 – 164, doi: <https://doi.org/10.21041/ra.v10i2.477>.

- Racusin, R.G., "*Building Deck Waterproofing from the Point of the Specifier's 'Pencil'*" Building Deck Waterproofing, ASTM STP 1084, L. E. Gish, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1989, pp. 60-64. <https://doi.org/10.1520/STP1084-EB>
- Ruggiero, S.S. and Rutila, D.A., "*Principles of Design and Installation of Building Deck Waterproofing*," Building Deck Waterproofing, ASTM STP 1084, L. E. Gish, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, 5-28. <https://doi.org/10.1520/STP1084-EB>
- Salas-Canevaro, J. D. (2017). La investigación en la actividad proyectual de la arquitectura. *Objeto y método*. 2(2), 5–15. <https://doi.org/10.31381/pedagogiaarquitectura.v0i2.1299>
- Wohl, R.L. and LaFraugh, R.W., "*Criteria for the Selection of Penetrating Hydrophobic Sealers Used in the Repair of Concrete Parking Decks*," Building Deck Waterproofing, ASTM STP 1084, L. E. Gish, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, 75-82. <https://doi.org/10.1520/STP1084-EB>
- Villate, C. & Tamayo, B. (2010). "*La práctica de la arquitectura como racionalización sistémica*". Revista de Arquitectura Universidad de los Andes, 1(6), 178–199. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3404962>

NOVO MÉTODO DE ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NO DESEMPENHO TÉRMICO TOTAL

V. F. Mendes^{1*}, W. Fardin¹, R. R. Barreto¹, L. M. Martins¹, L. F. Caetano¹, J. C. Mendes¹

*Autor de Contato: vitor.mendes@aluno.ufop.edu.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Basil

RESUMO

O presente trabalho desenvolveu o Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura. Trata-se de uma nova metodologia para a análise comparativa de propriedades térmicas dos materiais de construção, na contribuição para o desempenho térmico total de uma edificação. Esse método foi validado com simulações de uma residência de interesse social hipotética na cidade de São Paulo, na qual foi realizada uma análise de sensibilidade da espessura, massa específica, condutividade térmica e calor específico da argamassa de revestimento. Para isso, foram simuladas 120 argamassas, comparando, de hora em hora, as temperaturas externa e interna. O método foi capaz de apresentar numericamente a influência dessas propriedades no desempenho térmico total, facilitando a comparação e a escolha do melhor cenário construtivo para o resultado final da edificação, em termos de isolamento térmico.

Palavras-chave: Desempenho térmico; Eficiência energética; Argamassa de revestimento; Propriedades térmicas; Simulação energética.

NEW METHOD OF ANALYSIS OF THE CONTRIBUTION OF THE CONSTRUCTION MATERIALS' THERMAL PROPERTIES IN THE TOTAL THERMAL PERFORMANCE

ABSTRACT

The present work developed the Accumulated Differences of Temperature Method. It is a new methodology to assess comparatively the thermal properties of construction materials, in contribution to the total thermal performance of a building. This method was validated with simulations of a hypothetical low-income residence in São Paulo, in which a sensitivity analysis of the thickness, specific gravity, thermal conductivity, and specific heat of the coat mortar was carried out. For this, 120 mortars were simulated, comparing, every hour, the indoor and the outdoor temperatures. The method was able to present numerically the influence of these properties on the total thermal performance, facilitating the comparison and the choice of the best construction scenario to the final result of the building, in terms of thermal insulation.

Keywords: Thermal performance; Energy efficiency; Coating mortar; Thermal properties; Energy simulation.

NUEVO MÉTODO DE ANÁLISIS DE LA CONTRIBUCIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN EL RENDIMIENTO TÉRMICO TOTAL

RESUMEN

El presente trabajo desarrolló el Método de Diferencias Acumuladas de Temperatura. Es una nueva metodología para evaluar comparativamente las propiedades térmicas de los materiales de construcción, en contribución al rendimiento térmico total de un edificio. Este método fue validado con simulaciones de una hipotética residencia de bajos ingresos en São Paulo, en la que se realizó un análisis de sensibilidad del espesor, gravedad específica, conductividad térmica y calor específico del mortero de capa. Para ello, se simularon 120 morteros comparando, cada hora, la temperatura interior y exterior. El método logró presentar numéricamente la influencia de estas propiedades en el rendimiento térmico total, facilitando la comparación y la elección del mejor escenario constructivo para el resultado final del edificio, en términos de aislamiento térmico.

Palabras clave: Rendimiento térmico; Eficiencia energética; Mortero de revestimiento; Propiedades termales; Simulación energética.

1. INTRODUÇÃO

As condições térmicas do interior das edificações são essenciais para a saúde, bem-estar e produtividade de seus ocupantes. Além disso, as patologias das construções decorrentes de gradientes térmicos (como condensação, trincas, destacamentos, manchas e outros) são de conhecimento geral dos profissionais da área e testemunhados pelos ocupantes que sofrem com o problema, física e psicologicamente. Contudo, os profissionais do setor construtivo carecem de técnicas difundidas e exequíveis que visam apontar soluções viáveis para o projeto de construção, no que se refere ao desempenho térmico. Ademais, não se pode abrir mão da eficiência energética das edificações. Isso, inclusive para aquelas que abrigam famílias de baixa renda em ambientes com grande possibilidade de ser termicamente crítico, devido à escassez financeira com consecutiva falta de profissionais de boa qualificação, materiais de excelência e todas as demais restrições envolvidas que afetam negativamente em uma tomada de decisão assertiva.

À vista disso, a eficiência energética é proporcionada principalmente pelo desempenho térmico da edificação e sucede em uma redução do consumo de energia, em sua grande maioria. Nesse sentido, as propriedades térmicas dos materiais integrantes da envoltória da edificação (os sistemas de vedação externos) têm significativa influência na diferença de temperatura entre o interior e o exterior. Dentre as propriedades térmicas dos materiais de construção, sobressaem-se a capacitância e a transmitância térmicas (Wang et al., 2013).

A capacitância térmica se relaciona com o potencial dos materiais de reter calor. Uma alta capacitância térmica reduz as flutuações de temperatura no ambiente interno, principalmente nas horas de pico (Mengjie et al., 2018). Essa propriedade é diretamente proporcional ao calor específico e massa (ou volume e densidade) do mesmo. Por sua vez, a transmitância térmica se refere à taxa de transferência de calor de um certo material. Quanto menor seu valor, melhor é a sua capacidade de isolamento térmico (Santos et al., 2017). A transmitância térmica é diretamente proporcional à condutividade térmica do material e inversamente proporcional à espessura. Em resumo, quanto maior a espessura do material ou menor a sua condutividade térmica, menor será a transmitância térmica do mesmo, resultando em uma melhor capacidade de isolamento térmico (Pavlik et al., 2014).

Com isso, as propriedades térmicas das argamassas de revestimento, um dos principais componentes das vedações verticais brasileiras, podem influenciar no desempenho térmico das edificações em alvenaria. E essas propriedades variam significativamente. Vários autores conseguiram variar o calor específico das argamassas (Mendes et al., 2020; Onésippe et al., 2010), reduzir a condutividade térmica (Mendes et al., 2020; Onésippe et al., 2010) e diminuir a massa específica (Benmansour et al., 2014). Parte dessas pesquisas tratam do melhoramento de argamassas compostas por agregados naturais (argamassas convencionais), objeto da aplicação do método apresentado neste trabalho. Além da pesquisa acadêmica, nos últimos dez anos, várias companhias vêm lançando no mercado as “argamassas isolantes”, com condutividade térmica reduzida, firmando o compromisso de melhoria na temperatura do ambiente interno (GRXSP, 2021; VIMARK, 2021a; VIMARK, 2021b). No geral, esses e outros estudos avaliam principalmente o impacto de diferentes adições de materiais na propriedade térmica de matrizes cimentícias, mas não analisam se essas alterações contribuem de forma efetiva para a diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo.

Haja vista a necessidade de avaliar o real impacto das argamassas de revestimento no desempenho térmico global das edificações, os autores deste trabalho cogitaram, inicialmente, fazer uso do método de análise recomendado pela norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), a qual foca na classificação da edificação em três níveis de desempenho térmico: mínimo, intermediário e superior. Contudo, esse método, na visão dos autores, não se mostra adequado para comparar quantitativamente materiais em relação a sua contribuição no desempenho térmico total da edificação. Além disso, os autores consideraram utilizar a norma estadunidense ASHRAE 90.2

(2018), a qual trata da eficiência energética do projeto de residências de interesse social. Tal norma aborda o método chamado de graus-dias, que é comumente utilizado em análises térmicas. Todavia, esse método faz uma aproximação questionável pelos autores, ao passo que considera apenas uma média da temperatura externa nas análises, i.e., não considera as variações na temperatura em sua totalidade. Além disso, o método graus-dias apenas se importa com o quanto os resultados extrapolam dos limites regulados pela norma.

Sendo assim, os autores buscaram desenvolver uma metodologia própria para avaliar o impacto da variação das propriedades térmicas dos materiais de construção no desempenho térmico global da edificação. Ou seja, este trabalho visa apresentar um novo método de avaliação quantitativa da influência das propriedades térmicas de materiais de construção no desempenho térmico global das edificações. Para isso, foram analisadas as propriedades térmicas da argamassa de revestimento no desempenho térmico de uma residência situada na cidade de São Paulo (Brasil). São elas: espessura, massa específica, condutividade térmica e calor específico. Através da análise de sensibilidade, a contribuição de cada propriedade é avaliada a partir da diferença de temperatura horária externa e interna. Com este trabalho, almeja-se dar suporte ao processo de tomada de decisão para o isolamento térmico eficiente de uma edificação, considerando os aspectos energéticos e sustentáveis.

2. PROCEDIMENTO

2.1 Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura

Em suma, esse método visa analisar quanto um certo material de construção corrobora como técnica passiva de isolamento no desempenho térmico da edificação. Esse método tem por objetivo medir a diferença entre as temperaturas horárias do exterior (t_e) e do ambiente interno mais crítico (t_i) durante o ano todo (Equação 1). Em outras palavras, se plotarmos as temperaturas internas e externas, a distância acumulada entre essas duas linhas formadas é o resultado almejado nesse método de mensurar o desempenho térmico (Figura 1). O somatório foi feito de hora em hora, segundo o padrão do que já é adotado comumente por normas e pesquisas, quando o assunto é análise térmica (ABNT, 2013; ASHRAE, 2018; Benmansour et al., 2014; Wang et al., 2018). Nesse sentido, um resultado negativo de uma dada hora na diferença de temperatura é sinônimo de que o ambiente interno estava mais quente que o ambiente externo. Da mesma forma, um resultado positivo significa que o interior estava mais frio que o exterior. Para isso, os cálculos foram feitos no Microsoft Excel.

$$\text{Diferença acumulada} = \sum_k^{\text{ano}} (t_{e_k} - t_{i_k}) \quad (1)$$

Nesse sentido, é possível notar semelhanças entre esse método e o chamado graus-dias, que é estipulado pela norma estadunidense ASHRAE 90.2 (2018), dado ao fato de que a criação dos dois métodos parte do mesmo embasamento conceitual. Contudo, o Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura considera as especificidades da variação da temperatura externa e interna (valores de hora em hora), além de verificar os valores de forma mais pura, ao invés de pré-determinar limites para verificação de ultrapassagem dos resultados acumulados.

Com esse novo método, o material com as propriedades térmicas que garantem maior resultado em módulo nas diferenças acumuladas (chamado neste trabalho de “acumulado total”) garantirá um melhor desempenho térmico para a edificação, já que irá manter o ambiente interno mais bem isolado, com menores oscilações em relação à temperatura externa.

Haja vista que essa metodologia foi criada para tornar notável as diferenças a partir de mudanças nas propriedades dos materiais de construção, o Método das Diferenças Acumuladas de

Temperatura é recomendado quando os modelos a serem comparados possuem as mesmas condições de contorno, i.e., mesma edificação, arquivo climático e qualquer outra característica existente desconsiderando aquelas do material em questão.

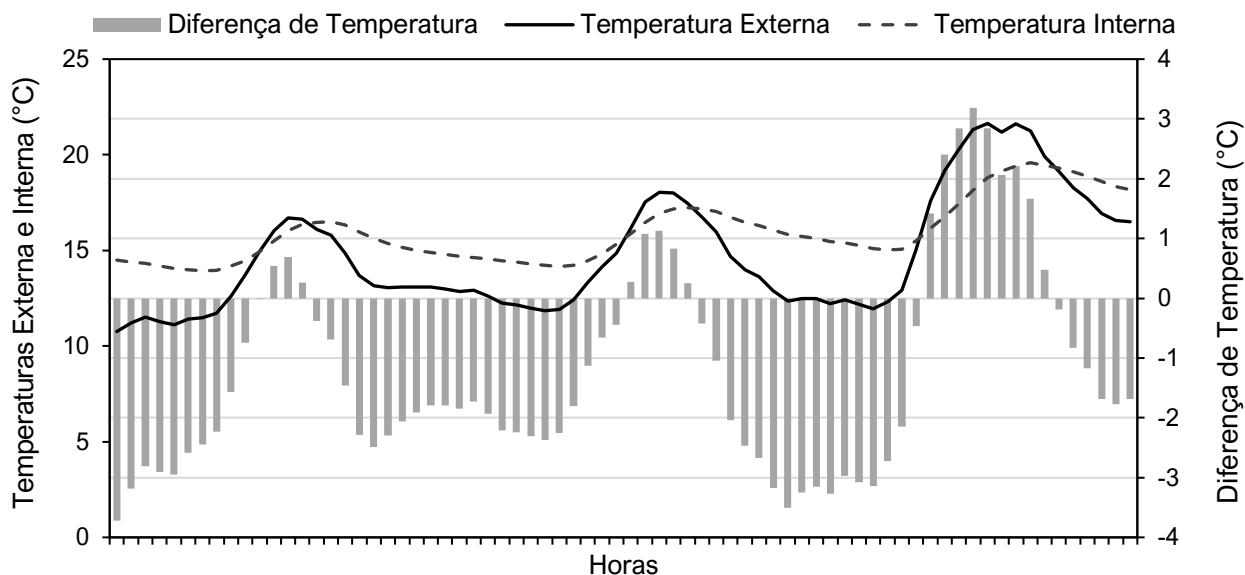


Figura 1. Exemplo de análise do Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura, sendo que as colunas cinzas mostram a diferença entre as temperaturas interna e externa.

Outro fator importante é que o Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura não é sensível à percepção de conforto humana, focando objetivamente no desempenho térmico da edificação. Essa situação foi especialmente verificada quando ocorre uma queda brusca na temperatura externa (como a devida a uma chuva no fim de uma tarde quente). Nesses casos, a argamassa com melhores propriedades de isolamento térmico proporcionará uma queda muito vagarosa na temperatura interna, quando comparada a uma argamassa pouco isolante. Ou seja, a argamassa pouco isolante (justamente pela sua baixa capacidade de isolamento) irá resfriar o ambiente mais rápido, o que pode ser favorável aos usuários. De qualquer forma, trata-se de uma pequena limitação do método em relação aos dias que têm quedas bruscas na temperatura.

Os resultados obtidos com esse o Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura foram analisados com o auxílio das bibliotecas Matplotlib e Plotly, disponíveis em Python, para a geração de gráfico tridimensional e gráficos de vela.

2.2 Argamassa de revestimento

Para a análise de sensibilidade, foram adotadas argamassas de revestimento hipotéticas, cujas propriedades variaram de acordo com o que é apresentado nas normas brasileiras e na ampla literatura. De modo geral, a espessura foi analisada em 5 valores, a condutividade térmica em 4 e o calor específico em 6 valores. Com relação à massa específica, seus valores foram variados segundo a condutividade térmica, como será melhor detalhado a seguir. No total, considerando todas as combinações possíveis, foram simulados 120 tipos de argamassa. A Tabela 1 apresenta os valores que foram considerados para as propriedades térmicas da argamassa.

Tabela 1. Valores das propriedades térmicas utilizados para as argamassas de revestimento.

Propriedade	Unidade	Valor	Porcentagem Relativa (%)
Espessura	mm	10	50
		15	75
		20	100
		25	125
		30	150
Condutividade Térmica (Massa Específica correspondente)	kW/(m·K) (kg/m ³)	1,15 (2023,36)	100
		0,86 (1762,00)	75
		0,57 (1500,64)	50
		0,29 (1239,27)	25
Calor Específico	J/(kg·K)	500	50
		750	75
		1000	100
		1250	125
		1500	150
		2000	200

Como observado na literatura, tratando-se de matrizes cimentícias convencionais, a massa específica da argamassa varia em função da condutividade térmica, devido à propriedade de isolamento térmico dos vazios de ar (Mendes et al., 2019). Em um trabalho anterior, Mendes et al. (2020) comparou a condutividade térmica (λ) de mais de 30 argamassas com a massa específica (ρ) da mesma, encontrando uma relação expressa na Equação 2 ($R^2 = 0,89$). Dessa forma, seguindo as propriedades observadas na prática, os autores adotaram a massa específica aparente da argamassa variando segundo a condutividade térmica.

$$\lambda \text{ (kW/(m} \cdot \text{K))} = \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 0.0011 - 1.0757 \quad (2)$$

Em relação à espessura da argamassa de revestimento, a norma brasileira NBR 13749 (ABNT, 2013) determina que, para paredes internas, ela deve variar entre 15 e 20mm, e, para as externas, 20 e 30mm. Contudo, na prática, são facilmente encontradas paredes internas e externas com espessuras de argamassa superior a 20mm e inferior a 15mm. Assim, a espessura foi simulada (igualmente em ambos os lados da parede) adotando 20mm um valor padrão (porcentagem relativa considerada como 100%) e variando-a em 50%, 75%, 100%, 125% e 150% (ou seja, entre 10 e 30 mm).

Tratando-se da condutividade térmica e do calor específico, os valores de referência (porcentagem relativa considerada como 100%) foram concebidos com base na norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005). Dessa forma, a condutividade térmica foi variada em 25%, 50%, 75% e 100%, enquanto o calor específico variou em 50%, 75%, 100%, 125%, 150% e 200%. As variações não aumentaram ou diminuíram ainda mais, porque as implementadas já tangem os limites observados na literatura (Mendes et al., 2020; Xu and Chung, 2000; Mendes et al., 2019).

As argamassas foram nomeadas de acordo com suas propriedades, de forma que “e” se refere à espessura, “ λ ” à condutividade térmica e “c” ao calor específico. Por exemplo, “e15- λ 1.15-c2000” é a argamassa com espessura de 15 mm, condutividade térmica de 1,15 kW/(m·K) e calor específico de 2000 J/(kg·K).

2.3 Edificação simulada

Neste trabalho, uma residência de interesse social foi simulada no *software* Energy Plus, versão 8.9. Essa residência é unifamiliar e térrea com 2 quartos e uma área total de 46 m². Além disso, a casa contém uma cozinha, um banheiro, uma sala e uma lavanderia externa. A Figura 2 apresenta uma visão geral da residência.

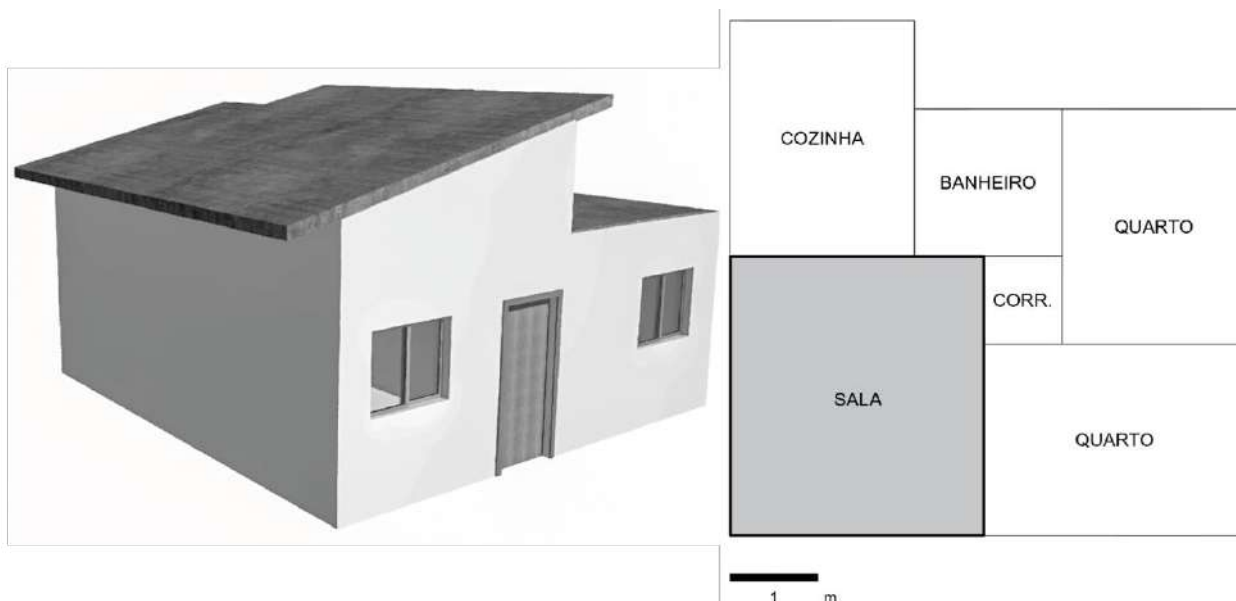


Figura 2. Esquema da residência: direita – modelo 3D; esquerda – planta baixa.

As paredes da residência têm seu núcleo composto por tijolo estrutural de cerâmica de 14 cm de espessura, revestido com a argamassa de revestimento em questão em ambos os lados. Além disso, todas as paredes têm uma pintura de acabamento com uma tinta que proporciona uma absorvância térmica, solar e visível (α) de 0,5 (ABNT, 2005). Quanto ao piso, ele é composto por uma laje de concreto, argamassa comum e piso cerâmico. Como é verificado na maioria das casas brasileiras, não foi considerado nenhum isolamento térmico entre a parte inferior do piso da edificação e o solo. Com relação ao teto, ele compreende uma argamassa comum que reveste a parte inferior da laje e a própria laje de concreto. Com exceção da argamassa de revestimento, as propriedades de todos os demais materiais da edificação (envidraçados, madeiramento e concreto, por exemplo) seguiram os valores da norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005).

Cada cômodo foi considerado como uma respectiva zona térmica. O cômodo verificado como mais crítico é a sala, logo, ela foi utilizada para as análises de temperatura. Não foi considerada carga térmica interna na edificação (ex. luzes, equipamentos elétricos, pessoas), a fim de isolar o efeito das argamassas no desempenho térmico total da edificação.

Além disso, foi considerada 1 renovação de ar por hora para cada cômodo e a residência foi orientada para o Norte geográfico. Não foi considerado nenhum sombreamento nas envoltórias externas da edificação, a não ser do próprio beiral em certas fachadas da edificação. Também não foi considerada vegetação circundante na casa e a temperatura do solo foi fixada em 18°C para todo o ano, seguindo valor padrão do *software*. Na simulação, considerou-se o arquivo climático, disponível na norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), da cidade de São Paulo, localizada na zona bioclimática 3, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

3. RESULTADOS

A Figura 3 mostra os resultados acumulados das 120 simulações realizadas com a residência de interesse social na cidade de São Paulo. A argamassa e30-λ1.15-c2000 totalizou 17186°C, sendo o maior acumulado total entre todas as argamassas simuladas. Tal destaque viabiliza classifica-la como sendo a melhor opção. Já a e10-λ0.2875-c500 tem o destaque de pior, pois garantiu apenas 15235°C de acumulado total. Esses valores mostram que, mudando somente a argamassa de revestimento da edificação na faixa de valores abordada neste trabalho, 1951°C seriam “salvos” durante todo o ano. Nota-se que essa metodologia é comparativa, ou seja, 1951°C é a diferença entre a argamassa de melhor desempenho e a de pior, não existindo um valor mínimo pré-definido. Assim, através deste carácter comparativo, será avaliada a seguir a influência das propriedades térmicas no resultado total do desempenho térmico da edificação.

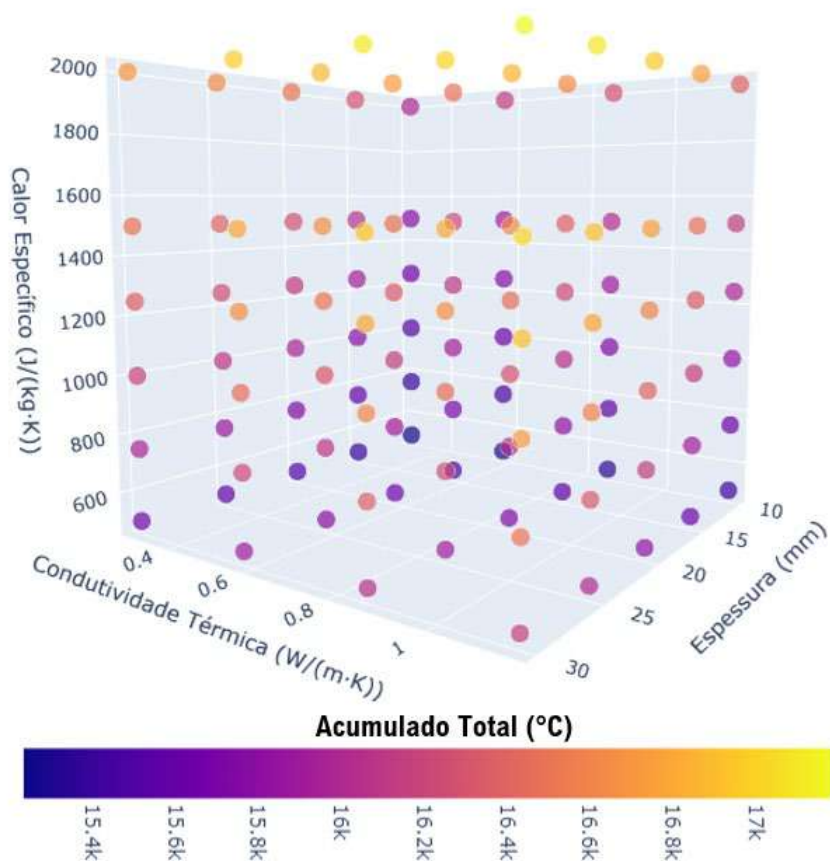


Figura 3. Resultado do acumulado total das 120 argamassas de revestimento simuladas.

A Figura 4 apresenta os resultados de forma bidimensional das 120 argamassas, tendo as propriedades térmicas da argamassa postas lado a lado de acordo com cada resultado de acumulado. De modo geral, verifica-se que as três propriedades térmicas, quando aumentadas, garantem um melhor desempenho térmico total para a edificação. Além disso, verifica-se que a condutividade térmica foi a propriedade que menos influenciou nos três resultados de acumulados, visto que uma dada porcentagem de variação garante menores acumulados (positivo, negativo e total), comparada à mesma variação nas demais propriedades térmicas. Dessa forma, a espessura e o calor específico tiveram maior influência nos resultados.

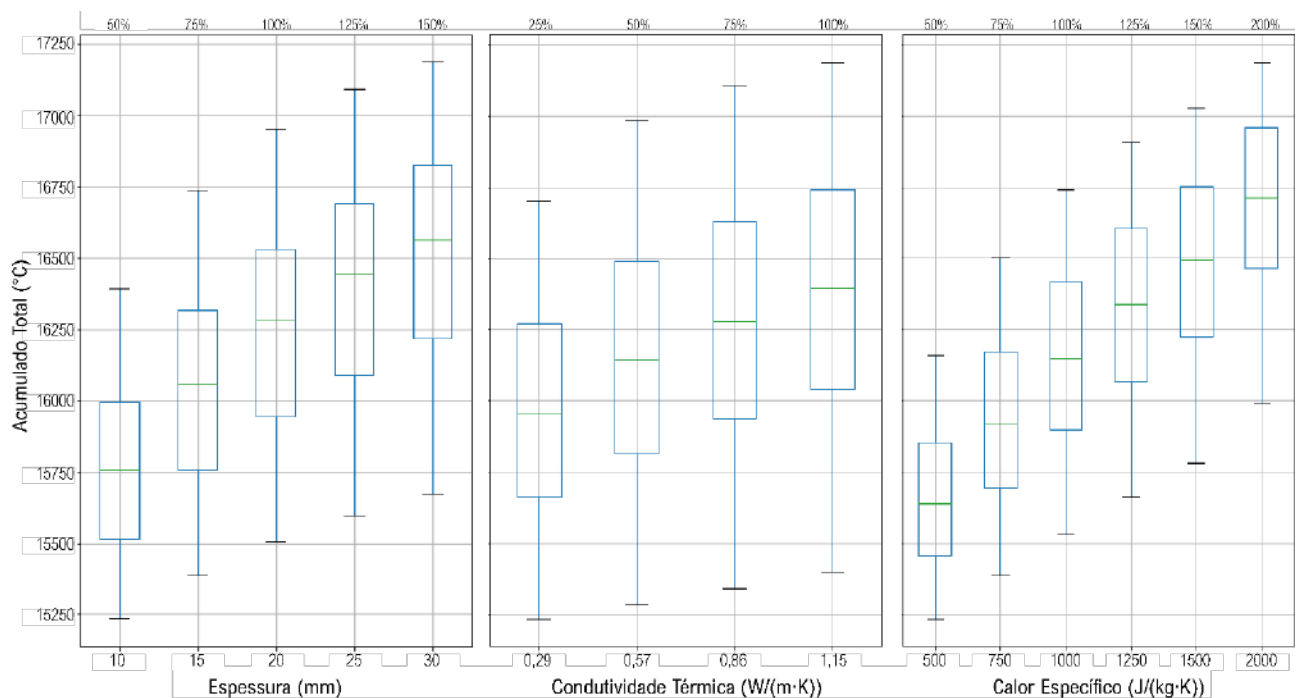


Figura 4. Resultados do acumulado total das argamassas de revestimento separados de acordo com as propriedades térmicas variadas.

Sendo assim, pode-se confirmar que quanto maior a espessura da argamassa e seu calor específico, maior será o desempenho térmico global da edificação. Mas, apesar da espessura e o calor específico cumprirem com o comportamento esperado com relação ao desempenho térmico total da edificação, o mesmo não pode ser dito para a condutividade térmica. É de senso comum que uma baixa condutividade térmica proporciona um aumento da capacidade do material de ser um isolante térmico. Entretanto, para esse modelo, pode-se dizer que o aumento da condutividade térmica aumenta os resultados de diferenças de temperaturas acumuladas. Em outras palavras, o decréscimo na condutividade térmica da argamassa acarretou uma redução na capacidade de isolamento térmico, o que é contrário ao esperado.

Essa disparidade pode ser explicada a partir da variação da massa específica de acordo com a condutividade térmica. Em matrizes cimentícias convencionais, parte significativa da contribuição na redução da condutividade térmica é obtida com a inserção de vazios de ar ou materiais leves na matriz (ex. aditivos incorporadores de ar, agregados de poliestireno expandido, entre outros) (Mendes et al., 2019; Chen et al., 2020; Chen and Liu, 2013). Uma vez que diminuir a condutividade térmica através dessas estratégias causa normalmente uma redução da massa específica, uma redução na transmitância térmica (influenciada pela baixa condutividade térmica) irá resultar em uma queda na capacitância térmica (influenciada pela baixa massa específica).

Dessa forma, as simulações, considerando a análise pelo Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura, mostram que a densidade das argamassas é mais influente na capacitância térmica. Um resultado similar foi observado por Franco et al. (2019) e Mendes et al. (2020) quando avaliaram o desempenho térmico de concretos e argamassas com resíduo de mineração e da fabricação de aço.

Assim, esses resultados mostram que as estratégias para diminuir a condutividade térmica da argamassa que também provocam uma baixa na densidade geralmente não são as mais vantajosas para o desempenho térmico total da edificação.

Dessa forma, é possível notar que o Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura consegue avaliar globalmente performances de resultados isolados já consagrados na literatura. Aliado a isso, tem-se a alta credibilidade do *software* utilizado na análise (EnergyPlus), o qual é o mais confiável e tem sido amplamente utilizado e validado por inúmeros pesquisadores (Crawley et al., 2008). Apesar de validações *in loco* serem necessárias para a comprovação dos resultados de temperaturas horárias externas e internas, o Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura tem por objetivo auxiliar o profissional na escolha dos materiais ainda durante a fase de projeto.

Nesse sentido, essa metodologia traz um melhor auxílio na tomada de decisão, ao conseguir comparar quantitativamente a contribuição passiva das propriedades térmicas de certo material de construção no ganho (ou perda) de desempenho térmico total da edificação de forma direta e sem qualquer influência da subjetividade humana (opinião de conforto, horário de ocupação, vestimenta, aparelhos eletrônicos domésticos, condicionamento do ar etc.). Nesse sentido, esse método também se mostra bastante promissor ao passo que, no geral, guia os resultados para um cenário de bom isolamento térmico, corroborando para a saúde tanto dos usuários quanto da edificação. Questão essa que é muito relevante, haja vista as inúmeras patologias existentes na construção civil que são provenientes dos gradientes de temperatura.

Entretanto, caso esse método seja empregado em todo o território brasileiro, é possível que ele apresente algumas inconformidades nas regiões com predominantes quedas repentinas de temperatura ao longo do dia. No Brasil, a zona bioclimática 8 (ABNT, 2005), por exemplo, é caracterizada por chuvas diárias e frequentes durante todo o ano, as quais causam uma alta e rápida variação térmica no ambiente externo. Tal situação, que foi melhor detalhada no procedimento deste trabalho, faz com que o método possivelmente sugira um material pouco isolante como sendo eficiente para o desempenho térmico da edificação, já que garantirá um maior acumulado total anual, comparado com o material com boas propriedades isolantes. Dessa forma, é notório que esse método se mostra mais efetivo em algumas localidades do que outras. Para regiões em que o método possa provocar resultados dúbios, seria necessário aprimorar essa metodologia que não seja influenciável por essa questão.

Além disso, ao mesmo tempo em que o método faz uma avaliação quantitativa e objetiva da redução da temperatura interna comparada com a externa, o fato de não analisar o conforto térmico dos usuários pode ser uma desvantagem. Ademais, o desempenho térmico é uma necessidade para um conforto térmico dos usuários, que, juntos, corroboram para a eficiência energética das edificações. Ou seja, além de uma análise de desempenho, é importante avaliar se ele supre o conforto dos usuários, a fim de, assim, culminar no ápice da eficiência energética da edificação com a não demanda do consumo de energia para a regulação da temperatura interna (ou, pelo menos, em uma redução nesse consumo).

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta e valida o Método das Diferenças Acumuladas de Temperatura, o qual objetiva comparar quantitativamente a influência das propriedades térmicas dos materiais de construção na contribuição do desempenho térmico de uma edificação. Neste caso, foi analisada as propriedades térmicas da argamassa de revestimento em uma residência de interesse social situada na cidade de São Paulo, referente à zona bioclimática 3 do Brasil (ABNT, 2005). Nesse sentido, 120 argamassas com combinações distintas de valores de espessura, condutividade térmica, massa específica e calor específico foram simuladas e analisadas através do método em questão.

Os resultados mostraram que um aumento nas propriedades térmicas analisadas leva a um melhor desempenho térmico total para a edificação. Em consonância disso, no modelo estudado, com as

argamassas analisadas, a condutividade térmica, quando aumentada, melhora o desempenho térmico total da edificação, devido ao fato de também acarretar um aumento na massa específica do material, a qual influencia tanto na capacitância térmica (em maior grau) quanto na transmitância térmica (em menor grau). Contudo, a condutividade térmica teve a menor contribuição nos resultados.

Além disso, os resultados desse trabalho demonstraram que a variação nas propriedades térmicas da argamassa de revestimento na residência estudada, na cidade de São Paulo, é capaz de “salvar” até 1951°C durante um ano inteiro. Contribuição essa que é bastante significativa no isolamento da temperatura entre o ambiente interno e externo, na qual está diretamente relacionada com o desempenho térmico total da edificação. Cenário esse que é favorável para a minoração das patologias da construção bem como dos problemas físicos e psicológicos dos ocupantes da edificação causados pelos malqueridos gradientes de temperatura, comumente observados nas edificações brasileiras, inclusive nas de interesse social.

Ressalta-se que o método carrega limitações a depender da região analisada e não é válido se o propósito da análise for verificar o conforto térmico dos usuários ou mensurar a economia de energia para manter o interior da edificação em uma faixa de temperatura operativa (i.e., climatização do ambiente). Para essas condições, faz-se necessário a concepção de um método mais abrangente, que seja eficiente para as demais regiões do território nacional (e de todo o mundo).

Sendo assim, esse trabalho auxilia no processo de tomada de decisão para o isolamento térmico de uma residência. O Método das Diferenças Acumuladas de Temperaturas se destaca como uma nova forma de análise e permite elucidar a importância das propriedades térmicas dos materiais de construção, que contribuem passivamente no desempenho térmico total da edificação.

5. AGRADECIMIENTOS

O presente trabalho foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através de bolsa de mestrado, e pela Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (PROPPI) da Universidade Federal de Ouro Preto, através de bolsa de Iniciação Científica. Os autores também agradecem ao Programa de Educação Tutorial de Engenharia Civil (PET – Civil) da Universidade Federal de Ouro Preto.

6. REFERÊNCIAS

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2018). *ASHRAE 90.2: Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 15220: Desempenho térmico em edificações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Edifícios Residenciais – Desempenho*. Rio de Janeiro.
- Benmansour, N., Agoudjil, B., Gherabli, A., Kareche, A., Boudenne, A. (2014), Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building. *Energy and Buildings*. 81:98–104.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.032>
- Chen, B., Liu, N. (2013), A novel lightweight concrete-fabrication and its thermal and mechanical properties. *Construction and Building Materials*. 44:691–698.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03>

- Chen, Y. X., Wu, F., Yu, Q., Brouwers, H. J. H. (2020), Bio-based ultra-lightweight concrete applying miscanthus fibers: Acoustic absorption and thermal insulation. *Cement and Concrete Composites*. 103829. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103>
- Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., Griffith, B. T. (2008), Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*. 43(4):661–673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.02>
- Franco, L. C., Mendes, J. C., Costa, L. C. B., Pira, R. R., Peixoto, R. A. F. (2019), Design and thermal evaluation of a social housing model conceived with bioclimatic principles and recycled aggregates. *Sustainable Cities and Society*. 51:101725. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101725>
- GRXSP. Argamassa Termoacústica e Antimanchas Thermo-X (2021). Acesso em: 03/03/2021. <https://www.grxsp.com.br/argamassas-e-compostos-especiais/argamassa-termica-thermo-x.html>
- Li, M., Wu, Z., Tan, J. (2013), Heat storage properties of the cement mortar incorporated with composite phase change material. *Applied Energy*. 103:393–399. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.09.05>
- Mendes, J. C., Barreto R. R., Castro, A. S. S., Brigolini, G. J., Peixoto, R. A. F. (2020), Factors affecting the specific heat of conventional and residue-based mortars. *Construction and Building Materials*. 237:117597. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117597>
- Mendes, J. C., Barreto, R. R., Barbieri de Paula, A. C., Pereira da Fonseca Elói, F., Brigolini, G. J., Fiorotti Peixoto, R. A. (2019), On the relationship between morphology and thermal conductivity of cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*. 103365. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103>
- Mendes, J. C., Barreto, R. R., Costa, L. C. B., Brigolini, G. J., & Peixoto, R. A. F. (2020), Correlation Between Ultrasonic Pulse Velocity and Thermal Conductivity of Cement-Based Composites. *Journal of Nondestructive Evaluation*. 39:36. <https://doi.org/10.1007/s10921-020-00680-7>
- Mendes, J. C., Barreto, R. R., Vilaça, V. F., Lopes, A. V., Souza, H. A., Peixoto, R. A. F. (2020), Coating mortars based on mining and industrial residues. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 22:1569-1586. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01051-0>
- Mendes, J. C., Pinto, P. B., Silva, H. E. A., Barreto, R. R., Moro, T. K., Peixoto, R. A. F., (2019), Macroporous Mortars for Laying and Coating. *Journal of Construction*. 18(1):29-41. <https://doi.org/10.7764/RDLC.18.1.29>
- Mengji, S., Fuxin, N., Ning M., Yanxin H., Shiming D. (2018), Review on building energy performance improvement using phase change materials. *Energy and Buildings*. 158:776-793. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.066>
- Onésippe, C., Pse-Coutrin N., Toro, F., Delvasto, S., Bilba, K., Asrène, M. -A. (2010), Sugar cane bagasse fibers reinforced cement composites: Thermal considerations. *Composites: Part A: applied science and manufacturing*. 41(4):549-556. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.01>
- Pavlik, Z., Jerman, M., Trník, A., Kočí, V., Černý, R. (2013), Effective thermal conductivity of hollow bricks with cavities filled by air and expanded polystyrene. *Journal of Building Physics*. 37(4):436–448. <https://doi.org/10.1177/1744259113499214>
- Santos, G. H., Fogiatto, M. A., Mendes, N. (2017), Numerical analysis of thermal transmittance of hollow concrete blocks. *Journal of Building Physics*. 41(1):7-24. <https://doi.org/10.1177/1744259117698522>
- VIMARK. Insulating Coat Thermo Rasatura (2021a). Acesso em: 03/03/2021. <https://www.grxsp.com.br/argamassas-e-compostos-especiais/argamassa-termica-thermo-x.html>
- VIMARK. Mineral Adhesive-Coating Mortar for Thermal Insulation System Polyfix (2021b). Acesso em: 3 March 2021. <https://www.vimark.com/en/prodotti/collante-e-rasante-per-cappotto-polyfix/>

Wang, X., Sun. X., Chuck, Y. W. F. (2018), Building envelope with variable thermal performance: opportunities and challenges. *Indoor and Built Environment*. 27(6):729-733. <https://doi.org/10.1177%2F1420326X18773928>

Xu, Y., Chung, D. D. L. (2000), Effect of sand addition on the specific heat and thermal conductivity of cement. *Cement and Concrete Research*. 30(1):59–61. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(99\)00206-9](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(99)00206-9)

Análise estática da superestrutura da ponte do Peixe Gordo, Tabuleiro do Norte, Ceará.

J. Beserra Filho^{1*}, E. Mesquita²

1 LAREB, Engenharia Civil, UFC, Campus Russas, Russas, CE.

2 LAREB, Engenharia Civil, UFC, Campus Russas, Russas, CE.

*Autor correspondente: joao_moradanova@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho se dedica em fornecer um aparato que facilite a compreensão sobre de que maneira se comporta, a superestrutura da Ponte do Peixe Gordo, estrutura sobre o rio Jaguaribe, que está localizada na cidade de Tabuleiro do Norte-CE. A ponte foi alvo de ataques, provenientes dos atentados criminosos no Ceará em 2019, os quais não ocasionaram danos relevantes a estrutura, gerando apenas danos superficiais. Não obstante, são apresentadas as análises estáticas, que forneceram dados que mostram a caracterização do comportamento da ponte. Conclui-se que os resultados obtidos permitiram identificar e analisar as concentrações de tensões e deformações, assim contribuindo para a compreensão sobre o comportamento estrutural, auxiliando em possíveis intervenções.

Palavras-chave: ponte; comportamento estrutural; análise estática.

Static analysis of the superstructure of Peixe Gordo Bridge, Tabuleiro do Norte, Ceará.

ABSTRACT

This work is dedicated to supply an apparatus that facilitates the understanding of how it behaves the superstructure of the Ponte do Peixe Gordo, a structure over the Jaguaribe River, which is located in the city of Tabuleiro do Norte-CE. The bridge was the target of attacks, originating from the criminal attacks in Ceará in 2019, which did not cause significant damage to the structure, generating only superficial damage to the structure. Nevertheless, static analyzes are presented, which provided data that show the characterization of the bridge's behavior. It is concluded that the results obtained allowed to identify and analyze the concentrations of stresses and deformations, thus contributing to the understanding of the structural behavior, assisting in possible interventions. **Keywords:** bridge; structural behavior; static analysis.

Análisis estático de la superestructura del Puente del Peixe Gordo, Tabuleiro do Norte, Ceará.

RESUMEN

Este trabajo está dedicado a proporcionar un aparato que facilite la comprensión de cómo se comporta, la superestructura del Ponte do Peixe Gordo, una estructura sobre el río Jaguaribe, que se encuentra en la ciudad de Tabuleiro do Norte-CE. El puente fue blanco de ataques, originados por los ataques criminales en Ceará en 2019, que no causaron daños significativos a la estructura, generando solo daños superficiales. No obstante, se presentan análisis estáticos, que proporcionaron datos que muestran la caracterización del comportamiento del puente. Se concluye que los resultados obtenidos permitieron identificar y analizar las concentraciones de tensiones y deformaciones, contribuyendo así a la comprensión del comportamiento estructural, asistiendo en posibles intervenciones.

Palabras llave: puente; comportamiento estructural; análisis estático.

1. INTRODUÇÃO

Pontes são obras de arte que tem a finalidade de interligar regiões, fazendo com que ocorra uma troca entre as regiões, nos aspectos econômico, cultural e intelectual, pois facilita o transporte das mais diversificadas mercadorias, pessoas e possibilita a comunicação. As pontes podem ocorrer para permitir a transposição de obstáculos, que podem ser rios, braços de mar, vales, e outras vias; e para que se tenha a continuidade de uma via, levando ao desenvolvimento da região.

Para Marchetti (2008), a estrutura capaz de transpor um obstáculo, sendo ele um rio, é denominado ponte, já quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via, é denominado de viaduto. A estrutura de uma ponte é, na maioria das vezes, subdividida em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. Estas estruturas são solicitadas por ações permanentes e ações variáveis. Neste aspecto, o peso próprio da estrutura principal e seus elementos secundários compõem, portanto, as cargas permanentes.

Ao se analisar uma estrutura é necessário levar em conta todas as ações e solicitações que possam interferir na sua segurança estrutural. Assim, a análise estrutural tem por propósito associar os sistemas físicos com ações externas atuantes, utilizando, para tal, modelos calibrados e suas propriedades, de modo que se possa caracterizar o comportamento global da estrutura analisada.

Nesse contexto, tem-se a Ponte do Peixe Gordo, esta que foi alvo de ataques criminosos, os quais ocasionaram apenas danos superficiais na estrutura, onde a camada de cobrimento de concreto foi destacada e fissurada. Com isso, faz-se viável e necessário a caracterização estrutural com o intuito de se verificar a segurança estrutural da ponte, e que, posteriormente, possam embasar o órgão responsável pela ponte, em possíveis reparos e intervenções em sua estrutura.

Para isso, a elaboração das atividades se baseia no comportamento estrutural da superestrutura da ponte do Peixe Gordo, através da análise estática. Logo, buscou-se a um modelo no qual foi aplicado uma resolução numérica baseada em um sistema de equações diferenciais, denominado Método dos Elementos Finitos. Assim, foi possível a obtenção dos deslocamentos direcionais e total, e as tensões de tração e compressão ocorrentes nos elementos da estrutura.

2. ESTUDO DE CASO

2.1. A Ponte do Peixe Gordo

A ponte estudada neste trabalho é a Ponte do Peixe Gordo, localizada na rodovia BR-116, mais precisamente no Km 204, no distrito de Peixe Gordo, no município de Tabuleiro do Norte, Ceará. A ponte tem como obstáculo transposto, o rio Jaguaribe, sua extensão total é de 412 metros, sua superestrutura tem extensão de 390 metros, subdivididos em 11 vãos, nove destes com o comprimento de 37 metros e suas extremidades com 28,50 metros. A construção da ponte é datada de 1948, passando no decorrer dos anos por algumas intervenções para a melhoria da sua utilização, visto o crescimento do tráfego que motivou o alargamento da ponte em 2001.



Figura 1. Ponte do Peixe Gordo.

Com o intuito de se verificar a segurança estrutural da ponte, alguns estudos técnicos foram realizados, dentre os quais, análises computacionais, das quais deriva este trabalho.



Figura 2. Danos causados por ataques criminosos em 2019.

2.2. Superestrutura

A superestrutura é composta pelos elementos estruturais a seguir, são eles, as vigas principais (com alargamento nas proximidades dos pilares), a laje do tabuleiro (pista de rolamento, com acréscimo do revestimento e passarela de passeio), as guarda-rodas e os guarda-corpo.

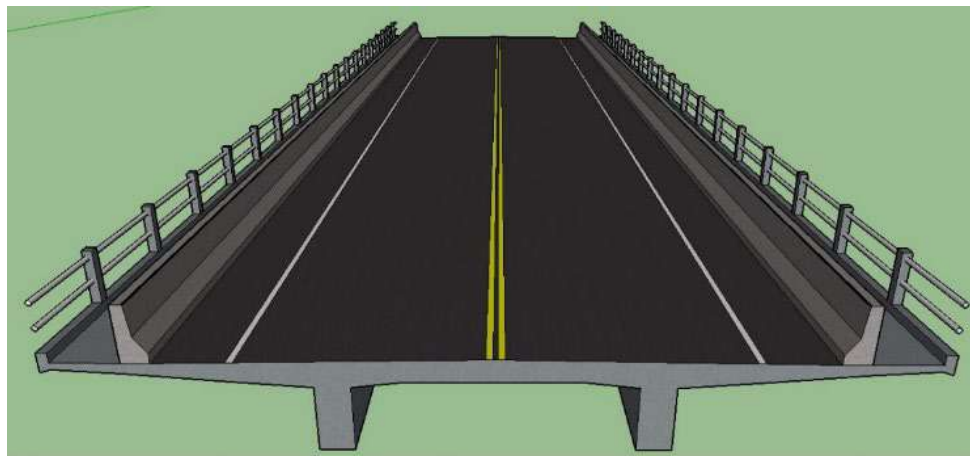


Figura 3. Superestrutura da ponte.

2.3. Modelagem numérica da estrutura

Para a modelagem numérica, buscou-se a elaboração de um modelo 3D que representasse a superestrutura da ponte. Para isso foram utilizadas as informações de projetos (DNIT), onde possibilitou a construção do modelo que representasse a estrutura da ponte o mais fidedigno possível às suas características. Em seguida, se obteve a malha de elementos finitos. Com isso, obteve-se uma malha composta por 192.784 elementos e 394.252 nós. A Figura 3 mostra um vão do modelo 3D obtido.

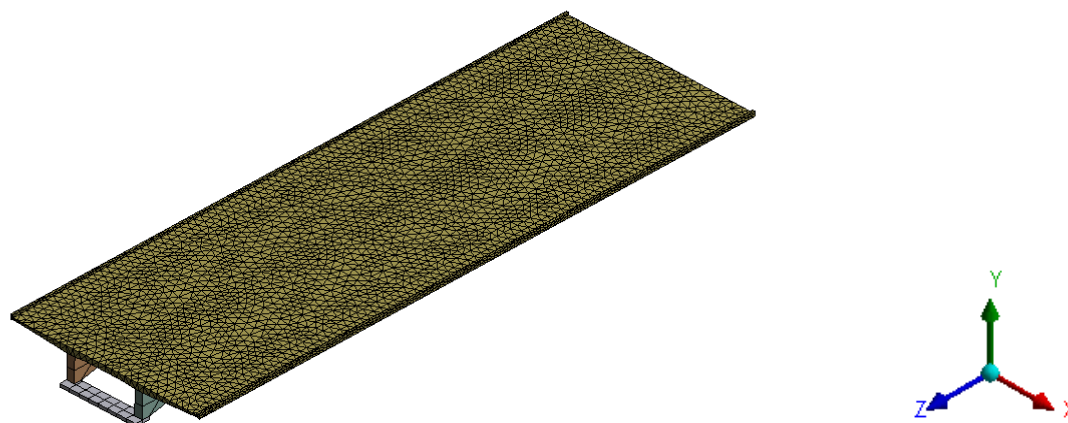


Figura 4. Modelo 3D em malha de elementos finitos.

2.4. Carregamentos e propriedades mecânicas

Os carregamentos aplicados nesta análise foram as ações permanentes das pontes, de acordo com a NBR 8681 (2003), são as cargas constantes, ou seja, peso próprio dos elementos da superestrutura. Os elementos da superestrutura que estão no modelo 3D são as vigas e a laje, para os demais elementos adotaram-se forças para substituir o peso próprio, são eles: guarda-rodas, guarda-corpo e revestimento, assim os carregamentos permanentes estão aplicados na estrutura, onde facilitou a construção da malha do modelo.

Para o cálculo dos carregamentos, o material utilizado em todo o modelo foi o de características que se parecem ao concreto armado. Adotando assim, os seguintes parâmetros, encontrados em Pinheiro (2007), para as propriedades mecânicas do material: considerou-se o módulo de elasticidade (E) de 30 GPa, o peso específico (w) de 25 kN/m, a resistência à compressão (f_c) de 25 MPa, a resistência a tração (f_t) de 3 MPa e o coeficiente de Poisson (ν) de 0,20. As propriedades estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades mecânicas adotadas no modelo numérico para análise estática.

Propriedade Mecânica	Magnitude	Unidade
E	30,00	GPa
w	25,00	kN/m ³
f_c	25,00	MPa
f_t	3,00	MPa
ν	0,20	adimensional

3. RESULTADOS

3.1. Deslocamentos direcionais

O início da análise da superestrutura se deu após adicionadas as características dos materiais e as cargas, pela qual foram obtidos os deslocamento direcionais nos eixos X, Y e Z. O eixo X corresponde ao sentido transversal horizontal da ponte, o eixo Y no sentido vertical e o eixo Z no sentido longitudinal horizontal.

Os deslocamentos direcionais no eixo X estão representados na Figura 5, onde verifica-se que o deslocamento, no sentido positivo do eixo, tem amplitude de aproximadamente 1,03 mm, localizada na viga do vão 9. Já na direção negativa do eixo, o deslocamento tem amplitude de, aproximadamente, 0,88mm, localizada na viga do vão 11.

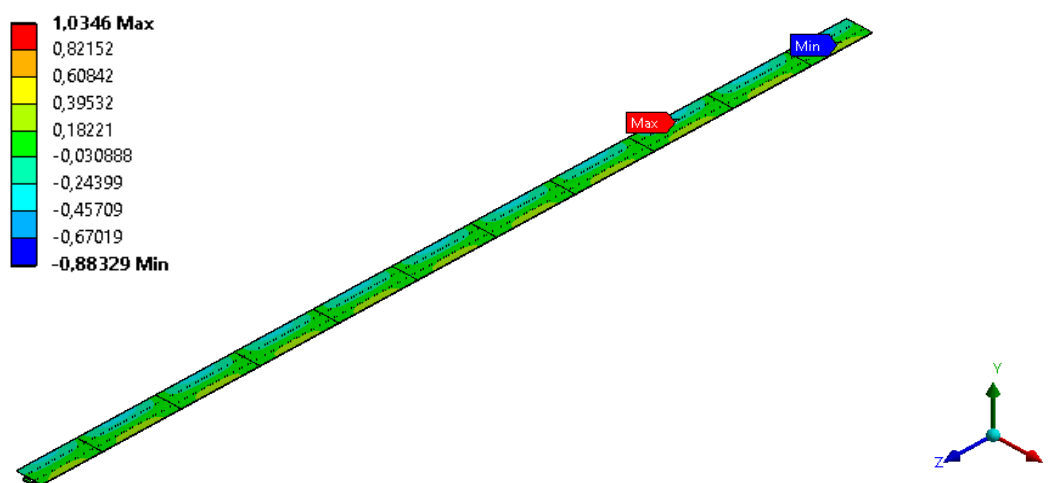


Figura 5. Deslocamentos direcionais no eixo X com unidade em milímetros.

Os deslocamentos direcionais no eixo Z estão representados na Figura 6, onde verifica-se que o deslocamento, no sentido positivo do eixo, tem amplitude de aproximadamente 3,31 mm, localizada na viga do vão 10. Já na direção negativa do eixo, o deslocamento tem amplitude de, aproximadamente, 3,31mm, localizada na viga do vão 2.

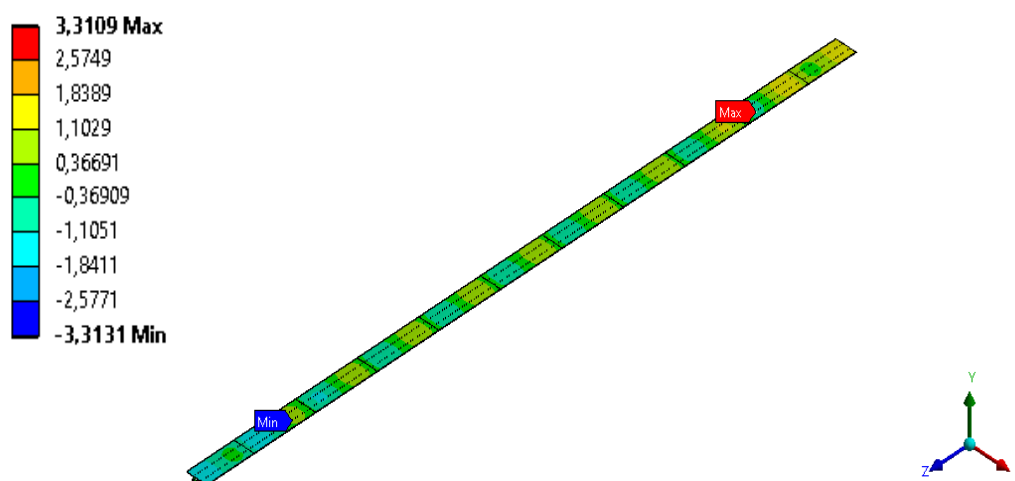


Figura 6. Deslocamentos direcionais no eixo Z com unidade em milímetros.

Para o eixo Y apresenta os deslocamentos, para o eixo positivo, de menor intensidade, cerca de 0,66 mm, entretanto o eixo negativo contém maior amplitude, 40,68 mm. A menor intensidade está localizada na extremidade livre da laje do vão 11. A maior intensidade está localizada na borda lateral da laje do vão 10.

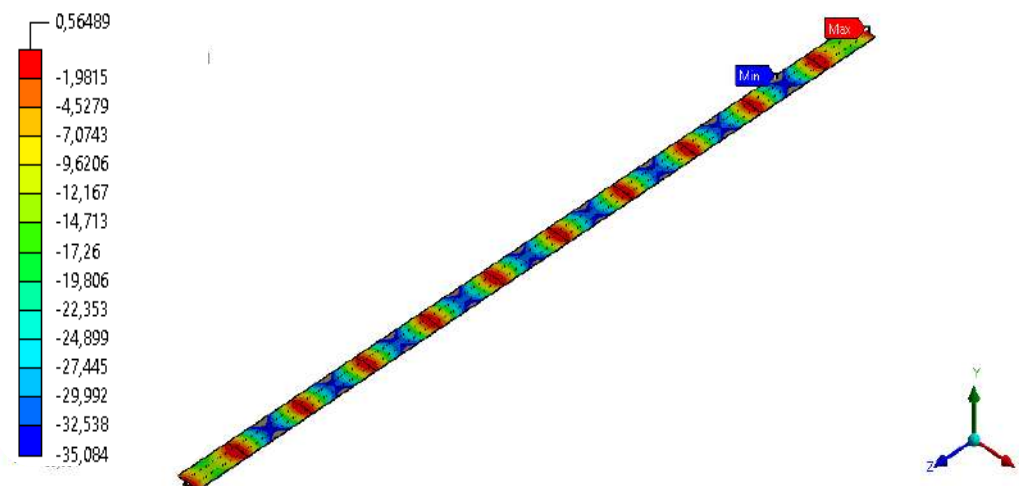


Figura 7. Deslocamentos direcionais no eixo Y com unidade em milímetros.

3.2. Deslocamento total

Com os deslocamentos direcionais, foram obtidos os resultados referentes ao deslocamento total apresentado pela estrutura da ponte do Peixe Gordo, representado na Figura 8. Nota-se a simetria nos deslocamentos na ponte, onde o deslocamento máximo, foram localizadas nas bordas laterais da laje dos vãos 02 e 10, que é igual a 40,68 mm.

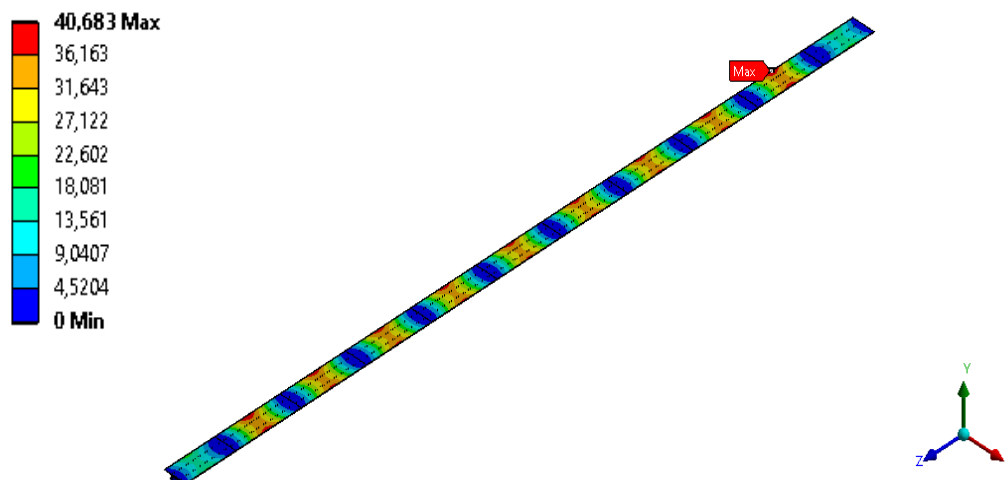


Figura 8. Deslocamento total com unidade em milímetros.

3.3. Tensões principais

A Figura 9 apresenta as tensões principais de tração atuantes na superestrutura da ponte. Os maiores valores de tração encontrados, estão localizados no meio das extremidades inferiores das vigas

(Figura 9.b), onde a maior intensidade encontrada foi no meio do vão 6 (vão central), cerca de 13,21 MPa. Vale salientar que as tensões ultrapassam a resistência característica a tração adotada, de 3,00 MPa.

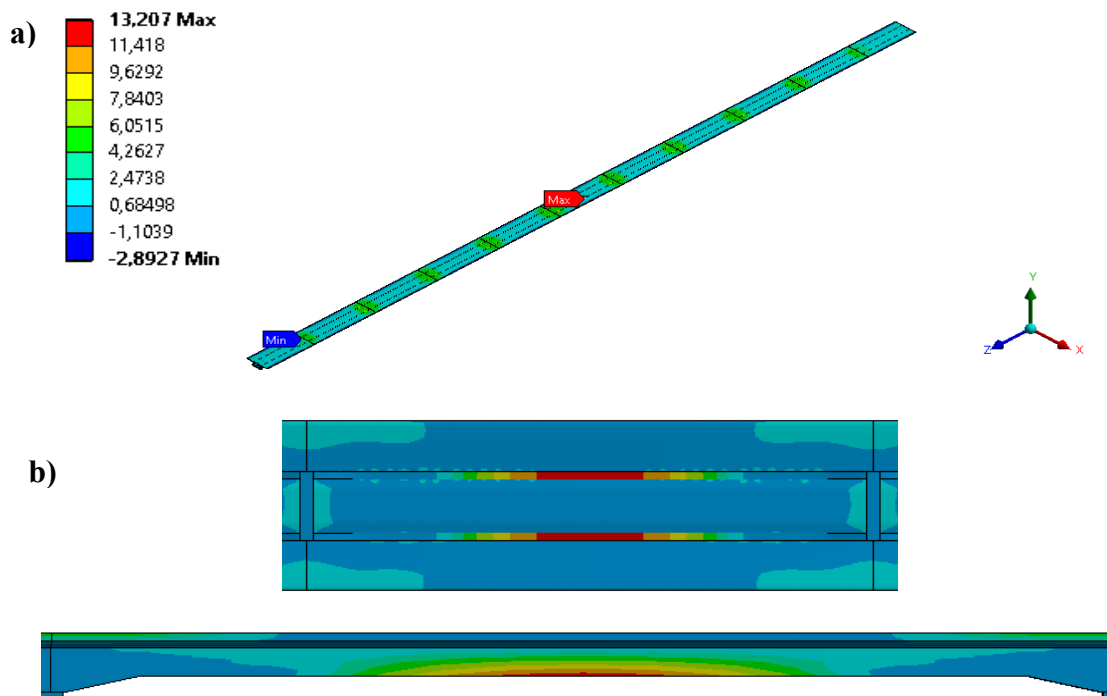


Figura 9. Tensões principais de tração no modelo, unidade em Pascal. (a) Vista em perspectiva, (b) Vistas da viga principal, ponto de maior intensidade.

Já, a Figura 10, apresenta as tensões principais de compressão, os maiores valores estão localizados nas extremidades inferiores dos alargamento das vigas principais, próximo aos apoios dos pilares (Figura 10.b), onde a maior intensidade encontrada, foi de 25,28 MPa.

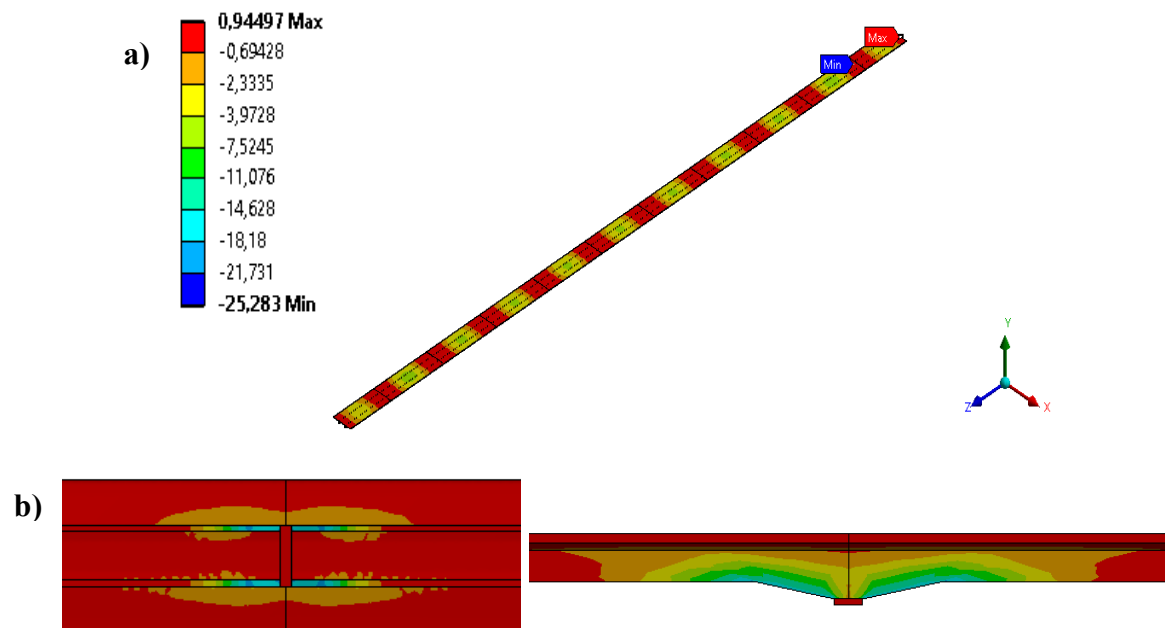


Figura 10. Tensões Principais de compressão no modelo, unidade em Pascal. (a) Vista em perspectiva, (b) Vistas da viga principal, ponto de maior intensidade.

4. CONCLUSÃO

A ponte do Peixe Gordo, com extensão total de 412 metros, é uma obra significativa localizada na BR 116. Logo, por conta de ataques criminosos, provenientes dos atentados criminosos no Ceará em 2019, a fim de interromper esta travessia, com isso a realização da análise estrutural, foi necessário para proporcionar informações a respeito do comportamento da estrutura.

A utilização da análise estrutural via método dos elementos finitos é um aparato importante para a segurança estrutural, pois por meio da modelagem, foram apresentadas as regiões que sofrem maiores solicitações e que porventura possam apresentar danos a estrutura.

No que concerne aos deslocamentos direcionais, obteve-se os resultados que não demonstraram serem indicadores de um eventual sinistro estrutural, apresentaram deslocamentos iguais a 1,03 milímetros para o eixo X, 3,31 milímetros para o eixo Z, e 40,68 milímetros para o eixo Y, maior amplitude obtida. Logo, o deslocamento total obtido na análise, foi de 40,61 milímetros localizado na borda lateral da laje do vão 10. Quanto as tensões principais, os esforços de tração presentes ultrapassam a resistência característica adotada, com máxima de 13,21 MPa, os esforços de compressão apresentaram uma amplitude máxima de 25,28 MPa, valor maior que a resistência adotada no modelo, com isso tem-se a possibilidade do surgimento de danos.

Os modelos numéricos utilizados asseguram dados viáveis, que permitem compreender o comportamento da estrutura e avaliar o nível de tensões atuantes, bem como localizar essas tensões no plano geométrico, com isso expandindo o conhecimento acerca do comportamento e vulnerabilidade dessas estruturas, para auxiliar na manutenção da segurança e preservação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2003). *NBR 8681: ações e segurança nas estruturas - procedimentos*. Rio de Janeiro.

Marchetti, Osvaldemar. (2008). *Pontes de concreto armado*. Blucher, São Paulo.

Pinheiro, L. M. (2007). *Fundamentos do concreto e projeto de edifícios*. Universidade de São Paulo, São Carlos.

Análise dinâmica da superestrutura de uma ponte: alvo de ataques criminosos em 2019, em Tabuleiro do Norte, Ceará

J.Beserra Filho^{1*}, E. Mesquita²

1 LAREB, Engenharia Civil, UFC, Campus Russas, Russas, CE.

2 LAREB, Engenharia Civil, UFC, Campus Russas, Russas, CE.

*Autor correspondente: joao_moradanova@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho se dedica na compreensão do comportamento de uma ponte, frente as ações dinâmicas, dada as possíveis variáveis que podem influenciar na sua estrutura. Para o estudo, a superestrutura da ponte sobre o rio Jaguaribe, mais conhecida como Ponte do Peixe Gordo que está localizada na cidade de Tabuleiro do Norte-CE. São apresentadas as análises dinâmicas, que mostram a caracterização do comportamento da ponte, picos dos deslocamentos totais para cada modo de vibração. Conclui-se que os objetivos propostos no trabalho foram alcançados sendo que os resultados obtidos foram significativos, pois foi possível identificar as regiões mais propicias a excitação dinâmica, possibilitando a identificação de mecanismos de danos, contribuindo para a avaliação da segurança estrutural da ponte.

Palavras-chave: ponte; comportamento estrutural; análise dinâmica.

ABSTRACT

This work is dedicated to understanding the behavior of a bridge, facing dynamic actions, given the various possibilities that can influence the structure. In this study, the superstructure above the Jaguaribe River, better known as Ponte do Peixe Gordo which is in the municipality of Tabuleiro do Norte-CE. Dynamic analyzes are presented, which show the characterization of the bridge's behavior, peaks of the total displacements for each vibration mode. It is concluded that the objectives proposed in the work were achieved and the results obtained were significant, as it was possible to identify the regions most propitious to dynamic excitation, enabling the identification of damage mechanisms, contributing to the assessment of the structural safety of the bridge.

Keywords: bridge; structural behavior; dynamic analysis.

RESUMEN

Este trabajo está dedicado a comprender el comportamiento de una puente, frente a acciones dinámicas, dadas las diversas posibilidades que pueden influir en su estructura. Para el estudio, la superestructura sobre el río Jaguaribe, más conocido como Ponte do Peixe Gordo que se encuentra en el municipio de Tabuleiro do Norte-CE. Se presentan análisis dinámicos, que muestran la caracterización del comportamiento del puente, picos de dos desplazamientos totales para cada modo de vibración. Se concluye que los objetivos propuestos en el trabajo fueron alcanzados y los resultados obtenidos fueron significativos, ya que fue posible identificar las regiones más propicias para la excitación dinámica, lo que permitió identificar los mecanismos de daño, contribuyendo a la evaluación de la seguridad estructural de la puente.

Palabras llave: puente; comportamiento estructural; análisis dinámico.

1. INTRODUÇÃO

A análise estrutural tem por objetivo associar os sistemas físicos com ações externas, aplicando modelos calibrados com os materiais e suas propriedades, tornando possível caracterizar o seu comportamento.

A dinâmica das estruturas tem por objetivo a determinação de deslocamentos, velocidades e acelerações, todos os elementos constituintes de uma estrutura submetida a cargas dinâmicas. Subjaz a isso, é possível constatar, de maneira menos precisa, a dinamicidade das ações sobre as estruturas e, concomitante a essa afirmativa, deve ser observado as forças de inércia e suas respectivas acelerações a que cada um de seus componentes fica sujeito.

Nesse contexto, tem-se a Ponte do Peixe Gordo, esta que foi alvo de ataques criminosos, a análise dinâmica faz-se viável e necessária, com o intuito de verificar a segurança estrutural, como também dispor de dados, que possam embasar em possíveis reparos e intervenções em sua estrutura.

Deste modo, a elaboração deste trabalho, se baseia no comportamento dinâmico da superestrutura da ponte do Peixe Gordo, caracterizando a estrutura sob simulação dinâmica computacional, identificando as frequências naturais, os deslocamentos e as participações de massa.

2. ESTUDO DE CASO

2.1. A Ponte do Peixe Gordo

A ponte do Peixe Gordo, foi construída em 1948, passando por intervenções para propiciar melhorias, no ano de 2001 houve a necessidade do alargamento da ponte, visto o crescimento do tráfego. Tem como obstáculo transposto, o rio Jaguaribe, sua extensão total é de 412 metros, sua superestrutura tem extensão de 390 metros, é composta pelos seguintes elementos estruturais: as longarinas (com alargamento nas proximidades dos pilares), a laje do tabuleiro (pista de rolamento, com acréscimo do revestimento e passarela de passeio), as guarda-rodas e os guarda-corpo.

A ponte foi alvo de ataques criminosos, os quais não ocasionaram danos relevantes a estrutura. Porém com o intuito de se verificar a segurança estrutural da ponte, alguns estudos técnicos foram realizados, dentre os quais, análises computacionais, das quais deriva este trabalho.



Figura 1. Ponte do Peixe Gordo.



Figura 2. Danos causados por ataques criminosos em 2019.

2.2. Modelagem numérica da estrutura

Para a modelagem numérica, buscou-se a elaboração de um modelo 3D que representasse a superestrutura da ponte. Para isso foram utilizadas as informações de projetos do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), onde possibilitou a construção do modelo que representasse a estrutura da ponte o mais fidedigno possível às suas características. Em seguida, o modelo foi importado para o software Ansys®, versão 17.1, para que se obtivesse a malha de elementos finitos. Com isso, obteve-se uma malha composta por 192.784 elementos e 394.252 nós. A Figura 3 mostra um vão do modelo 3D obtido.

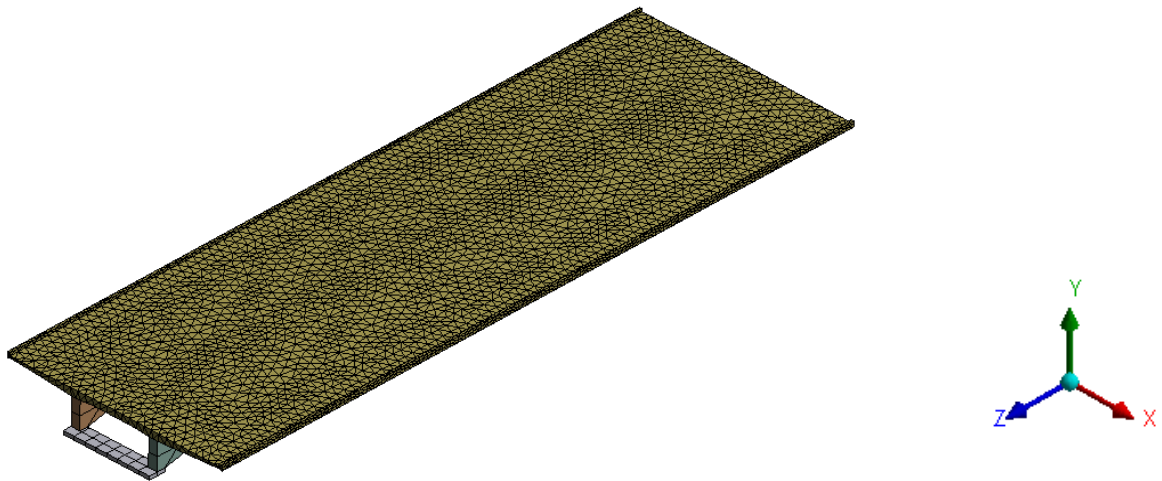


Figura 3. Modelo 3D em malha de elementos finitos.

2.3. Carregamentos e propriedades mecânicas

Os carregamentos aplicados nesta análise foram as ações permanentes das pontes, de acordo com a NBR 8681 (2003), são as cargas constantes, ou seja, peso próprio dos elementos da superestrutura. Os elementos da superestrutura que estão no modelo 3D são as vigas e a laje, para os demais elementos adotaram-se forças para substituir o peso próprio, são eles: guarda-rodas, guarda-corpo e revestimento, assim os carregamentos permanentes estão aplicados na estrutura, onde facilitou a construção da malha do modelo.

Para o cálculo dos carregamentos, o material utilizado em todo o modelo foi o de características que se parecem ao concreto armado. Adotando assim, os seguintes parâmetros, encontrados em Pinheiro (2007), para as propriedades mecânicas do material: considerou-se o módulo de elasticidade (E) de 30 GPa, o peso específico (w) de 25 kN/m, a resistência à compressão (f_c) de 25 MPa, a resistência a tração (f_t) de 3 MPa e o coeficiente de Poisson (ν) de 0,20. As propriedades estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades mecânicas adotadas no modelo numérico para análise estática.

Propriedade Mecânica	Magnitude	Unidade
E	30,00	GPa
w	25,00	kN/m ³
f_c	25,00	MPa
f_t	3,00	MPa
ν	0,20	adimensional

3. RESULTADOS

3.1. Frequências naturais e modos de vibração

Foram extraídos as frequências naturais e períodos de 6 modos de vibração do modelo 3D. A Tabela 2 apresenta os resultados e as respectivas participações de massa para cada eixo, onde o eixo X corresponde ao sentido transversal horizontal da ponte, o eixo Y no sentido vertical e o eixo Z no sentido longitudinal horizontal.

Tabela 2. Frequência natural e período para cada modo de vibração.

Modo de Vibração	Frequência (Hz)	Período (s)	Participação de Massa %		
			Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
1	3,0902	0,324	7,64	1,64	0,00
2	3,0994	0,323	2,46	0,00	5,24
3	3,1154	0,321	21,47	17,07	0,00
4	3,1383	0,319	5,99	0,00	22,95
5	3,1690	0,316	50,26	81,29	0,01
6	3,2094	0,312	12,17	0,00	71,79

Com os dados extraídos, tem-se também as representações gráficas nos eixos X, Y e Z, onde destaca-se as participações de massa no eixo principal do gráfico, no eixo secundário temos as frequências naturais, onde se tem o acréscimo das frequências ao passo que as simulações se desenvolvem.

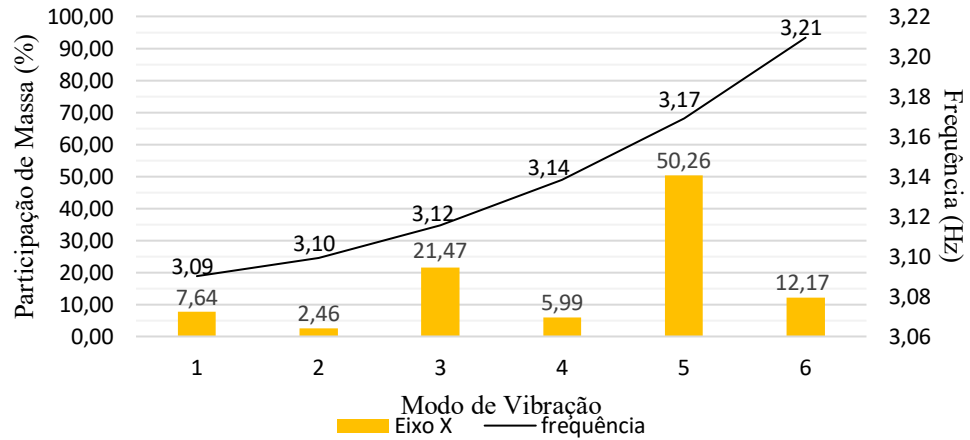


Figura 4. Representação gráfica da participação de massa no eixo X, e também, das frequências naturais de vibração.

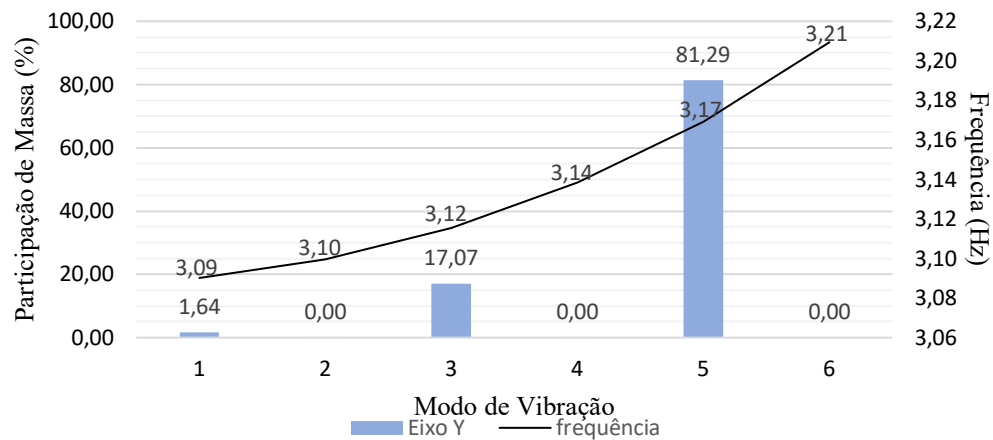


Figura 5. Representação gráfica da participação de massa no eixo Y, e também, das frequências naturais de vibração.

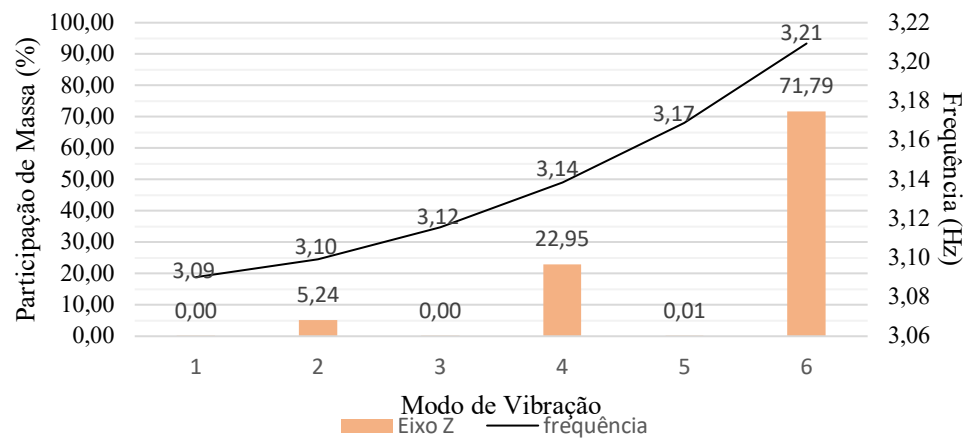


Figura 6. Representação gráfica da participação de massa no eixo Z, e também, das frequências naturais de vibração.

O eixo Y, eixo vertical, foi o que apresentou deslocamentos significativos, em relação aos demais eixos, X e Z, pois a superestrutura da ponte está no plano XZ, sendo assim os apoios fixados estão no mesmo plano, conseqüentemente as vibrações atuam de forma direta no eixo Y. Isso pode ser percebido nos 6 modos de vibração obtidos, e apresentados a seguir.

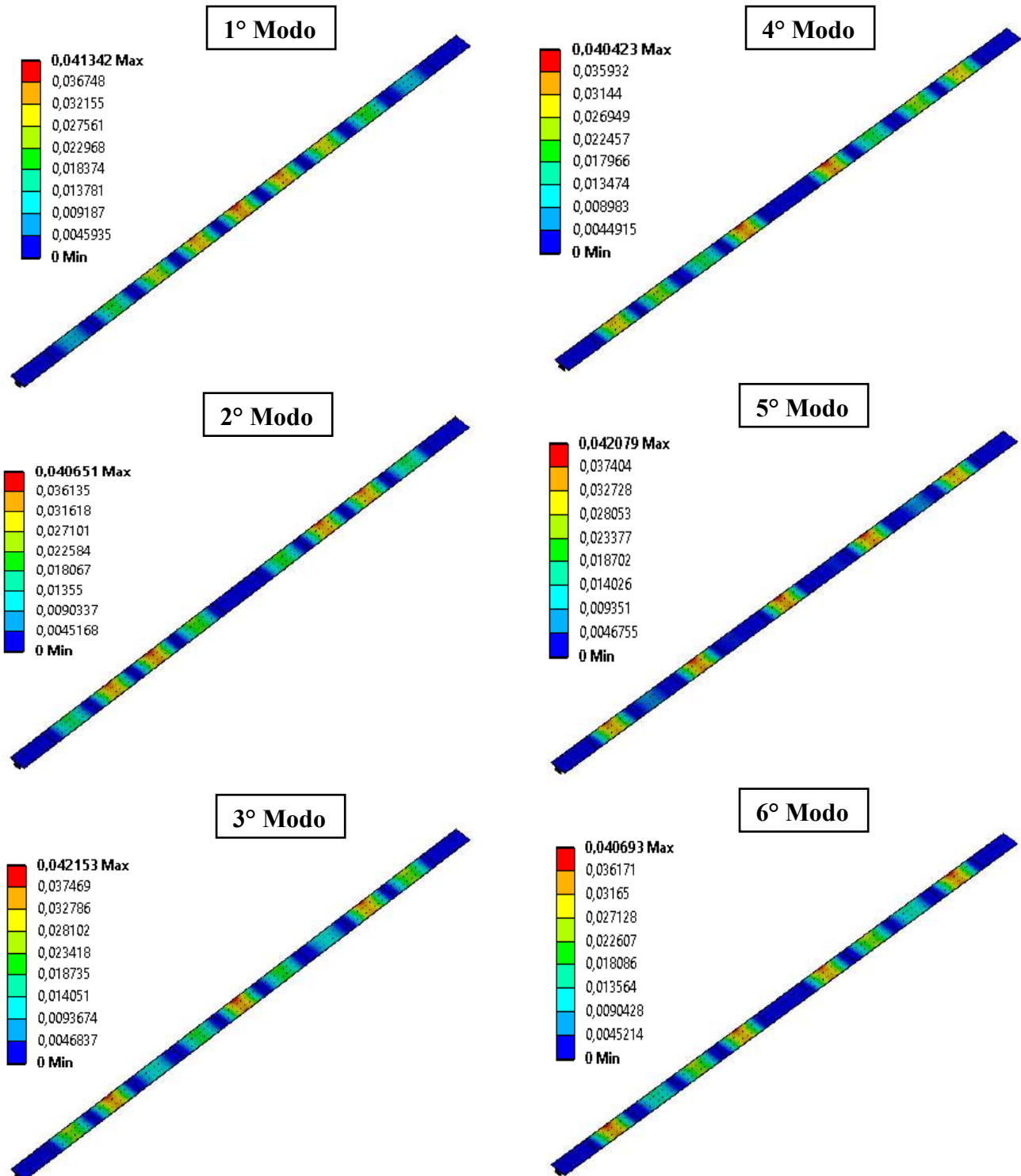


Figura 7. Deslocamentos totais para os 6 modos de vibração, unidade em milímetros.

Observa-se que o primeiro modo, de frequência 3,09 Hz, apresentou um deslocamento máximo de 0,0413 mm, sendo este deslocamento localizado no vão central da ponte, vão 6, mais precisamente na borda lateral da laje no meio do vão. O segundo modo, de frequência 3,10 Hz, apresentou 0,0407 mm de deslocamento máximo, localizado na borda lateral da laje no vão 4.

O terceiro modo, de frequência 3,12 Hz, apresentou um deslocamento máximo de 0,0422 mm, sendo localizado também no vão central, como o primeiro modo. O quarto modo, de frequência 3,14 Hz, apresentou deslocamento máximo de 0,0404 mm, localizado na borda lateral da laje do vão 5 no meio do vão. O quinto modo, de frequência 3,17 Hz, apresentou deslocamento máximo de 0,0421 mm, localizado na borda lateral da laje, no meio do vão central. O sexto modo, de frequência 3,21 Hz, com deslocamento máximo de 0,0407 localizado no meio do vão 10, na borda lateral da laje.

Tabela 3. Frequência natural e deslocamento máximo.

Modo	Frequência (Hz)	Deslocamento Máximo (mm)
1	3,09	0,0413
2	3,10	0,0407
3	3,12	0,0422
4	3,14	0,0404
5	3,17	0,0421
6	3,21	0,0407

4. CONCLUSÃO

A análise dinâmica da estrutura via Método dos Elementos Finitos, possibilitou a identificação das frequências naturais, deslocamentos e participações de massa para 6 modos de vibração.

Os resultados mostraram que no 3º modo de vibração, o deslocamento apresentou maior amplitude, com 0,0422 milímetros. O vão central da ponte foi a região que apresentou todos os máximos deslocamentos desta análise, resultando na região com a maior probabilidade de apresentar danos, pois contém maiores solicitações, sendo assim, a região mais vulnerável da estrutura. Vale ressaltar que é de suma relevância a primeira frequência obtida, pois a está frequência podem resultar em fenômenos oscilatórios danosos a estrutura da ponte.

Quanto as participações de massa, constatou-se as seguintes maiores participações para cada eixo, onde para o eixo X apresentou 50,26% no quinto modo de vibração, para o eixo Y apresentou 81,29% no quinto modo de vibração, e para o eixo Z apresentou 71,79% no sexto modo de vibração. Os resultados obtidos permitem uma maior compreensão a respeito das possíveis respostas da estrutura frente à esforços capazes de introduzir movimentos oscilatórios. Assim, identificou as regiões mais propicias a movimentações durante a ocorrência de uma excitação dinâmica na estrutura. Por fim, pode-se dizer que simulações dessa natureza possuem grande importância como ferramenta para identificação de mecanismos de danos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2003). *NBR 8681: ações e segurança nas estruturas - procedimentos*. Rio de Janeiro.

Pinheiro, L. M. (2007). *Fundamentos do concreto e projeto de edifícios*. Universidade de São Paulo, São Carlos.

RETRAÇÃO POR SECAGEM, PROPRIEDADES MECÂNICAS, CUSTOS E EMISSÕES EM MATERIAIS DE REPARO A BASE DE CIMENTO

R. OLIVEIRA^{1*}; C. RAMPANELLI¹; G. PEDRY¹; E. POSSAN²; R. RIZZI³

*Rafaela Oliveira: ggorafa@gmail.com

¹Mestrando(a) de Engenharia Civil, PPGECI, UNILA, Foz do Iguaçu, Brasil.

² Professora Doutora, ILATIT, UNILA, Foz do Iguaçu, Brasil.

³ Professor Doutor, CCET, UNIOESTE, Cascavel, Brasil.

RESUMO

Neste trabalho avalia-se a retração por secagem (ASTM C596, 2018) de seis materiais de reparo a base de cimento (MRBC) para aplicação em estruturas de concreto, proporcionados pelo Modelo de Empacotamento Compressível (MEC). O consumo de cimento variou de 548, 450 e 350 kg/m³ com adição de polímero EVA (0% e 1,5%), sendo as propriedades mecânicas avaliadas aos 28 dias. O consumo de cimento apresentou influência significativa na retração, sendo que o menor consumo e a presença de polímero resultaram em menor retração. A otimização do consumo de cimento também reduziu as emissões de CO₂. O emprego do MEC pode ser de interesse para o proporcionamento de MRBC, pois auxilia na redução da retração e emissões com atendimento das propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Contração volumétrica; Consumo de cimento; Polímero; Empacotamento de partículas.

ABSTRACT

In this work it is evaluated the drying shrinkage (ASTM C596, 2018) of six cement-based repair materials (MRBC) for application in concrete structures, designed by the Compressible Packing Model (MEC). Cement content varied from 548, 450 and 350 kg / m³ with the addition of EVA polymer (0% and 1.5%), with mechanical properties evaluated at 28 days. The cement content had a significant influence on the shrinkage, and the lower cement content and the presence of polymer resulted in less shrinkage. Optimizing cement content has also reduced CO₂ emissions. The use of the MEC may be of interest for the MRBC mix design, as it help to reduce shrinkage and emissions by meeting the mechanical properties.

Key words: Volumetric contraction; Cement content; Polymer; Particle packing.

RESUMEN

En este trabajo se evalúa la retracción por secado (ASTM C596, 2018) de seis materiales de reparación a base de cemento (MRBC) para aplicación en estructuras de hormigón, proporcionados por el Modelo de Empaque Comprimito (MEC). El consumo de cemento varió de 548, 450 y 350 kg / m³ con la adición de polímero EVA (0% y 1,5%), con propiedades mecánicas evaluadas a los 28 días. El consumo de cemento tuvo una influencia significativa en la retracción, y el menor consumo y la presencia de polímero resultó en una menor retracción. La optimización del consumo de cemento también ha reducido las emisiones de CO₂. El uso de MEC puede ser de interés para la provisión de MRBC, ya que ayudan a reducir la retracción y las emisiones al cumplir con las propiedades mecánicas.

Palabras clave: Contracción volumétrica; Consumo de cemento; Polímero; Empaquetamiento de partículas

1. INTRODUÇÃO

Recebendo manutenções periódicas, as estruturas de concreto apresentam boa durabilidade (HELENE, 1992). Ainda assim, não é raro apresentarem algum grau de deterioração ao longo da vida útil (GALLETTO, 2005). Dentre os fatores físicos que levam à deterioração do concreto, tem-se a fissuração e o desgaste superficial. A fissuração pode ocorrer por variação volumétrica, carregamento estrutural ou acidental e exposição da estrutura a extremos de temperatura. Já a deterioração por desgaste superficial pode ocorrer devido à cavitação, abrasão e erosão (MEHTA; GERWICK, 1982). Em estruturas hidráulicas, geralmente tem-se a ocorrência de cavitação e erosão, sendo comum o desgaste superficial do concreto pela ação do fluxo de água em alta velocidade, observado nas calhas de vertedouros de usinas hidrelétricas (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Considerando que essas manifestações patológicas podem causar desde danos estéticos até danos à capacidade resistente da estrutura (HELENE, 1992), em estruturas hidráulicas que possuem alto valor econômico para serem desativadas ou substituídas, é conveniente o uso de reparos (ROHR, 2018), para reestabelecer propriedades originais dos concretos degradados (GALLETTO, 2005).

Dentre os materiais de reparo, tem-se em geral poliméricos, cimentícios e mistos, que são cimentícios com adição de polímeros (QIAN *et al.*, 2014; MOMAYEZ *et al.*, 2005; LUKOVIC *et al.*, 2012). Os materiais cimentícios, como argamassas e concretos, com e sem adição de polímero, são os mais utilizados para reparos em estruturas de concreto (SOUZA, 2018b). Embora existam outros materiais, os cimentícios são vantajosos, pois possuem propriedades mecânicas semelhantes à maior parte dos substratos de concreto (QIAN *et al.*, 2014; MOMAYEZ *et al.*, 2005; LUKOVIC *et al.*, 2012).

O material de reparo deve ser compatível com o substrato, apresentar durabilidade, resistência, trabalhabilidade, aderência ao substrato, além de impermeabilidade e baixa retração (SOUZA, 2018a). No entanto, em materiais de reparo com elevado consumo de cimento e aplicados em grandes superfícies, a retração tende a ser elevada. Segundo Mehta e Monteiro (2014), com o aumento da quantidade de cimento tem-se um maior volume de pasta e, conseqüentemente, menor quantidade de agregados, que são responsáveis por restringir a retração por secagem. Além disso, de acordo com Silva (2016), elementos com elevada área superficial em relação ao volume perdem umidade mais rapidamente para o ambiente, o que eleva a retração por secagem.

Uma das alternativas para a redução do consumo de cimento é a utilização de métodos de empacotamento de partículas (DAMINELI *et al.*, 2017), que buscam reduzir os vazios intragranulares, preenchendo-os com partículas de menores dimensões (BARANHUK, 2014), com objetivo de melhorar a compacidade da mistura (FURNAS, 1931; ROQUIER, 2019; CAMPOS *et al.*, 2020). Assim, no presente trabalho pretende-se avaliar a influência da redução do consumo de cimento, promovida por um método de empacotamento de partículas, na retração por secagem de materiais cimentícios de reparo com e sem presença de polímeros EVA, para aplicação em grandes áreas de reparo de estruturas erodidas. Além disso, pretende-se verificar as possíveis vantagens econômicas e ambientais na redução do consumo de cimento pela utilização de um modelo de empacotamento de partículas.

2. METODOLOGIA

Neste estudo foram produzidas misturas variando o consumo de cimento (548, 450 e 350 kg/m³) e o teor de adição de polímero EVA (0 e 1,5%), totalizando seis misturas cimentícias (Tabela 1). O proporcionamento base (D1) foi realizado com as proporções definidas por Andrade (2017) e os demais (D2 à D6) foram definidos a partir do Modelo de Empacotamento Compressível (MEC).

Tabela 1. Materiais para a produção de 1 m³ de argamassa para reparo

Material	Misturas					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Cimento Portland (kg/m ³)	548,0	548,0	450,0	450,0	350,0	350,0
Sílica ativa (kg/m ³)	69,0	69,0	47,0	47,0	70,0	70,0
Areia natural (kg/m ³)	1234,0	1234,0	1466,0	1466,0	1570,0	1570,0
Aditivo* (%)	0,22	0,24	0,24	0,24	1,04	1,0
Fibra de polipropileno (kg/m ³)	2,20	2,20	1,80	1,80	1,40	1,40
Polímero EVA*(%)	1,5%	-	1,5%	-	1,5%	-
Água (kg/m ³)	242,0	242,0	249,0	249,0	211,4	211,4
Fíler calcário (kg/m ³)	-	-	149,0	149,0	128,0	128,0
Água/Ligante	0,39	0,39	0,50	0,50	0,50	0,50
Custo (U\$/m ³)	123,70	97,03	115,35	93,77	112,08	95,81

*Teor ótimo de aditivo ajustado pelo índice de consistência, em % sobre massa do cimento.

2.1 Caracterização dos materiais

Para reproduzir amostras de argamassas de reparo, foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland CP V, sílica ativa, fíler calcário, areia natural de origem quartzosa do rio Paraná, aditivo superplastificante, polímero EVA, fibra de polipropileno e água, caracterizados conforme a Figura 1 e Tabelas 2 a 5.

Figura 1. Curvas granulométricas dos materiais particulados

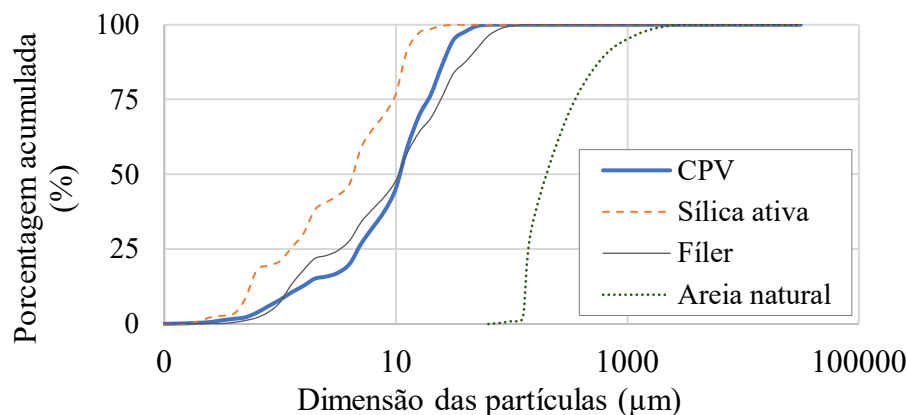


Tabela 2. Resultados dos ensaios de caracterização dos materiais

Propriedade	Norma/Procedimento	Material	Resultado
Massa específica (g/cm ³)	NBR 16605 (2017)	Cimento CP V ARI	2,97
		Sílica ativa	2,20
		Fíler calcário	2,70
	NBR NM 52 (2009)	Areia natural	2,64
Massa unitária (g/cm ³)	NBR NM 45 (2006)	Areia natural	1,76
Dmed (µm) por granulometria a laser	ISO 13320 (2009)	Cimento CP V ARI	12,32
		Sílica ativa	0,35
		Fíler calcário	11,84
Dmax (mm)	NBR NM 248 (2003)	Areia natural	2,36
Demanda de água ¹⁾	Formagini (2005)	Cimento CP V ARI	0,616
		Sílica ativa	0,391
		Fíler calcário	0,737
Ponto de saturação do aditivo	Kantro (1980)	Pasta (cimento + água)	0,3 % ²⁾
		Pasta (fíler calcário + água)	0,3 % ²⁾
		Pasta (sílica ativa + água)	4,0 % ²⁾
Teor de sólidos	ASTM E 2550 (2017)	Aditivo	33%

¹⁾ O ensaio apresenta como resultado os valores de capacidade real dos materiais.

²⁾ Porcentagem de teor de sólidos do aditivo pela massa do material.

Tabela 3. Especificações polímero EVA

Propriedades polímero EVA	
Estado físico	Pó
Teor de umidade (g/cm ³)	0,40 - 0,60
Teor de material retido #40	máximo 10%
pH solução 1%	5,0 - 9,0
Teor de umidade (%)	máximo 2,0%

Fonte: Aditex (Fabricante)

Tabela 4. Especificações fibra

Propriedades fibra de polipropileno	
Comprimento (mm)	6
Diâmetro (µm)	18
Seção	Circular
Alongamento (%)	80
Módulo de Young (MPa)	3000
Peso específico	0,91
Resistência à tração (MPa)	300

Fonte: Maccaferri (Fabricante)

Tabela 5. Composição química por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)

Amostra (%)	Cimento	Areia natural	Sílica ativa	Fíler calcário
N ₂ O	0,4	0,12	0,33	-

MgO	3,73	0,06	0,59	5,5
Al ₂ O ₃	4,24	1,45	0,31	1,3
SiO ₂	16,2	94,4	92,5	5
P ₂ O ₅	0,19	0,05	0,21	< 0,1
SO ₃	4,14	0,03	0,19	0,1
K ₂ O	1,41	1,14	1,91	0,3
CaO	60,6	0,18	1,53	46,3
TiO ₂	0,64	0,48	nd	0,1
Fe ₂ O ₃	4,22	1,6	0,19	0,8
Outros	0,35	0,09	0,25	0,02
P.F	3,86	0,4	1,98	46,3

nd - não detectado; 0,01 - limite de quantificação FRX; P.F = Perda ao Fogo

2.2 Produção e ensaio das amostras

Durante a moldagem foram realizados ensaios de *flow table* de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016), para ajustar a quantidade de aditivo a ser colocado na mistura, assim como o ensaio de massa específica conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005).

Tabela 6. Ensaio no estado fresco

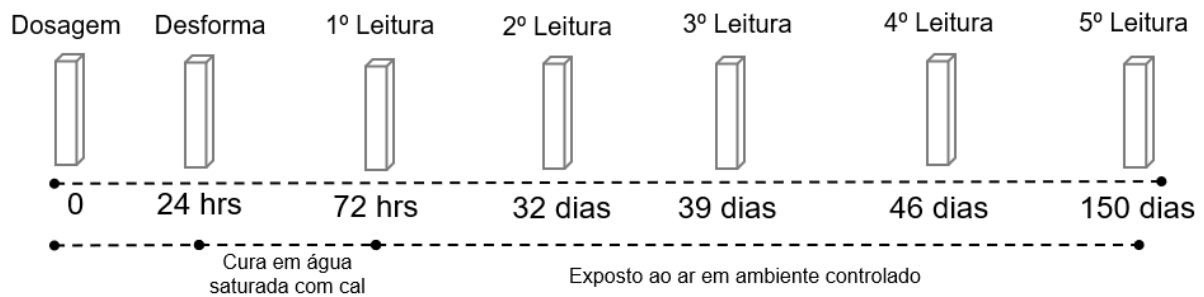
Mistura/ Dosagem	Aditivo (%)	Índice de consistência (mm)	Massa específica (g/cm ³)		Teor de ar incorporado (%)
			Experimental	Teórica	
D1 548 - 0%	0,22	245,10	2,34	2,25	-3,60
D2 548- 1,5%	0,24	243,62	2,30	2,22	-3,30
D3 450 - 0%	0,24	243,74	2,32	2,29	-1,45
D4 450 -1,5%	0,24	237,77	2,31	2,27	-1,96
D5 350 - 0%	1,04	242,05	2,35	2,25	-4,00
D6 350 -1,5%	1,00	237,65	2,34	2,23	-5,00

Para o ensaio de retração por secagem, foram produzidos seis corpos de prova prismáticos de 2,5 x 2,5 x 28,5 cm por mistura, totalizando 36 unidades, desmoldados 24 horas após a produção. Os corpos de prova (CPs) foram submetidos à cura úmida por 48 horas após a desmoldagem, depois disso, foram levados para secagem em sala semi-climatizada durante 25 dias, realizando-se a primeira coleta de dados (72 horas após a moldagem). As demais leituras do ensaio foram realizadas aos 4, 11, 18 e 122 dias, após os 25 dias de secagem.

Para a realização desse ensaio foram seguidos os procedimentos da norma ASTM C596 (2018). As leituras foram feitas por meio de um dispositivo metálico que possui um relógio comparador. O corpo de prova prismático com pinos metálicos acoplados em suas extremidades foi posicionado sempre na mesma posição no dispositivo metálico, e a leitura exibida no relógio comparador foi anotada. As medidas de comprimento das amostras em cada idade são dadas pela subtração da leitura obtida de uma barra padrão da leitura obtida dos corpos de prova

A retração por secagem foi estimada subtraindo da medida de comprimento inicial, aos 3 dias do corpo de prova, as medidas de comprimento nas idades 32, 39, 46 e 150 dias a partir da data de moldagem das amostras. O esquema de ensaio está ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Esquema ensaio de retração por secagem



Para o controle tecnológico do material de reparo, foram realizados aos 28 dias ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade estático e resistência à tração na flexão, de acordo com as normas NBR 5739 (ABNT, 2018), NBR 8522 (ABNT, 2017) e NBR 12142 (ABNT, 2010), respectivamente.

2.3 Indicadores de desempenho

2.3.1 Análise de indicador técnico

Os resultados foram analisados a partir da verificação da influência das variáveis de controle da pesquisa (presença de polímero e consumo de cimento) na variável de resposta (retração por secagem), por meio da análise gráfica dos dados experimentais. Também se fez a análise de variância (ANOVA) no *software* Statística 10.0 avaliando se as variáveis de controle (consumo de cimento e presença de polímeros) exercem influência significativa na retração por secagem (RS) e nas propriedades mecânicas (f_c , f_t e EE) considerando o nível de significância de 5% estipulado na análise.

Os resultados também foram analisados a partir de requisitos de durabilidade do sistema substrato x material de reparo, por meio da verificação das relações ideais entre as propriedades mecânicas do material de reparo e do substrato. Para isso, foram realizadas análises gráficas dos dados experimentais do estudo, em comparação com os dados de três substratos de referência.

2.3.2 Análise de indicador econômico - Custo do material

A análise de custo foi realizada por meio de comparações dos valores do m^3 das misturas estudadas. Conhecidos os valores (kg/m^3) de cada material da mistura (Tabela 1) e seus custos (US\$/kg) (Tabela 7), calcula-se o valor do m^3 de cada mistura desse trabalho. O custo da água foi desconsiderado.

Tabela 7. Informações de compra e custo dos materiais

Material	US\$/kg	Origem do orçamento*	Fornecimento
Cimento Portland CP V	0,10	Concresuper	Tonelada
Sílica ativa	0,22	Tecnosil	Sacos 10 kg
Areia natural	0,01	Concresuper	Tonelada
Aditivo	3,60	Mc - Bauchemie	Tambor 210 kg
Fibra de polipropileno	4,45	Maccaferri.	Sacos de 100g
Polímero EVA	3,20	Aditex	Sacos 25 kg
Fíler calcário	0,08	Calcário Roma	Tonelada

2.3.3 Análise de indicador ambiental - Emissão de CO₂

Na avaliação de indicador ambiental, foram calculadas as emissões de CO₂ das argamassas de reparo. Para isso, estimou-se a quantidade de CO₂ liberada na atmosfera devido ao processo de produção dos materiais constituintes da argamassa de reparo, sem considerar o transporte até o local de utilização.

Para determinar as emissões devido à produção do cimento (E_c) (Equação 1), multiplica-se as emissões da produção do clínquer ($E_{clín}$) pela porcentagem presente no cimento (C_c) e soma-se ao valor da emissão do consumo de energia elétrica (E_{ee}) multiplicada pelo fator de emissão (fe).

$$E_c = E_{clín} \times \%C_c + E_{ee} \times fe \quad (1)$$

Para estimar a emissão final de CO₂ das argamassas, realizou-se a soma proporcional das emissões dos materiais constituintes da argamassa, ou seja, realizou-se o somatório das emissões típicas desses, multiplicado pelo consumo de cada material, conforme observa-se na Equação 2. Na Tabela 8 estão apresentadas as informações de emissões dos materiais utilizados.

$$E_{arg} = E_{cimento} \times C_{cimento} + E_{fíler} \times C_{fíler} + E_{areia} \times C_{areia} \quad (2)$$

Utilizando as Equações 1 e 2 e as informações da Tabela 8, calculou-se as emissões de CO₂ de cada mistura desse trabalho. As emissões das fibras, polímeros e aditivo, foram desconsideradas tendo em vista a dificuldade de encontrar dados confiáveis para as análises. Apesar destes materiais serem empregados em pequenas quantidades, é importante em estudos futuros a consideração das emissões associadas a eles, assim como de outros indicadores ambientais.

Tabela 8. Emissões de CO₂ dos materiais constituintes das misturas em estudo

Material	Processo	Descrição	Emissão	Referência
Cimento	Produção de clínquer	Emissões por calcinação e queima de combustíveis	866	GNR PROJECT (2016)
		Teor no CP V - ARI (%)	90 a 100**	NBR 16697 (2018)
	Energia elétrica	Consumo (kWh/t)	109	GNR PROJECT
		Fator de emissão	0,08	MCTIC (2016).
Fíler Calcário	Produção	Emissão (kg·CO ₂ /t)	8	MILLER <i>et al.</i> (2017)
Areia	Produção	Emissão (kg·CO ₂ /t)	47,84	RIGO (2019)
Sílica	Resíduo	Emissão (kg·CO ₂ /t)	0,00*	KULAKOWSKI

* A sílica é subproduto da produção de ligas de ferro silício, carbono neutro (zero emissão)

**Adotado 95%

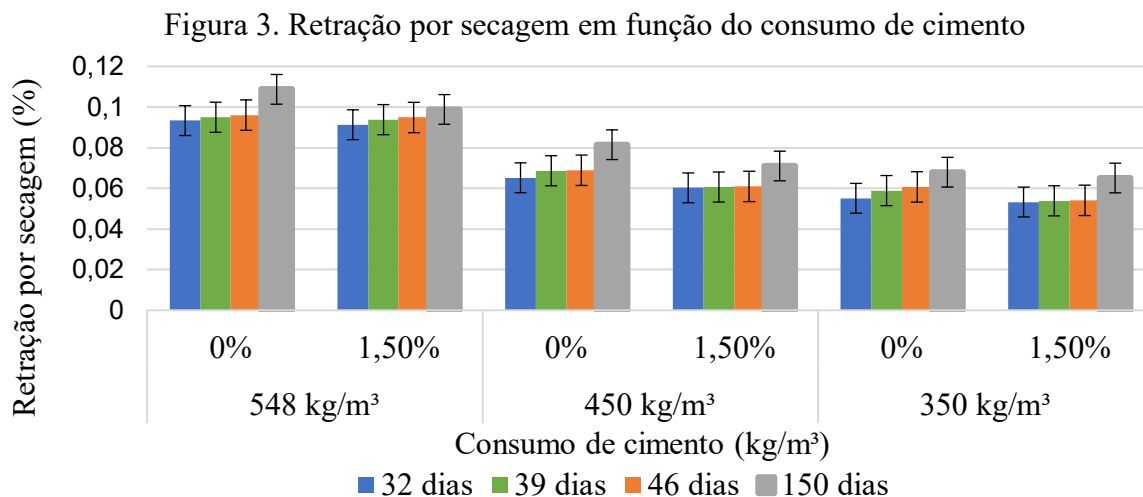
2.3.4 Avaliação global dos indicadores

Com a análise conjunta dos indicadores, pode-se selecionar a mistura mais promissora em termos técnicos (retração e propriedades mecânicas), econômicos (custo) e ambientais (emissões de CO₂).

3. RESULTADOS

3.1 Análise gráfica dos dados experimentais

Avaliando a Figura 3, percebe-se uma tendência de aumento da retração ao longo do tempo.



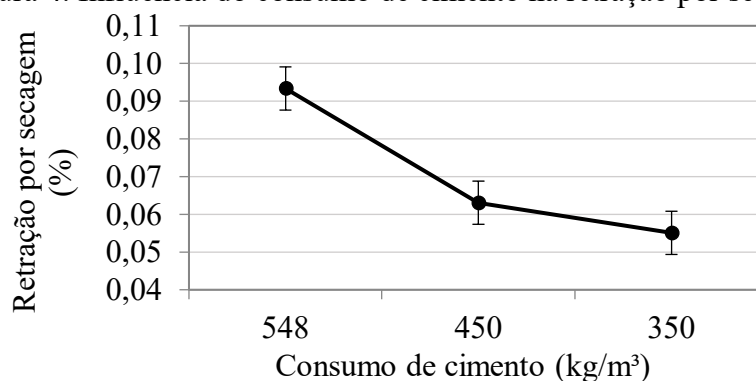
Observou-se que as taxas de retração são maiores para misturas com consumo de cimento mais elevado, em concordância com Mehta e Monteiro (2014). Um consumo de cimento mais alto implica no aumento da quantidade de pasta e assim, a redução da quantidade de agregados. E esses atuam na redução da retração por secagem (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A presença de polímero EVA também influenciou na diminuição da retração, em concordância com Weng (2017), que afirma que os polímeros atuam no preenchimento dos poros capilares, diminuindo assim a perda de água e, logo, a retração por secagem. Assim, as misturas de menor consumo de cimento e com presença de polímero apresentaram as menores taxas de retração.

A redução do consumo de cimento de 548 kg/m³, para 450 kg/m³ e 350 kg/m³, levou a uma redução de 25,07% e 37,49% respectivamente no valor final de retração aos 150 dias. A adição de polímeros às misturas reduziu o valor final de retração por secagem, em 9,09% para o consumo 548 kg/m³, em 12,85% para o consumo 450 kg/m³ e em 4,21% para o consumo de 350 kg/m³.

3.2 Análise de variância (ANOVA) - Retração por secagem

Pela análise de variância (ANOVA), observa-se que apenas o consumo de cimento influencia significativamente a retração por secagem (Figura 4), que é reduzida à medida que o consumo de cimento diminui.

Figura 4. Influência do consumo de cimento na retração por secagem



De acordo com a análise gráfica dos dados experimentais, houve redução da retração com o uso de polímeros, ganho que não pode ser desconsiderado apesar da não significância estatística para o intervalo de confiança de 5 % empregado. Assim, a realização de estudos com maiores idades de

ensaio e outros teores de polímero, para melhor avaliar a significância desses na retração por secagem é recomendada.

3.3 Análise de variância (ANOVA) - Propriedades mecânicas

Pela ANOVA, observa-se que o consumo de cimento é significativo para todas as propriedades mecânicas (f_c , f_t e EE), sendo o único fator de significância para o módulo de elasticidade. Para a resistência à tração e à compressão, os polímeros e a interação entre o consumo de cimento e a idade também apresentaram significância estatística. Para a resistência à compressão, além desses, a idade, a interação da idade com o consumo de cimento e a interação entre idade, consumo de cimento e polímeros, também foram significativos.

3.4 Análise de requisitos de durabilidade

Na Tabela 9, são apresentados os valores dos indicadores de desempenho aos 28 dias dos três substratos de referência (19A35, 19B14 e 19B21) para aplicação de cada mistura da pesquisa, bem como os valores de retração final correspondentes. Os dados dos substratos de referência são da calha do vertedouro de Itaipu e foram obtidos de Escobar (2015).

Tabela 9. Comparativo de indicadores de desempenho

Identificação		Propriedades mecânicas aos 28 dias				Retração aos 150 dias		
		f_c (MPa)	Sd	EE (GPa)	Sd	RS (%)	Sd	
Substrato*	19A35	58,70	-	40,40	-	-	-	
	19B14	57,9	-	37,9	-			
	19B21	50,5	-	31,2	-			
Materiais de reparo	D1	548 - 0%	60,23	1,70	34,01	1,52	0,10871	0,09139
	D2	548 - 1,5%	60,74	2,04	30,75	4,21	0,09883	0,06334
	D3	450 - 0%	49,04	1,27	35,58	1,61	0,08146	0,05405
	D4	450 - 1,5%	44,28	0,78	36,23	4,18	0,07099	0,00911
	D5	350 - 0%	57,22	0,85	37,08	1,63	0,06795	0,07657
	D6	350 - 1,5%	57,65	1,77	42,61	2,85	0,06509	0,01810

Sd = desvio padrão; RS= Retração por secagem; *Os dados do substrato são de Escobar (2015).

Essas propriedades foram avaliadas considerando as relações das propriedades mecânicas entre material de reparo e substrato, para que esse sistema apresente boa durabilidade, indicados na Tabela 10. Ou seja, é desejável que o material de reparo tenha resistência à compressão maior, e módulo de elasticidade similar ao substrato em que será aplicado.

Tabela 10. Requisitos sistema substrato x material de reparo (MR)

Propriedade	Relação material de reparo (MR) x Substrato (S)
Resistência à compressão (MPa)	MR > S
Módulo de elasticidade estático (GPa)	MR \cong S

Fonte: Cusson (2009); Sandström (2010); Lukovic *et al.*, (2012); Vaysburd *et al.*, (2014)

Analisando as Tabelas 9 e 10, percebe-se que as relações ideais para o módulo de elasticidade, não são atendidas para a mistura 548 -1,5% em relação ao substrato 19A35, e para a mistura 350-1,5%, em relação ao substrato 19B21.

Para a resistência à compressão, as misturas de 548 kg/m³ e 350 kg/m³ (considerando o desvio padrão) atendem às relações ideais para todos os substratos, exceto a mistura de 350-0% para o substrato 19A35. A mistura de 450 kg/m³- 1,5% não atende aos requisitos de f_c para nenhum substrato, e a 450-0% fica bem próxima de atender apenas para o substrato 19B21 (considerando o desvio padrão). Isso se deve provavelmente a um problema na dosagem dessa mistura (450 kg/m³), pois essa apresentou uma reação água/ligante mais alta que o traço referência (ver Tabela 1) e a quantidade de sílica está bastante reduzida em relação aos demais traços.

Uma maior relação água/ligante implica em perda de resistência (FORMAGINI, 2005), a sílica é um material reativo responsável pelo ganho de resistência em idades mais avançadas, assim a redução do seu teor também acarreta diminuição da resistência (ANDRADE, 2017).

A combinação de propriedades ideais para redução da fissuração em materiais à base de cimento conta com um baixo módulo de elasticidade, alta resistência à tração, elevada fluência e baixa retração (VAYSBURD *et al.*, 2014). Um módulo de elasticidade menor, diminui a magnitude das tensões devido às variações volumétricas inerentes da estrutura (VAYSBURD, 2005). Quanto maior a resistência à tração, menor a chance de a tensão de tração exceder a capacidade do material resistir a esse esforço, provocando fissuras no material (VAYSBURD *et al.*, 2014).

Os módulos de elasticidade encontrados para os materiais de reparo, em geral, foram próximos aos dos substratos, exceto para a mistura 548-1,5% em relação ao substrato 19A35 e para a mistura 350-1,5% em relação ao substrato 19B21. As resistências à compressão foram mais altas que as dos substratos, nos materiais de 548 kg/m³ e 350 kg/m³ (considerando o desvio padrão), exceto a mistura de 350-0% para o substrato 19A35.

Levando em conta que as misturas de 350 kg/m³, com e sem polímero, apresentaram valores de retração muito próximos entre si, menores que os das demais misturas (450 e 548 kg/m³), e boas propriedades mecânicas, as misturas com 350 kg/m³ de cimento poderiam ser as misturas mais otimizadas em termos de propriedades mecânicas.

Contudo, é importante destacar que para a tomada de decisão faz-se necessário avaliar concomitantemente outras propriedades dos materiais de reparo, sobretudo aderência, erosão ou abrasão hidráulica e coeficiente de dilatação térmica.

3.5 Análise de indicador econômico (Custo do material)

Analisando o custo apresentado na Tabela 1, nota-se que os materiais mais dispendiosos são o cimento e o polímero. Nas misturas sem polímero, ao reduzir o consumo de cimento para 450 kg/m³ e 350 kg/m³, houve uma redução do custo de 3,35% e 1,26% respectivamente em relação ao consumo de 548 kg/m³. Nas misturas com polímero, ao reduzir o consumo de cimento para 450 kg/m³ e 350 kg/m³ houve uma redução do custo de 6,75% e 9,39% respectivamente em relação ao consumo de 548kg/m³.

Ao adicionar polímeros às misturas, houve um aumento no custo de 27,48%, 23,00% e 16,98% para os consumos de cimento de 548 kg/m³, 450 kg/m³ e 350 kg/m³ respectivamente.

Observa-se que a redução do custo do traço referência (548 kg/m³) para o traço de 350 kg/m³ foi pequena, uma vez que para compensar a redução do consumo de cimento, adicionou-se fíler calcário e aumentou-se a quantidade de areia e aditivo, o que elevou o custo. Contudo, tem-se ganhos em relação à redução da retração, o que é desejável do ponto de vista técnico.

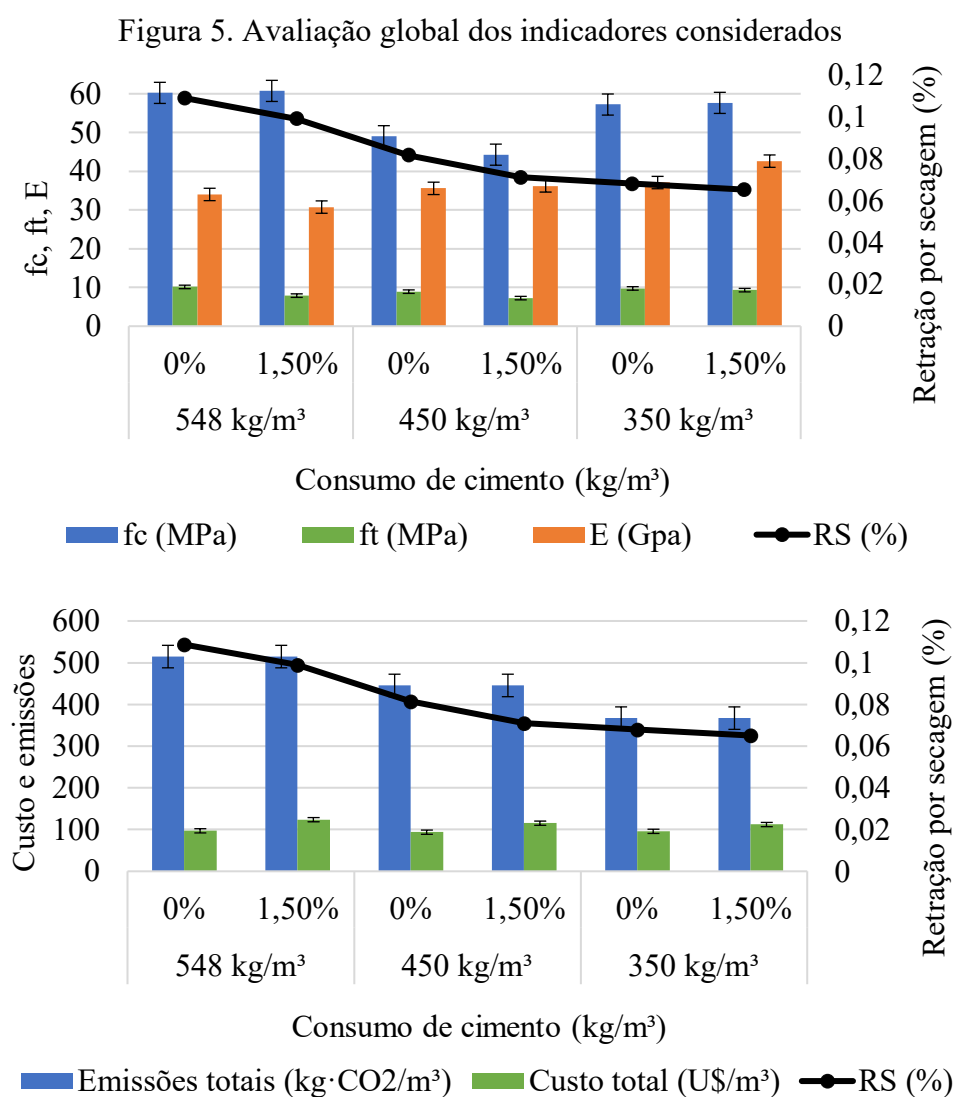
A adição de polímeros às misturas elevou consideravelmente o custo e o ganho em relação à redução de retração foi pequeno. Assim, estudos devem ser conduzidos para determinar o teor ideal de polímero a ser adicionado, a fim de garantir os benefícios da redução de retração, sem elevar tanto o custo.

3.6 Análise de indicador ambiental (Emissão de CO₂)

Os resultados das emissões de CO₂ associadas à produção de cada mistura estão apresentados na Figura 5. Nota-se que ao reduzir o consumo de cimento para 450 kg/m³ e 350 kg/m³ houve uma redução das emissões de CO₂ de 13,44% e 28,66% respectivamente em relação ao consumo de 548 kg/m³. Como as emissões de alguns materiais foram desconsideradas, não houve diferença no valor das emissões pela presença de polímero.

3.7 Avaliação global dos indicadores considerados

Na Figura 5, é possível observar as relações entre as variáveis de controle (consumo de cimento e presença de polímeros), a variável de resposta (retração por secagem) e os parâmetros de análise (propriedades mecânicas (*f_c*, *f_t* e *EE*), custos e emissões).



Fazendo uma avaliação conjunta de todos os aspectos de análise, a mistura de consumo de cimento de 350 kg/m³, sem presença de polímeros (D5), pode ser a mais adequada do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Uma vez que apresentou a menor taxa de retração por secagem, atendeu

às relações das propriedades mecânicas entre material de reparo e substrato para que esse sistema apresente boa durabilidade, proporcionou a maior redução (28,66%) das emissões de CO₂ em relação ao traço de referência, e apesar de pequena, gerou também uma redução de custo de 1,26% em relação a mistura de referência.

4. CONCLUSÃO

Tendo em vista o objetivo de avaliar a retração por secagem, propriedades mecânicas, custos e emissões em materiais cimentícios de reparo, com e sem adição de polímero EVA, proporcionados pelo MEC e analisando os resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

- a) A redução do consumo de cimento proporcionada pela utilização do MEC apresenta influência estatística significativa na retração por secagem, apresentando uma tendência de diminuição da retração por secagem conforme diminui-se o consumo de cimento.
- b) A presença de polímeros também influenciou na retração por secagem, uma vez que as misturas com polímero apresentaram menores valores de retração, no entanto, não se observou significância estatística. Logo, mais estudos devem ser realizados para determinar o teor adequado de utilização deste, pois apesar do efeito positivo do ponto de vista técnico (redução da retração), do ponto de vista econômico, a presença de polímero elevou muito o custo do material de reparo.
- c) Os ganhos da redução do consumo de cimento proporcionada pela utilização do MEC, em termos econômicos, foram pequenos, uma vez que para compensar a redução do consumo de cimento, outros materiais tiveram que ser adicionados, o que elevou o custo global da mistura. Nesse sentido, avaliações econômicas devem ser realizadas concomitantemente ao processo de dosagem para que se possa obter uma mistura com consumo de cimento otimizado e com redução mais significativa dos custos. No entanto no que diz respeito a vantagens ambientais, a otimização do consumo de cimento levou a uma redução nos valores de emissões de CO₂.
- d) Com base nos resultados desse estudo, a mistura que se mostrou mais promissora, considerando todos os aspectos de análise (desempenho, custos e emissões), foi a de consumo de cimento de 350 kg/m³, sem presença de polímeros (D5). Pois, atendeu aos requisitos de durabilidade e proporcionou redução das emissões de CO₂ e custo. Entretanto, mais estudos devem ser conduzidos para determinar o teor adequado de utilização de polímeros, para que seja possível aproveitar seus benefícios quanto à redução de retração sem onerar.

Para estudos futuros, sugere-se a realização de um projeto experimental com estudo de mais teores de polímero, que levem em conta outras propriedades relevantes para o desempenho dos materiais de reparo (aderência, contração térmica, erosão e abrasão hidráulica) e com avaliações de custo em paralelo ao processo de dosagem.

5. AGRADECIMENTOS

À Fundação Parque Tecnológico de Itaipu, pelo financiamento do projeto de pesquisa que originou este trabalho e pela bolsa de estudos. À Itaipu Binacional, à Universidade Estadual do Oeste do Paraná e à Coneresuper de Cascavel, pela colaboração para os ensaios da pesquisa. E à Votorantin e MC-bauchemie pela doação de materiais.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2018). ASTM C596 *Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement*. West Conshohocken. <https://dx.doi.org/10.1520/C0596-18>

ANDRADE, W. P. *Procedimento de reparos de concretos*. 2017. [Documento restrito, cedido pelo autor].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2018). *NBR 5739: Concreto-Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2017). *NBR 8522: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2019). *NBR 11768-3: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 3: Ensaio de caracterização*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2010). *NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). *NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2005). *NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). *NBR 16137: Ensaio não destrutivo - Identificação de materiais por teste por pontos, espectrometria por fluorescência de raios X e espectrometria por emissão óptica*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2018). *NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos*. Rio de Janeiro.

BARANHUK, A. D. (2014), “Análise da influência do empacotamento dos agregados na porosidade do concreto”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 86.

CAMPOS, H.; KLEIN, N.; FILHO, J. M. (2020), Proposed mix design method for sustainable high-strength concrete using particle packing optimization. *Journal of Cleaner Production, Elsevier*, v.265. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121907>

CUSSON, D. (2009), Durability of concrete repaired concrete structures. *Failure, Distress and Repair of Concrete Structure*, pp.297–321.

- DAMINELI, B. L.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. (2017), Influence of packing and dispersion of particles on the cement content of concretes. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, SciELO Brasil*. 10(5):998–1024. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952017000500004>
- ESCOBAR, C. T. M. (2015), “*Estudo de materiais de reparo para a calha esquerda do vertedouro da usina hidrelétrica de Itaipu*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia.
- FORMAGINI, S. (2005), “*Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho*”, Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 285.
- FURNAS, C. (1931), Grading aggregates-i.-mathematical relations for beds of broken solids of maximum density. *Industrial & Engineering Chemistry, ACS Publications*. 23(9):1052-1058. <https://doi.org/10.1021/ie50261a017>
- GALLETTO, A. (2005), “*Reparo de Estruturas de Concreto: Contribuição ao Estudo da Aderência*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, p. 159.
- HELENE, P. R. L. (1992), *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. 2ª. Ed. São Paulo: Pini.
- KANTRO, D. L. (1980), Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste a miniature slump test. *Cement, Concrete and Aggregates, ASTM International*. 2(2): 95-102. <https://doi.org/10.1520/CCA10190J>
- KULAKOWSKI, M. P. (2002), “*Contribuição ao Estudo da Carbonatação em Concretos e Argamassas Compostos com Adição de Sílica Ativa*”, Tese de Doutorado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 199.
- LUKOVIC, M.; YE, G.; VAN BREUGEL, K. (2012). “*Reliable concrete repair: A critical review*”, in: 14th International Conference Structural Faults and Repair, Edinburgh, Scotland, UK, pp. 3-5.
- MEHTA, P. K.; GERWICK Jr., B. C. (1982), Cracking-Corrosion Interaction in Concrete Exposed to Marine Environment. *Concrete International*. 4(10) 45:51.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2014), “*Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*”. IBRACON, 2. ed., Porto Alegre, Brasil, p. 912.
- MILLER, S. A.; JOHN, V. M.; PACCA, S. A.; HORVATH, A. (2018) Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050. *Cement and Concrete Research*. 114 (November 2016):115-124.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÕES - MCTIC. (2016), 3ª Comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. *Secretaria e Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento*. Brasília.

- MOMAYEZ, A; EHSANI, M. R; RAMEZANIANPOUR, A. A; RAJAIE, H. (2005), Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials. *Cement and Concrete Research*. 35(4) 748:757. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.027>
- QIAN, J.; YOU, C.; WANG, Q.; WANG, H.; JIA, X. (2014), A method for assessing bond performance of cement-based repair materials. *Construction and Building Materials*. 68(15) 307:313. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.048>
- RIGO, E. (2019), “*Avaliação da captura de CO₂ devido à carbonatação de concretos com resíduos de construção de demolição*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Integração Latino Americana, p. 59.
- ROHR, N. G. (2018), “*Análise do desempenho de argamassa de reparo com adição de fibra de polipropileno submetida à erosão hidráulica*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p. 75.
- ROQUIER, G. (2019), A theoretical packing density model (tpdm) for ordered and disordered packings. *Powder Technology, Elsevier*. 344(15) 343:362. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.033>
- SANDSTRÖM, T. (2010), “*Durability of concrete hydropower structures when repaired with concrete overlays*”, Tese de Doutorado, Luleå Tekniska Universitet.
- SILVA, L. M. B. da. (2016), “*Influência do carregamento precoce na retração por secagem do concreto*”, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 393.
- SOUZA, K. L. B. de. (2018a), “*Análise numérica da influência do material de reparação em vigas de concreto armado recuperadas*”, Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, p. 196.
- SOUZA, M. H de. (2018b), “*Análise De Argamassas De Reparo De Base Polimérica*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, p. 138.
- VAYSBURD, A. M.; BISSONNETTE, B.; FAY, K. F. von., (2014), Compatibility issues in design and implementation of concrete repairs and overlays. *US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service*. 39(87) 126:136.
- VAYSBURD, A. M. (2005), Repairing concrete: random thoughts on concrete ills and treatment prescriptions. *International Journal of Materials and Product Technology, Inderscience Publishers*. 23(3-4) 164:176. <https://doi.org/10.1504/IJMPT.2005.007725>
- WBCDS. *GNR Project*. Weighted average excluding CO₂ from on-site power generation Grey clinker, 2016b. Disponível em: < <https://www.wbcdcement.org/GNR-2016>. Acesso em: 30/10/2020
- WENG, T-L. (2017), Evaluation of Cementitious Repair Mortars Modified with Polymers. *Advances in Mechanical Engineering*. 9(1) 1:7. <https://doi.org/10.1177/1687814016688584>

Análise da autorregeneração de matrizes cimentícias através de diferentes métodos de inserção de soluções químicas e bacterianas.

A. Loeffl¹, F. Pacheco^{2*}, V. Müller³, H. Z. Ehrenbring², R. Christ², R. C. E. Modolo⁴, B. F. Tutikian²

*Autor de Contacto: fernandapache@unisinis.br

¹ Engenheira Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil

² Doutor(a) em Engenharia Civil, it Performance, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil

³ Engenheiro Civil, it Performance, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil

⁴ Doutora em Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil

RESUMO

Este estudo analisou o potencial de cicatrização do concreto quando do uso de soluções bacterianas e soluções químicas, avaliando diferentes materiais que podem ser empregados para seu encapsulamento. Para encapsular os agentes, foram empregadas argila expandida e perlita expandida. Para analisar a eficácia da cicatrização, realizaram-se as técnicas de análise visual através de microscópio óptico de alta precisão e microtomografia 3D. Os resultados apontaram para um melhor desempenho do traço BAC.AE, utilizando solução bacteriana encapsulada em argila expandida, que foi capaz de cicatrizar fissuras de até 0,57mm, tendo os traços BAC.PE, solução bacteriana encapsulada em perlita expandida, e SS, solução química adicionada no momento de moldagem em substituição à água, cicatrizado fissuras de 0,16 mm e 0,29 mm respectivamente.

Palabras clave: Bioconcreto; Autorregeneração; Autocicatrização; Fissuras; Bactérias.

ABSTRACT

This study analyzed the healing potential of concrete when using bacterial and chemical solutions, evaluating different materials that can be used for its encapsulation. To encapsulate the agents, expanded clay and expanded perlite were used. To analyze the effectiveness of healing, visual analysis techniques were performed using a high-precision optical microscope and 3D microtomography. The results pointed to a better performance of the BAC.AE mixture, using bacterial solution encapsulated in expanded clay, which was able to heal cracks of up to 0.57mm, having the mixture BAC.PE, bacterial solution encapsulated in expanded perlite, and SS , chemical solution added at the time of mixing to replace water, healed cracks of 0.16 mm and 0.29 mm respectively.

Palabras clave: Bioconcrete; Self-healing; Fissures; Bacteria.

RESUMEN

Este estudio analizó el potencial de curación del hormigón al utilizar soluciones químicas y bacterianas, evaluando diferentes materiales que se pueden utilizar para su encapsulación. Para encapsular los agentes se utilizaron arcilla expandida y perlita expandida. Para analizar la efectividad de la curación, se realizaron técnicas de análisis visual utilizando un microscopio óptico de alta precisión y microtomografía 3D. Los resultados apuntaron a un mejor desempeño de la mezcla BAC.AE, utilizando solución bacteriana encapsulada en arcilla expandida, que fue capaz de cicatrizar grietas de hasta 0.57mm, teniendo las mezclas BAC.PE, solución bacteriana encapsulada en perlita expandida, y SS , solución química agregada en el momento de la mezcla para reemplazar el agua, cicatrizaron grietas de 0.16 mm y 0.29 mm respectivamente.

Palabras clave: Biohormigón; Autorregeneración; Autocuración; Fisuras; Bacterias.

1. INTRODUÇÃO

O concreto apresenta inúmeras vantagens que conduzem à sua elevada aplicabilidade (GONSALVES, 2011; SEIFAN; SAMANI; BERENJIAN, 2016), todavia, o material sofre deterioração. Percebe-se que a sustentabilidade das estruturas não pode ser alcançada se necessitarem de constantes reparos e ajustes. Desta forma, é fundamental que haja um aprimoramento na durabilidade dos concretos, especialmente nos países de terceiro mundo, onde mais costumam ocorrer as falhas prejudiciais da indústria da construção (CHEMROUCK, 2015). A durabilidade do concreto pode ser descrita como sua capacidade de resistir à deterioração, sendo essa degradação proveniente da exposição ao clima ou da abrasão da superfície (ACHAL et al, 2011), considerando-se que existem diferentes condições de exposição ambiental (GJORV, 2016). Atualmente, as maiores responsáveis pela degradação do concreto são as fissuras, devido à diversas causas. Visto isso, ao longo dos anos, vêm surgindo inúmeras inovações neste contexto, entra elas o SHC - *Self Healing Concrete* (AZARSA et al, 2019), objeto de estudo deste trabalho. A ideia principal do concreto autorregenerante é que se deve fornecer as condições necessárias para que os agentes presentes na matriz cimentícia possam preencher as fissuras uma vez que elas tenham ocorrido. Nas últimas décadas, pesquisas nessa área apontaram muitas estratégias inovadoras (WU et al., 2012), dentre elas, uso de agentes de cicatrização em fibras ocas, seu micro-encapsulamento (WHITE et al, 2001), inserção de agentes expansivos e aditivos minerais (KISHI; AHN, 2010), materiais de memória de forma (ABDULRIDHA et al., 2012) e soluções bacterianas (KRISHNAPRIYA; BABU; ARULRAJ, 2015).

A adição de soluções bacterianas em matrizes cimentícias tem se mostrado uma possibilidade promissora e sustentável (KRISHNAPRIYA; BABU; ARULRAJ, 2015). Esta técnica de autocura se dá pela adição de cápsulas de algum material específico contendo as bactérias, que podem permanecer inativas durante décadas, juntamente com um nutriente, como o lactato de cálcio. Dessa forma, quando as cápsulas se rompem com a fissuração do concreto e há umidade, as bactérias se tornam ativas e produzem calcita (PATEL, 2015). As bactérias utilizadas devem ter capacidade de suportar a alta alcalinidade do cimento e a pressão de compressão interna da matriz cimentícia onde está inserida. Também deve ser fornecida uma fonte de nutriente para a alimentação das bactérias (LI; HERBERT, 2012).

Além da solução bacteriana, a solução química também tem se mostrado uma alternativa eficaz para o fechamento de fissuras na matriz do concreto (ALGHAMRI; KANELLOPOULOS; AL-TABBAA, 2016). Nos estudos realizados por Huang et al. (2011) e Pelletier et al. (2011) foram utilizadas cápsulas esféricas para encapsular uma solução de silicato de sódio, que quando rompidas liberaram a solução na matriz, onde ocorreu a reação com hidróxido de cálcio, formando silicato de cálcio hidratado (C-S-H) que curou a fissura do concreto.

Dados os atuais e complicados processos de encapsulamento em desenvolvimento, é notável a improbabilidade de suas aplicações em escala real. Nota-se uma escassez de estudos que comparem diferentes métodos de encapsulamento para as soluções bacterianas e químicas inseridas na matriz cimentícia, portanto, este estudo conduz uma análise comparativa, com encapsulamento de bactérias em perlita e argila expandida, e também a eficácia da utilização de silicato de sódio diretamente na água de amassamento.

2. FISSURAÇÃO E AUTOCICATRIZAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

As fissuras são consideradas as manifestações patológicas características das estruturas de concreto e chamam a atenção para o fato de que algo de anormal está acontecendo (BIANCHINI, 2008). Lottermann (2013) explica que algumas das causas mais usuais do fissuramento das

estruturas são: cura mal realizada; retração; variação de temperatura; agressividade ambiental; carregamento; erros de execução e de detalhamento de projeto e recalques dos apoios. As fissuras podem ser divididas entre as que se originam no estado fresco e aquelas que surgem no concreto após seu endurecimento. Podem ainda ser motivadas por mais de uma causa simultaneamente (GUPTA; PANG; KUA, 2017). Considerando o efeito que as fissuras exercem na durabilidade, suas aberturas limites são abordadas em normas nacionais e internacionais (CARMONA FILHO; CARMONA, 2013). Na norma brasileira, por exemplo, as fissuras permitidas encontram-se na faixa de valor entre 0,2 e 0,4mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Por mais que estudos anteriores tenham sido conduzidos nessa temática, o marco inicial mais aceito na literatura, e que mudou a postura acerca do tema, foi a pesquisa de Dry, em 1994. Os estudos conduzidos por Dry (1994 apud BIANCHIN, 2018) propuseram o uso de polímeros encapsulados para obter o concreto autocicatrizante. Além disso, foi proposto não apenas a descrição dos fenômenos envolvidos e suas possíveis causas, mas também o uso intencional dessas propriedades com a finalidade de obter um material mais durável.

Desde 2005, dois comitês técnicos já foram criados para o estudo dos fenômenos de autocicatrização em matérias de base cimentícia (CAPPELLESSO, 2018). Parece haver um consenso no meio técnico de que concretos autocicatrizantes sejam aqueles com o fechamento das fissuras e concretos autorregenerantes como os que envolvem ainda a recuperação de propriedades mecânicas (PACHECO, 2020). Há ainda a diferenciação relacionada aos mecanismos utilizados para tal, divididos entre autógenos e autônomos. Autógeno refere-se à quando o processo de self-healing utiliza materiais que poderiam estar presentes na composição do concreto e que não são especificamente utilizados para a autocicatrização. Já o procedimento autônomo considera o uso de materiais que não seriam encontrados na composição e foram apenas adicionados para este fim. Os mecanismos autógenos não foram estudados nessa pesquisa, sendo amostras com pozolanas ou cimento.

A cicatrização por mecanismos autônomos são as baseadas em microcápsulas preenchidas com agentes cicatrizantes ou tubos vasculares (VAN TITTELBOOM et al., 2011). Entre os agentes de cicatrização têm-se soluções químicas, soluções bacterianas, polímeros superabsorventes (PSA), aditivos redutores de permeabilidade, expansivos, entre outros.

O encapsulamento de soluções químicas corresponde a impregnação de agregados leves e porosos com alguma solução química (ALGHAMRI; KANELLOPOULOS; AL-TABBAA, 2016). Souradeep e Kua (2016) explicam que os agentes são liberados pela ruptura das cápsulas. Após liberação, os agentes cicatrizantes penetram na fissura por meio de capilaridade. Souradeep e Kua (2016) afirmam que a estratégia de encapsulamento é capaz de aumentar a vida útil de agentes químicos ou biológicos de cura, garantindo recuperação e maior durabilidade ao concreto. Em termos das soluções químicas, nota-se o uso de silicato de sódio como uma possibilidade (MANOJ-PRABAHAR et al., 2017).

A aplicação de bactérias para remediação de fissuras consiste na produção de calcita (CaCO_3) que é inócua ambientalmente, quando comparada a polímeros sintéticos usados para reparos de concreto atualmente (RAMACHANDRAN; RAMAKRISHNAN; BANG, 2001). Sobre elas, há algumas diferentes abordagens no uso, podendo ser utilizada a precipitação de carbonato de cálcio através da hidrólise bacteriana da ureia (ELZÉBIO; ALVES; FERNANDES, 2017), assim como a incorporação de esporos bacterianos e compostos orgânicos no concreto (SCHWANTES-CEZARIO et al., 2017).

Um fator que pode afetar as bactérias é o pH muito alcalino do concreto. Outro aspecto é que as células da bactéria podem ser destruídas durante o processo de hidratação do cimento. Por isso, o encapsulamento é uma estratégia de proteção desses seres (JONKERS; THIJSSEN, 2010).

Tabela 1. Variáveis do estudo.

Traço	Cimento	Areia	Perlita	a/c	Agente cicatrizante
Referência	1,00	1,00	-	0,36	-
BAC.PE	1,00	0,7	0,064	0,36	B.subtilis
BAC.AE	1,00	0,7	0,147	0,36	B.subtilis
SS	1,00	1,00	-	0,18	Silicato de sódio

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 apresenta a composição dos traços realizados nessa pesquisa. O traço referência é baseado no estudo de Schwantes-Cezario et al. (2019). Nos traços BAC.AE e BAC.PE foi feita a substituição de 30% da massa de areia pelo volume correspondente de argila expandida (AE) e de perlita expandida (PE), respectivamente. No traço SS foi utilizado aditivo superplastificante Powerflow 3100 para adequação da fluidez, sendo o teor utilizado de 0,89% em relação à massa de cimento. Em cada um dos traços foram realizados os ensaios de compressão, tração na flexão (para indução da fissura) análise visual e microtomografia 3D.

3.1 Materiais

O cimento utilizado no estudo foi o cimento Portland tipo CP II-F-40, da marca Itambé, sem pozolanas. A areia utilizada neste estudo foi areia quartzosa extraída de rios. A massa unitária obtida da areia foi de 1.592,16 kg/m³ e a massa específica de 2.427,36 kg/m³. A obtenção da granulometria da areia, apresentada na Figura 1, foi realizada através de ensaios de acordo com a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Como solução química foi utilizado silicato de sódio neutro, em estado líquido, um composto de fórmula Na₂SiO₃, devido a sua alta compatibilidade com matrizes cimentícias, sendo ele diluído no teor de 50% em água deionizada, motivo pelo qual a relação água/cimento deste traço é metade dos anteriores. A espécie de bactéria utilizada na solução bacteriana do programa experimental é a *Bacillus subtilis* AP 91, oriunda da unidade de Campinas da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Os procedimentos de verificação da curva de crescimento e preparo constam no estudo de Pacheco (2020).

A PE foi fornecida pela empresa Pervale Minerais, com granulometria entre 2 e 4mm, tendo sido peneirada antes da utilização para adequação à esta faixa granulométrica. A determinação da massa unitária foi realizada para o material em sua condição natural e para o material impregnado com a solução bacteriana e revestido com cimento, obtendo valores de 128,43 kg/m³ e 328,52 kg/m³, respectivamente. A determinação da granulometria da perlita (apresentada na Figura 2) foi realizada de acordo com a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

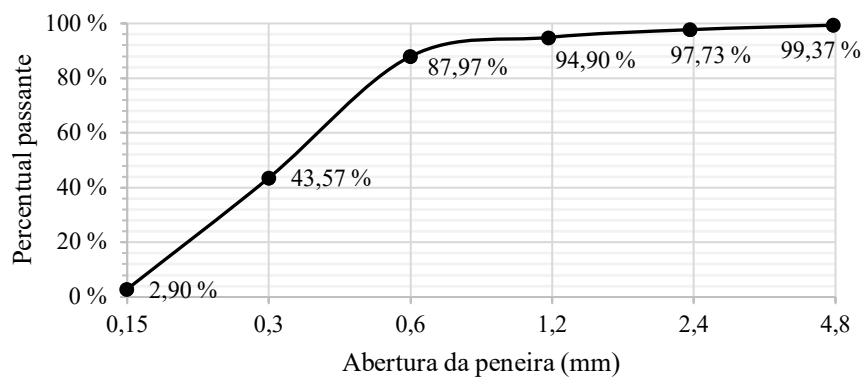


Figura 1. Distribuição granulométrica da areia.

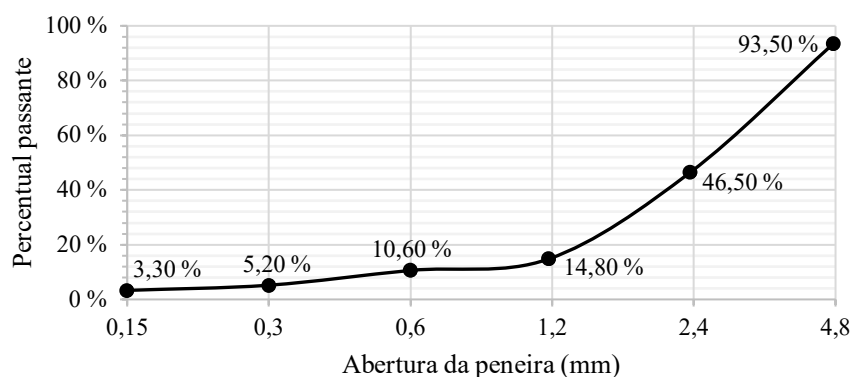


Figura 2. Distribuição granulométrica da perlita expandida.

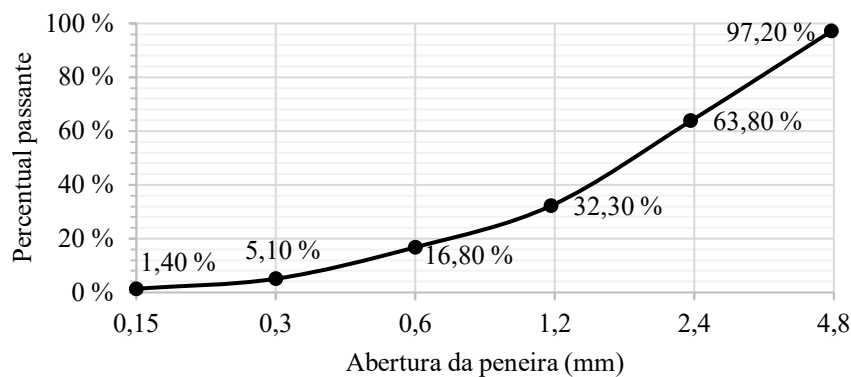


Figura 3. Distribuição granulométrica da argila expandida.

A AE utilizada foi do tipo 0500, adquirida com a empresa Global Minérios, com granulometria entre 2 e 4mm. Para sua caracterização foram realizados os ensaios de massa unitária e da determinação granulométrica (ver Figura 3), de acordo com as normas NBR NM 45 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) e NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), respectivamente. A determinação da massa unitária foi realizada em condição natural e para o material impregnado com a solução bacteriana e revestido com cimento, com valores de 930,39 kg/m³ e 1395,48 kg/m³, respectivamente.

3.2 Métodos

Para as análises realizadas, foram moldados um total de 27 corpos de prova cilíndricos (50 x 100mm) e 9 corpos de prova prismáticos (60 x 60 x 180mm), conforme NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), respectivamente, e 3 corpos de prova cilíndricos (8 x 30mm). As amostras de formato prismático foram armadas com uma barra de aço CA 60 de 5mm de diâmetro, posicionadas a 2cm da base, para que a amostra não sofresse ruptura frágil. Após a desforma, as amostras foram curadas em câmara com umidade e temperatura controlada, conforme a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

3.2.1 Encapsulamento da solução bacteriana

O procedimento com a solução bacteriana envolveu imersão das cápsulas na solução e sua saturação em dessecador à vácuo (SISOMPHON; COPUROGLU; FRAAIJ, 2011). Após finalizada a impregnação, a PE e a AE foram colocadas em bandejas e encaminhadas à estufa por 48 horas à 45 °C, como realizado por Zhang et al. (2017). Juntamente com a solução bacteriana foi disposto o nutriente de lactato de cálcio. Mais detalhes desse procedimento experimental podem ser verificados no estudo de PACHECO (2020).

3.2.2 Ensaios

A resistência à compressão do concreto foi obtida pela NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018). Para formação de fissuras, as amostras prismáticas foram submetidas ao ensaio de tração na flexão por 3 pontos, pela NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). As análises visuais da cicatrização ocorreram na idade inicial e aos 7, 14 e 35 dias.

Foi realizado ensaio de microtomografia 3D para verificar a distribuição de vazios no material. Para este ensaio foram utilizadas amostras de formato cilíndrico de 8x30mm, sendo analisada uma amostra por traço.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados de resistência à compressão, da análise visual e da microtomografia 3D são apresentados nos itens a seguir.

4.1 Resistência mecânica à compressão

Os resultados obtidos para resistência à compressão são apresentados na Figura 4. Pode-se perceber, que a resistência à compressão se manteve muito semelhante ao longo do tempo, o que pode decorrer do cimento utilizado, que já apresenta alta resistência logo nas primeiras idades. A maior diferença encontrada se dá no traço SS, com uma diferença de 4,7 MPa (11,63%) de resistência, entre os 14 e 35 dias. O SS pode ter gerado nesse período C-S-H decorrente da sua ativação, por não depender da fissuração para atuar (GIANNAROS; KANELLOUPOULOS; AL-TABBAA, 2016)

Também é importante observar que houve uma diferença expressiva na resistência ao comparar os diferentes traços, sendo observado que o traço BAC.AE adquiriu uma resistência muito maior do que os outros dois traços utilizados, com até 12,7 MPa de diferença aos 35 dias. É possível que esta diferença ocorra pois a massa unitária da perlita é menor que a da argila, sendo que ambas foram adicionadas às misturas em granulometrias semelhantes.

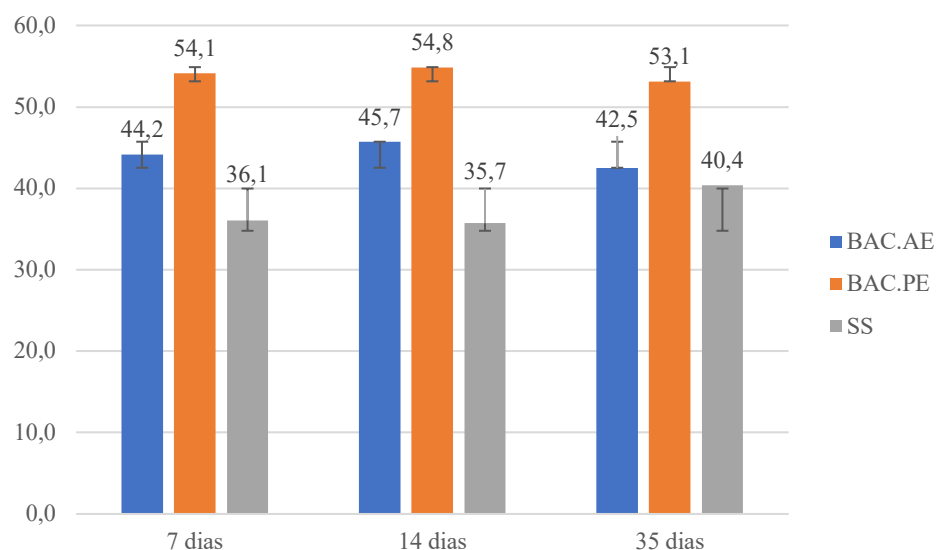


Figura 4. Resistência à compressão média das amostras.

Conforme estudo realizado por Schwantes-Cezario, Nogueira e Toralles (2017), com traço usado nesse estudo, a resistência a compressão encontrada nas amostras deveria ter um valor médio de 65 MPa, porém, este valor não foi atingido em função da inserção de agregado leve na mistura, uma vez que, segundo Jonkers (2011), o uso deste tipo material reduz a resistência à compressão. Porém, este parâmetro não pode ser utilizado ao avaliar o traço SS, uma vez que ele não leva agregados leves em sua composição, ficando assim, o motivo do decréscimo em sua resistência associados à possível hidratação não completa do cimento, devido à baixa relação água/cimento da mistura.

4.2 Análise visual superficial

Destacam-se algumas manifestações verificadas nos traços. No traço BAC.PE, percebeu-se a formação de produtos de cicatrização em fissuras secundárias da amostra, e sua deposição superficial, vide Figura 5.

Como é possível destacar, aparentemente, a limitação das fissuras cicatrizadas decorre da sua abertura máxima. Na fissura principal evidenciada nessa amostra não se percebeu a formação de produtos de cicatrização. Na bibliografia fala-se sobre a cicatrização se limitar a fissuras de menores dimensões (ZHANG et al., 2016; JIANG et al., 2020). Percebeu-se nas amostras que o produto de cicatrização ocorre no formato de placa. A bibliografia afirma que esse formato de placa é atribuído a presença de calcita, produto esperado em soluções bacterianas (SCHWANTES-CEZARIO et al., 2018; ALGHAMRI et al., 2016). Em relação ao traço contendo bactérias em AE, percebeu-se a formação de produtos no interior da fissura, conforme a Figura 6.

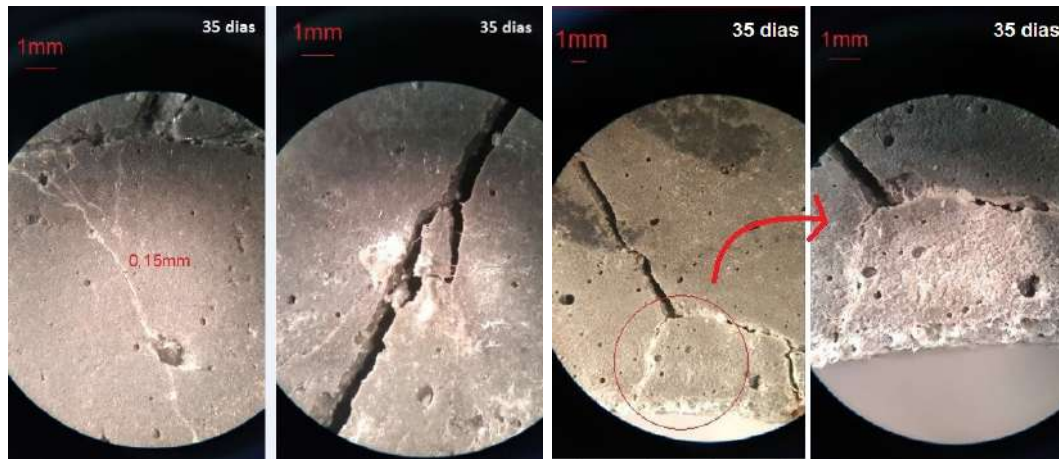


Figura 5. Autocicatrização no traço BAC.PE – Amostra 1.

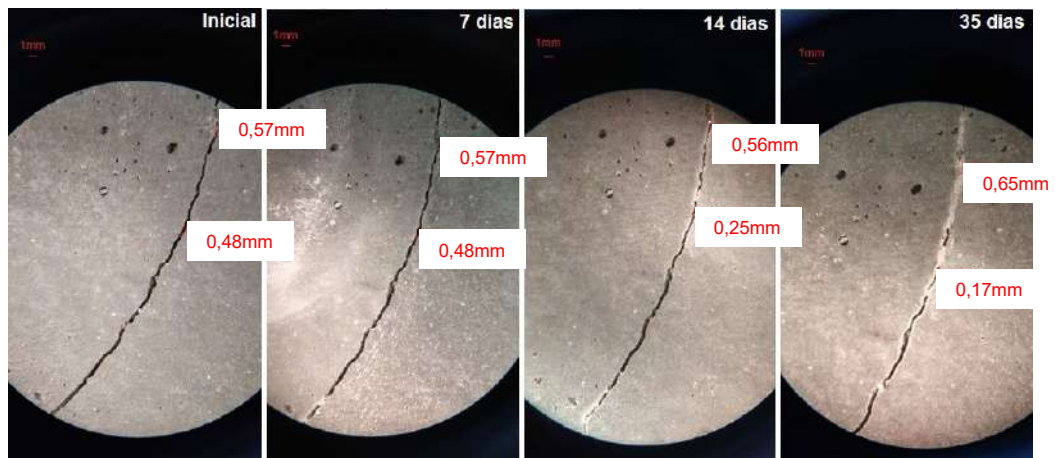


Figura 6. Autocicatrização no traço BAC.AE – Amostra 2.

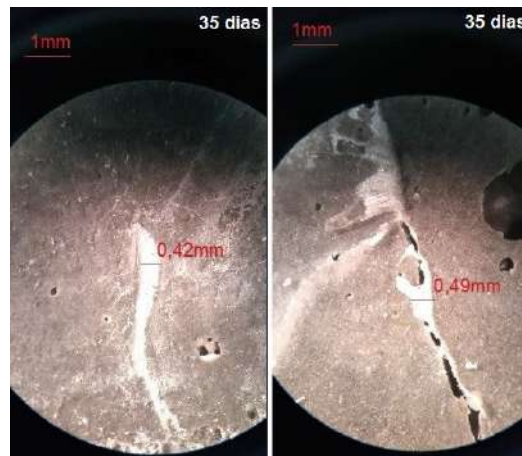


Figura 7. Autocicatrizações no traço BAC.AE – Amostras 3 e 1.

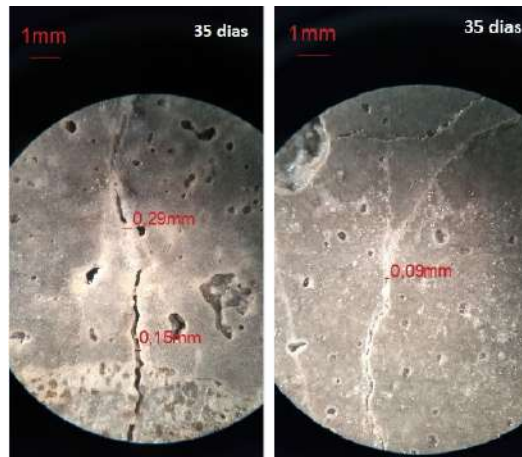


Figura 8. Autocicatrização no traço SS – Amostras 1 e 2.

Houve cicatrização em vários pontos ao longo da fissura, sendo a maior largura de fissura completamente selada de 0,57mm. Percebeu-se o caráter progressivo da cicatrização, sendo a fissura inicial de 0,48mm com apenas 0,17mm na idade final, concordando com Zhang et al. (2017). Outra observação que pode ser feita é que a distribuição do produto não foi uniforme na fissura, o que pode decorrer da disponibilidade da perlita no local para a liberação do produto de regeneração e consequente formação de calcita, o que condiz com o estudo realizado por Alghamri et al. (2016).

Na Figura 7, apresenta-se o traço BAC.AE com cicatrização de 0,42mm e 0,49mm respectivamente. Observa-se que não apenas ocorreu a formação de produto de cicatrização, como sua formação se deu em espessura superior a abertura inicial, indicando depósito na superfície da amostra. Esse tipo de ocorrência é atribuído a presença de calcita, como já citado.

Referente ao traço SS, a Figura 8 apresenta uma fissura com abertura inicial de 0,31mm e final de 0,09mm. Também é importante destacar que houve uma cicatrização em placas pontuais em ambas as amostras, visíveis ao microscópio a partir da idade de 14 dias. Isso pode ser atribuído à existência de pequenos poros superficiais que permitem o acúmulo de água, criando assim um ambiente favorável à autocicatrização. No traço SS, a espessura máxima de fissura cicatrizada foi de 0,29mm, apresentada na amostra 1.

Por fim, é interessante observar que a cicatrização, em todas as amostras, ocorre prioritariamente de maneira pontual. Esse comportamento se dá, provavelmente, devido à dispersão das cápsulas na estrutura interna das amostras. No traço SS pode ter ocorrido falhas na dispersão do silicato de sódio, o que condiz com apontamentos feitos por Van Tittelboom e de Belie (2013). Ainda, percebeu-se que a cicatrização começa a se formar na parede das fissuras, encaminhando-se gradativamente para o centro, corroborando com o estudo de Al-Tabbaa et al. (2019).

Ao comparar com a bibliografia, é visto que Zhang et al. (2017), recuperaram fissuras de até 0,79mm aos 28 dias de cura, sendo esta diferença provavelmente constatada devido aos autores utilizarem outro material regenerante, especificamente, a bactéria *Bacillus cohnii* encapsulada em perlita e revestida com geopolímero. Da mesma forma, Jiang et al. (2020), ao estudarem o encapsulamento de *B. cohnii* em perlita expandida conseguiram selar fissuras de até 0,4mm, valor muito próximo aos encontrados no presente trabalho.

Ainda em comparativo com a bibliografia, Van Tittelboom e de Belie (2013), provam que não há linearidade na cicatrização da fissura, conforme apresentado nos resultados. Isto ocorre, pois a cicatrização só acontece se há disponibilidade de material regenerante, sendo assim, onde não há indícios de cicatrização, não há agente regenerante suficiente disponível para que ocorra o fechamento da fissura. A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados obtidos para a espessura máxima cicatrizada em cada amostra do estudo.

Finalmente, podemos constatar que o traço BAC.AE foi capaz de cicatrizar fissuras com espessuras expressivamente maiores do que ambos os outros traços, uma vez que a maior dimensão selada por ele foi de 0,57mm, enquanto os traços BAC.PE e SS cicatrizaram 0,16mm e 0,29mm, respectivamente. Dito isso, conclui-se que o traço que apresentou melhor eficiência na análise visual das fissuras foi o traço BAC.AE, devido à sua maior quantidade de fissuras seladas e por apresentar as maiores espessuras cicatrizadas.

4.3 Microtomografia 3D

O ensaio de microtomografia 3D foi realizado no Instituto Tecnológico em Ensaios e Segurança Funcional (itt Fuse), na Unisinos. A Figura 9 apresenta os resultados gerados pela microtomografia para o traço BAC.PE. É possível perceber que a PE utilizada na mistura, facilmente detectada pela coloração amarela, encontra-se distribuída de forma regular ao longo da amostra, com apenas alguns pontos com acúmulo de agregado. Esta distribuição é favorável uma vez que ocorram as fissuras, pois haverá uma maior probabilidade de elas encontrarem e romperem cápsulas de PE, liberando o agente cicatrizante. Além disso, apresentam-se vazios no percentual de 11,45% em proporção ao volume total da amostra ensaiada, valor esse que condiz com os resultados à compressão apresentados anteriormente, uma vez que concretos mais porosos costumam ter resistências mais baixas (YANG; JIANG, 2003).

Tabela 2. Resumo dos resultados.

Traço	Amostra	Espessura máxima cicatrizada
BAC.PE	1	0,16 mm
	2	0,14 mm
	3	0,12 mm
BAC.AE	1	0,38 mm
	2	0,57 mm
	3	0,42 mm
SS	1	0,29 mm
	2	0,22 mm
	3	Não ocorreu cicatrização

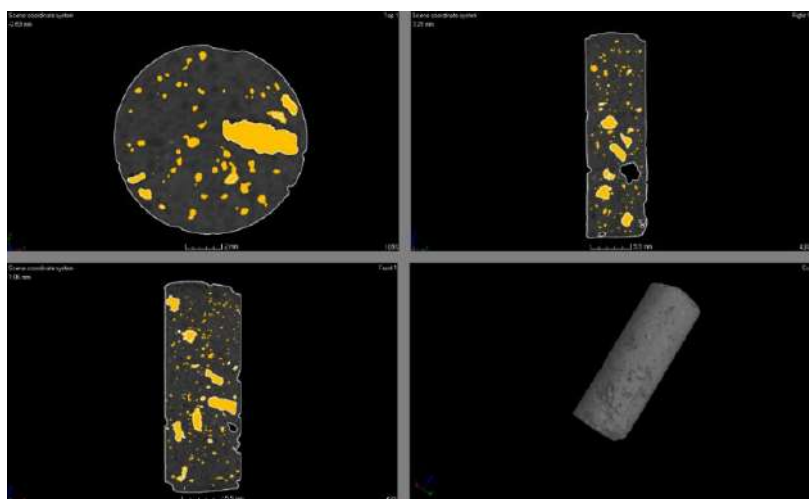


Figura 9. Microtomografia do traço BAC.PE.

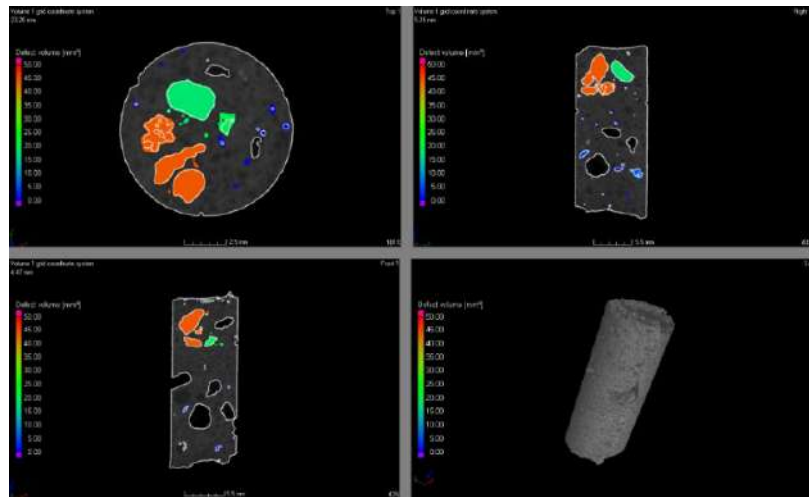


Figura 10. Microtomografia do traço BAC.AE.

É possível observar, na Figura 10, que no traço BAC.AE há uma má distribuição da AE na estrutura interna da amostra ensaiada, sendo a AE os pontos com diferentes colorações dentro da amostra, o que pode ter impactado na distribuição do agente cicatrizante. O percentual de vazios encontrado para esta amostra ensaiada é de 8,38% em proporção ao seu volume, o que pode estar relacionado à maior resistência à compressão observada para este traço.

Por fim, a Figura 11, apresenta os resultados da microtomografia para o traço SS, onde é possível observar uma distribuição adequada dos constituintes da mistura ao longo de toda a amostra, situação essa que, assim como apontado anteriormente, é favorável à formação de produto cicatrizante em toda a superfície da argamassa. O percentual de vazios encontrado nesta amostra é de 2,28% em proporção ao seu volume total.

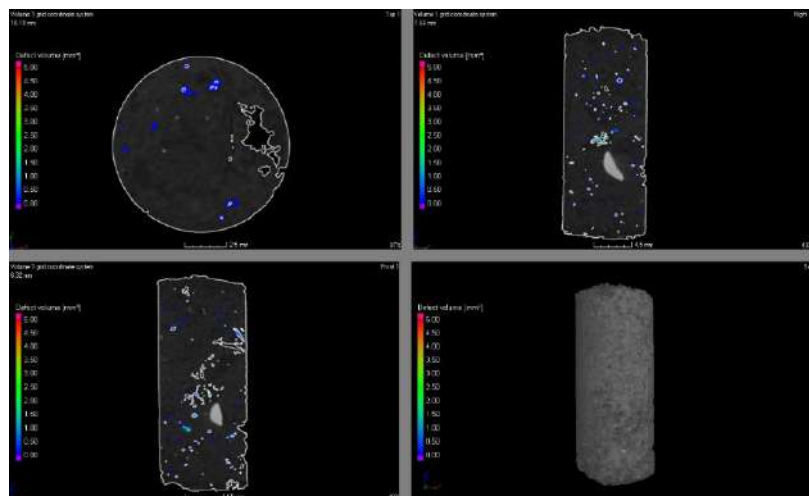


Figura 11. Microtomografia do traço SS.

Sobre a microtomografia do traço SS, é pertinente destacar que a amostra a que se refere não contém agregados leves, e assim, o percentual verificado de vazios é atribuído a falhas na compactidade, a presença de zona de transição e os vazios entre os materiais.

Analisando comparativamente os vazios das três amostras, percebe-se que os dois traços contendo AE e PE apresentaram valores muito superiores, isso pois, mesmo após a impregnação com solução bacteriana a estrutura porosa da PE se manteve, o que resultou nessa identificação

de vazios. No traço SS, de maior compacidade, percebeu-se índice muito inferior. Sobre isso, cabe citar que não se percebem danos na incorporação do SS diretamente na matriz.

5. CONCLUSÃO

O ensaio de resistência mecânica apontou que o traço com melhor desempenho mecânico foi o do traço BAC.AE, composto de solução bacteriana impregnada em AE, que atingiu resistência de 53,1 MPa aos 35 dias, comparado à 42,5 MPa e 40,4 MPa referentes aos traços BAC.PE e SS, respectivamente. Além disso, foi também o traço BAC.AE que apresentou maior capacidade de cicatrização quando realizada análise superficial dos CPs, tendo como fissura máxima selada 0,57mm. Essa espessura é superior às ocorridas nos outros traços, que obtiveram resultados menores, mas ainda assim bastante expressivos e eficazes quanto à cura de microfissuras, ficando em 0,16 mm para o traço BAC.PE e 0,29 mm para o traço SS.

Também é importante observar que a formação dos agentes cicatrizantes não se deu apenas no interior das fissuras, tendo também ocorrido na superfície das amostras, principalmente no traço SS, pois o mesmo, por não conter cápsulas, torna desnecessária a ocorrência de fissuração para liberar o agente regenerador. Dessa forma, há maior facilidade em concentrar o agente regenerante na superfície da amostra. Em complemento, é necessário ressaltar que a cicatrização das fissuras ocorreu mais pontualmente que ao longo de toda sua extensão.

Através da análise da microtomografia 3D, foi possível verificar o volume e o índice de vazios presente em cada traço analisado no estudo, propiciando assim o entendimento de que os materiais constituintes da argamassa estavam bem dispersos dentro das matrizes cimentícias, o que facilita a atuação dos agentes cicatrizantes ao longo de toda a amostra. Exclui-se aqui o traço BAC.AE, pois a amostra ensaiada para ele estava com problemas de moldagem, não sendo possível observar sua real eficácia. A moldagem é dificultada pela reduzida dimensão da amostra e seu adensamento.

Dessa forma, de posse de todos estes dados, é possível concluir que o traço mais eficiente, de forma geral, foi o traço BAC.AE, possivelmente pelo fato de o mesmo utilizar argila expandida em sua composição e a mesma ser mais resistente que os outros materiais empregados, mantendo os microrganismos presentes mais intactos durante o processo de moldagem.

Do ponto de vista da produção e aplicação em larga escala, no entanto, há benefícios e possibilidade de emprego do traço SS, uma vez que os procedimentos envolvidos na impregnação das cápsulas são eliminados do processo produtivo do concreto. Finalmente, este trabalho mostrou-se satisfatório, podendo obter resultados melhores com idades mais avançadas.

6. REFERENCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). *NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). *NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). *NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). *NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). *NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro.

Achal, V., Mukherjee, A., Reddy, M. S. (2011), Effect of calcifying bacteria on permeation properties of concrete structures. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 38:1229-1234.

Al-Tabbaa, A., Litina, C., Giannaros, P., Kanellopoulos, A., Souza, L. (2019), First UK field application and performance of microcapsule-based self-healing concrete. *Construction and Building Materials*. 208:669-685.

Alghamri, R., Kanellopoulos, A., Al-Tabbaa, A (2016), Impregnation and encapsulation of lightweight aggregates for self-healing concrete. *Construction and Building Materials*. 124:910-921.

Carmona Filho, A., Carmona, T. (2013), “*Fissuração nas estruturas de concreto*”. Boletim Técnico ALCONPAT Internacional.

Cappellesso, V. G. (2018), “*Avaliação da autocicatrização de fissuras em concretos com diferentes cimentos*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, p. 279.

Chemrouk, M. (2015), The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete. *Procedia Engineering*. 125:713-724.

Gupta, S., Pang, S. D., Kua, H. W (2017), Autonomous healing in concrete by bio-based healing agents – A review. *Construction and Building Materials*. 146:419-428.

Jonkers, H. M. (2011), Bacteria-based self-healing concrete. *Frankfurter Afrikanistische Blätter*. 8:49-79.

Jonkers, H. M., Thijssen, A. (2010). “*Bacteria Mediated Remediation of Concrete Structures*” in: K. van Breugel, G. Ye, Y. Yuan (Eds.), 2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure, [S. l.], pp. 833-840.

Krishnapriya, S., Babu, D. L. V., Arulraj, G. P. (2015), Isolation and identification of 60 bacteria to improve the strength of concrete. *Microbiological Research*. 174:48-55.

Li, V. C., Herbert, E. (2012), Robust Self-Healing Concrete for Sustainable Infrastructure. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 10:207-218.

- Lottermann, A. F. (2013), “*Patologias em estruturas de concreto: estudo de caso*”, Monografia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, p. 66.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. (2014), “*Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*”. IBRACON, São Paulo, Brasil, p. 782.
- Pacheco, F. (2020), “*Análise da confiabilidade dos mecanismos de autorregeneração do concreto em ambientes agressivos de exposição*”, Tese de Doutorado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, p. 348.
- Patel, P. (2015), Helping Concrete Heal Itself. *ACS Central Science*. 1(9):470-472.
- Pelletier, M. M., Brown, R., Sshukla, A., Bose, A. (2011), “*Selfhealing concrete with a microencapsulated healing agent*”. University of Rhode Island, Kingston, RI, USA.
- Ramachandran, S. K., Ramakrishnan, V., Bang, S. S. (2001), Remediation of concrete using microorganisms, *ACI Mater. J.* 98(1).
- Schwantes-Cezario, N., Nogueira, G. S. F., Toralles, B. M. (2017), Biocimentação de compósitos cimentícios mediante adição de esporos de *B. subtilis* AP91. *Revista de Engenharia Civil IMED*. 4(2):142-158.
- Seifan, M., Samani, A. K., Berenjian, A. (2016), Bioconcrete: next generation of selfhealing concrete, *Applied Microbiology and Biotechnology*. 100:2591-2602.
- Sisomphon, K., Copuroglu, O., Fraaij, A. (2011), Application of encapsulated lightweight aggregate impregnated with sodium monofluorophosphate as a selfhealing agent in blast furnace slag mortar. *Heron*. 56(1-2):17-36.
- Souradeep, G., Kua, H. W. (2016), Encapsulation Technology and Techniques in Self-Healing Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 25:864-870.
- Tittelboom, K. V., De Belie, N. (2013), Self-Healing in Cementitious Materials - A Review. *Materials*. 6:2182-2217.
- Van Breugel, K. (2007). “*Is there a market for self-healing cement-based materials?*” in: First International Conference on Self Healing Materials, Noordwijk aan Zee (Netherlands), pp. 1-9.
- Wang, J., Dewanckele, J., Cnudde, V., Vlierbergue, S. V., Verstraete, W., De Belie, N. (2014), X-ray computed tomography proof of bacterial-based self-healing in concrete. *Cement and Concrete Composites*. 53:289-304.
- Yang, J., Jiang, G. (2003), Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials, *Cement and Concrete Research*. 33:381-386.

Análise de vibrações em estruturas de Cross Laminated Timber e concreto

SIQUEIRA, J. M. S. ^{1*}, MASCIA, NILSON T. ², VILELA, R. ³

*Autor de Contacto: 191366@dac.unicamp.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas Brasil

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a contribuição da parcela de concreto no comportamento dinâmico de peças estruturais em CLT-CONCRETO, para serem utilizadas em lajes de pisos. A partir de resultados numéricos, utilizando-se os softwares RFEM e ANSYS, diferentes modos de vibração foram analisados para atender os limites aceitáveis de vibrações estabelecidos pela NBR 7190/1997. Contudo foi obtida uma redução no pico da amplitude do modo de vibrar relacionado à primeira frequência natural de 17,88 Hz na estrutura de CLT-CONCRETO de 0,8%, se comparada com a mesma estrutura, mas sem a contribuição da parcela de concreto. Verificou-se a partir da análise que a parcela de concreto tem uma contribuição significativa para o aumento da rigidez e também para a frequência natural da estrutura.

Palavras-chave: CLT-CONCRETO; ANÁLISE DINÂMICA; VIBRAÇÕES.

Vibration Analysis in Cross Laminated Timber and Concrete Structures

ABSTRACT

For a better understanding of the mechanical behavior of timber-concrete composite systems, it is considered in this work pieces with composite section of Cross Laminated Timber (CLT) and concrete. This article aims to analyze the dynamic behavior of structural pieces of CLT-CONCRETO from the numerical results, using the software RFEM and ANSYS to evaluate the contribution of the concrete part of CLT-concrete pieces to be used as floor slabs.

Different vibration modes are analyzed to obtain relationships, through the natural frequency, that meet the acceptable limits of vibrations established by NBR 7190/1997.

It was verified from the analysis that the concrete part provides significant contribution to the increase of the rigidity and also the natural frequency of the structure.

Keywords: CLT-CONCRETO; dynamic analysis; vibrations.

Análisis de vibraciones en estructuras de hormigón y madera laminada cruzada

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el aporte de la parcela de hormigón y el comportamiento dinámico de las piezas estructurales en CLT-CONCRETE, para ser utilizadas en forjados. A partir de resultados numéricos, utilizando el software RFEM y ANSYS, se analizaron diferentes modos de vibración para cumplir con los límites de vibración aceptables establecidos por NBR 7190/1997. Sin embargo, se obtuvo una reducción en la amplitud pico del modo de vibración relacionada con la primera frecuencia natural de 17,88 Hz, en la estructura CLT-CONCRETE de 0,8%, respecto a la misma estructura, pero sin el aporte de la porción de hormigón. A partir del análisis se verificó que la parcela de hormigón tiene una contribución significativa al aumento de rigidez y a la frecuencia natural de la estructura.

Palabras clave: CLT-CONCRETE; ANÁLISIS DINÁMICO; VIBRACIONES.

1. INTRODUÇÃO

O Cross Laminated Timber (CLT) é um material engenheirado de construção usado principalmente na Europa onde foi desenvolvido na década de 1990. Leve, resistente e ecológico, o CLT se tornou um dos materiais mais empregados em métodos construtivos em madeira do mundo (Pereira e Calil, 2019).

Também conhecido como Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC) no Brasil, o CLT é um material industrializado composto por lamelas de madeira coladas e dispostas em camadas ortogonais entre si. Apesar de poder ser produzido com diversas espécies de madeira, atualmente a sua manufatura tem sido a partir de variedades de pinus e eucalipto, que no Brasil são espécies de madeira de reflorestamento.

Com base neste questionamento, este trabalho visa: avaliar o comportamento dinâmico em placas de CLT-CONCRETO, avaliar suas vulnerabilidades a movimentos de vibração, que muitas vezes geram desconforto aos usuários, causando sensações de insegurança, esses problemas estão relacionados com os estados limites de serviço, percepção da vibração ou incômodo, esses parâmetros visam garantir segurança aos usuários, buscando com isto uma conscientização do uso correto desses materiais e um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para a confecção de pisos, lajes e paredes das edificações que utilizam esses tipos de materiais denominados de compósitos.

Uma peça composta de CLT e concreto tal como mostrado na Figura 1 possui uma tecnologia com otimização de desempenho e qualificação do material, criando uma conexão estrutural entre componentes de madeira e concreto de excelente desempenho estrutural (Clouston e Schreyer, 2006).



Figura 1. Peça composta de CLT -CONCRETO.

Focando-se em ações dinâmicas nas estruturas que são forças variáveis no tempo, seja em magnitude, sentido ou direção, cujas variações induzem as estruturas ficarem sujeitas as acelerações, velocidades e deslocamentos, gerando forças de inercia e amortecimento, (De Silva, 2000).

Segundo (Lima et al., 2008), “as vibrações podem ser entendidas como movimentos oscilatórios de um sistema em torno de um valor de referência, a sua deformada elástica, a amplitude do movimento oscilatório, determina a magnitude da vibração e sua taxa de repetição, determinando a frequência que o sistema vibra.”

Para se avaliar a solitação dos carregamentos de cargas dinâmicas na estrutura, adota-se uma

estimativa dos parâmetros modais de edifícios CLT para se compreender a resposta sob condições operacionais de testes in loco, e compreender a lacuna entre a resposta dinâmica possivelmente linear do comportamento da carga de serviço, e o comportamento não linear sob excitação de cargas horizontais (ventos fortes e atividades humanas). A diferença é muito maior para edifícios CLT do que para aqueles em concreto ou aço, uma vez que a resistência do rolamento a cargas laterais estão concentradas nas conexões (Aloisio et al., 2020).

O problema se agrava com a utilização de espécies de madeiras com baixos módulos de elasticidade, propriedade essa que correlaciona a deformação elástica com a tensão, isso pode tornar os pisos suscetíveis à elasticidade e vibração (Jiang e Crocetti, 2019).

Nos diversos casos em que as estruturas apresentam vibrações excessivas com atividades humanas o efeito dinâmico é subestimado, principalmente nas ações dinâmicas moderadas que muitas vezes são tratadas como ações estáticas, em grande parte dos problemas de vibração à média da taxa de deformação $\dot{\epsilon} = 0,1s^{-1}$ de forma que mudanças nas propriedades dos materiais são apenas moderadas. Um efeito maior ocorre quando $\dot{\epsilon}$ varia de 1 a $10s^{-1}$ típico no caso de forças de impacto (Bachmann e Ammann, 1987).

Segundo (Rao, 2008) “as vibrações podem ser entendidas como movimentos periódicos que se repetem após um intervalo de tempo e compreendem a transferência alternada de energia potencial para energia cinética, e de energia cinética para potencial.” As fontes de vibração podem ser naturais, causadas por fenômenos da natureza como ventos, terremotos ou causadas pelas atividades humanas, oriundas das movimentações de pessoas, máquinas e equipamentos industriais, tráfego e atividades da construção civil, entre outras.

Um dos pontos de partida mais aceitos em relação à ação humana corresponde à proposta de (Suárez et al., 2019), pressupõe que para frequências naturais superiores a 8 Hz, o componente de baixa frequência do caminhar humano, tende a produzir movimentos que podem ser considerados semiestáticos. O controle da deflexão estática portanto, torna-se um fator decisivo, por outro lado, o impacto do passo excita componentes de frequência mais alta, e a resposta é determinada pela rigidez, massa e razão de amortecimento.

O entendimento das formas modais e de como a estrutura vibrará quando excitada, ajudará o engenheiro projetar melhor a estrutura para aplicações de vibração e ruído. Assim, a análise modal é uma ferramenta poderosa de auxílio ao projeto de estruturas civis.

Conforme (Xing e Liu, 2009) na determinação de soluções exatas para vibração livre de placas, a derivação da expressão matemática do modo de vibração, que satisfaz as equações de problema de autovalor, é a questão mais difícil de ser resolvida, para qual tem dedicado os maiores esforços na tentativa de alcançar soluções aproximadas com grande precisão.

Métodos analíticos muitas vezes derivam de investigações experimentais em um número limitado de tipologias estruturais, uma extensão direta dessas abordagens para diferentes tipos de pisos, deve, portanto, ser verificada. Com todas essas informações pode-se analisar o material com relação à sua fragilidade, quando submetido a condições extremas podendo ser observado seu comportamento nas diferentes situações.

Para se obter uma avaliação mais refinada, métodos simplificados poderiam ser substituídos por métodos mais avançados, tais como uma modelagem numérica capaz de simular melhor as reais propriedades dinâmicas da estrutura nos elementos estruturais e os efeitos de forças externas.

Para verificar o Estado Limite de Serviço (ELS) das vibrações em elementos estruturais de madeira, em ambientes, nos quais há grande movimentação de pessoas, o item 9.3 da NBR 7190 (ABNT, 1997) dispõe que seja adotada uma frequência natural do elemento, superiores a 8 Hz. Por essa razão, a verificação na vibração natural torna-se indispensável em elementos de CLT, para garantir que esses elementos não venham a falhar por vibração excessiva.

2. PROCEDIMIENTO

Um modelo numérico utilizado para se analisar o comportamento dinâmico de peças estruturais em CLT-CONCRETO foi desenvolvido com a utilização de dois softwares, usando a pesquisa acadêmica do Ansys Workbench V.19.2. Essa análise numérica visa avaliar a capacidade do modelo de prever o comportamento real das placas de CLT-CONCRETO e no RFEM, sendo esse um software comercial desenvolvido pela Dlubal Software GmbH e se utiliza do (MEF) método de elementos finitos para realizar análises e dimensionamentos estruturais.

Já a análise numérica foi desenvolvida com auxílio do módulo RF-LAMINATE (DLUBAL SOFTWARE GMBH, 2016) do software comercial RFEM 5 (DLUBAL SOFTWARE GMBH, 2013).

Por fim para se comparar e verificar resultados, foi realizado uma simulação de uma peça somente em CLT sem a contribuição da parcela de concreto.

2.1 Análise Numérica Ansys

Na análise numérica adotou-se um modelo 3D FEM (Método de Elementos Finitos) via ANSYS Composite PrepPost. Esse modulo destina-se a determinação de seções transversais para serem aplicadas a elementos de placa. Tais seções são construídas com camadas de materiais sobrepostas, podendo ser materiais ortotrópicos, com a rotação de suas respectivas camadas, como mostra a Figura 2. No software, após a elaboração de cada camada a qual foi atribuída o material e direção principal, o programa cria uma matriz de rigidez para compatibilização dos deslocamentos com os esforços atuantes, para cada elemento finito discretizado no modelo.

O elemento de shell é desenvolvido em Parametric Design Language (APDL) e utilizado para facilitar a geração de várias camadas das lâminas de CLT, com parâmetros de entrada variados. APDL é um script de linguagem, que permite a automação de tarefas comuns, e a criação de modelos com parâmetros definidos pelo usuário. Os comandos APDL abrangem uma ampla gama de recursos.

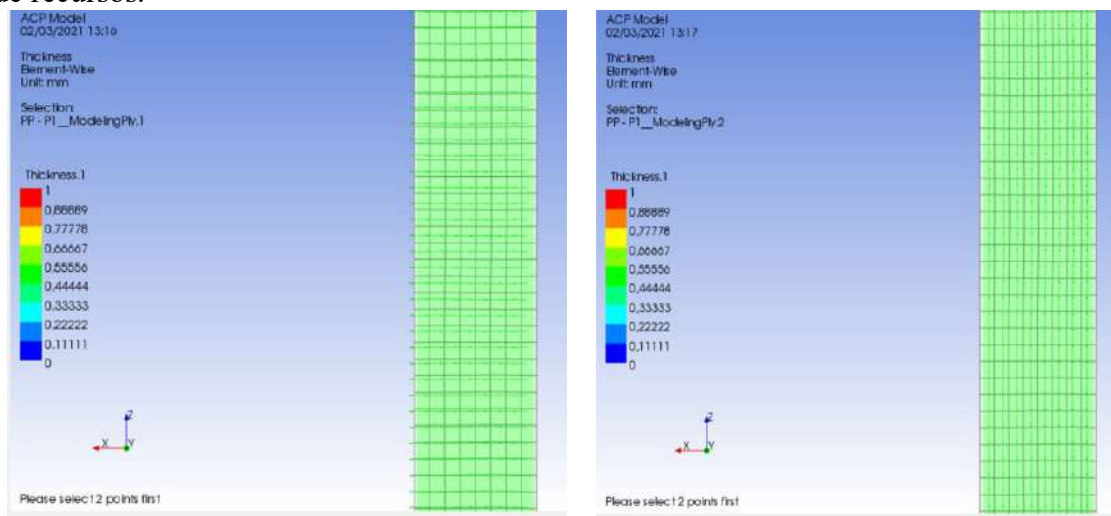


Figura 2. Exemplo de criação de uma seção composta no módulo ACP.

2.1.1 Definição da geometria

Para a simulação numérica do comportamento da placa de CLT-CONCRETO, elaborou-se um modelo de geometria, conforme ilustrado pela Figura 3.

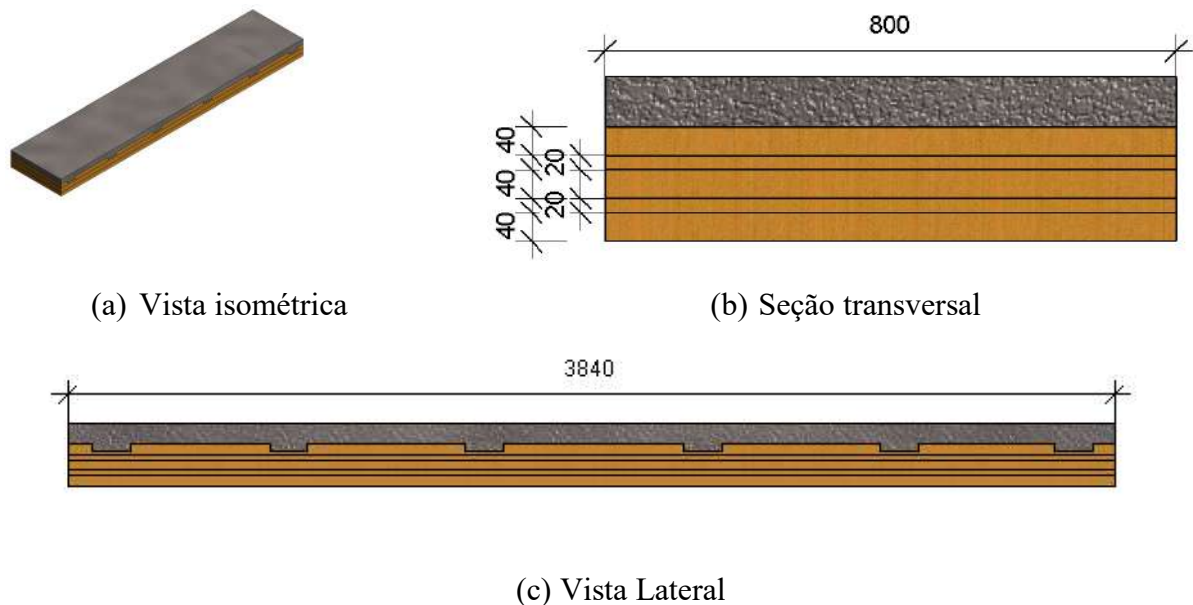


Figura 3. Placa com geometria dos ensaios simulada estática e numericamente com o ANSYS. (Dimensões em mm)

Para as propriedades físicas e mecânicas, utilizadas para a simulação numérica dos ensaios experimentais das placas de CLT-CONCRETO, utilizou-se os parâmetros estabelecidos na norma de classificação dos materiais NBR 7190 (ABNT, 1997) para o *Pinus taeda*, apresentados na Tabela 1. As correlações das propriedades mecânicas da madeira com o módulo de elasticidade longitudinal, considerando-se as direções: radiais, tangenciais e seus respectivos coeficientes de Poisson, foram determinadas com as equações de correlação, (Bodig e Jayne, 1982) apresentadas na Tabela 2. Foi considerado para a análise numérica o concreto da classe C30.

Tabela 1. Propriedades mecânicas do *Pinus taeda*

Propriedades	NBR 7190:1997
E_z (MPa)	13304
ρ (kg/m ³)	645

Tabela 2. Equações para as relações elásticas em função do módulo de elasticidade longitudinal.

Equações (GPa/GPa)	R ²
$E_L/E_T = -0,0174E_L^2 + 0,9927E_L + 11,103$	0,9997
$E_L/E_R = -0,136E_L^2 + 0,9886E_L + 3,0643$	0,9990
$E_L/G_{LR} = -0,0236E_L^2 + 1,1473E_L + 1,1956$	0,9999
$G_{LR}/G_{RT} = 0,0248E_L^2 + 0,08665E_L + 16,811$	0,9938
$E_L/E_R = 0,00002E_L^2 + 0,0012E_L + 1,0544$	0,9951

Tabela 3. Média dos coeficientes de Poisson

Coeficientes de Poisson	Pinus
ν_{LR}	$25,96 \cdot 10^{-6} E_L$
ν_{RL}	$34,95 \cdot 10^{-6} E_R$
ν_{LT}	$31,04 \cdot 10^{-6} E_L$
ν_{TL}	$25,96 \cdot 10^{-6} E_T$
ν_{RT}	$539,98 \cdot 10^{-6} E_R$
ν_{TR}	$620,04 \cdot 10^{-6} E_T$

Tabela 4. Correlação das propriedades mecânicas utilizadas no modelo numérico

Propriedades mecânicas	Bodig e Jayne (1982)
E_z (MPa)	13304
E_y (MPa)	696
E_x (MPa)	621
ν_{zy}	0,35
ν_{xy}	0,52
ν_{zx}	0,41
G_{zy} (MPa)	799
G_{xy} (MPa)	82
G_{zx} (MPa)	799

2.1.2 Elementos de Malha Ansys

O elemento de malha SOLID185 foi usado para modelagem 3-D de estruturas sólidas, sendo definido por oito nós, com três graus de liberdade em cada nó, com translações nodais nas direções x, y e z. A localização do nó para este elemento é mostrada na Figura 4.

O elemento SOLID185 de Geometria Estrutural Homogênea Sólida é definido por oito nós com propriedades de material ortotrópico. O sistema de coordenadas de elementos padrão está localizado ao longo das direções globais, consoante com as direções de material ortotrópico.

O modelo possui 35805 nós e 29568 elementos, sendo analisada a discretização da malha com as dimensões máximas de 5 cm. Para cada elemento finito utilizado como referência foram considerados até o oitavo modo de vibração.

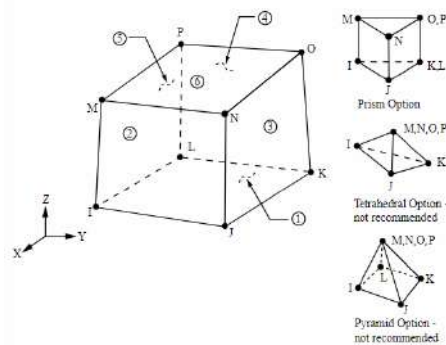


Figura 4. Solid 185 Geometria estrutural

Na Figura 5 apresenta a discretização do modelo numérico.

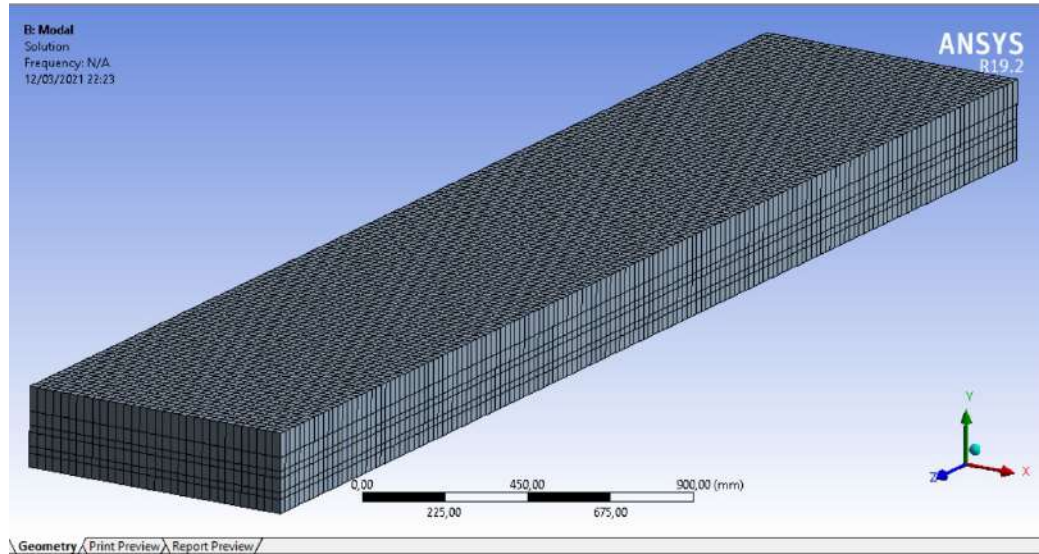


Figura 5. Discretização do modelo numérico

Observa-se que com a mesma geometria foi desenvolvido um modelo numérico para uso do software RFEM.

2.2 ANÁLISE NUMÉRICA RFEM

Inicialmente a geometria do sistema estrutural é solicitada pelo programa RFEM. Essa pode ser definida em função do tipo de estrutura a ser analisada. As dimensões da placa foram limitadas por pontos, que foram conectados por linhas, seguidamente, preenchidos com elementos de placa. Não foram impostas condições de contorno subsidiárias de simetria no modelo. O RF-LAMINATE destina-se a determinação de seções transversais a fim de serem aplicadas a elementos de placa. Tais seções são construídas com camadas de materiais sobrepostas, podendo ser de materiais ortotrópicos. Por essa razão, tal módulo é destinado para modelos de compósitos, pois pode-se utilizar as propriedades mecânicas de materiais ortotrópicos com suas respectivas camadas, conforme mostra a Figura 6.

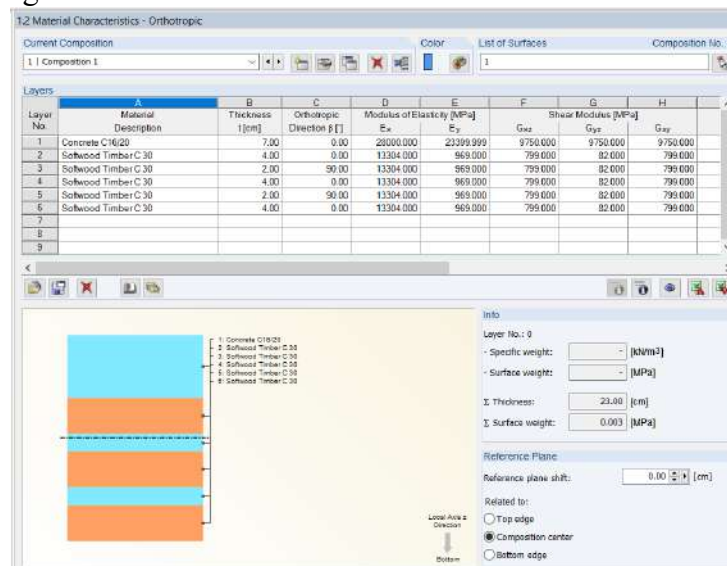


Figura 6. Exemplo de criação de uma seção composta no módulo RF-LAMINATE

Na Figura 7 são apresentadas as dimensões longitudinais e transversais utilizadas para o desenvolvimento do modelo numérico.

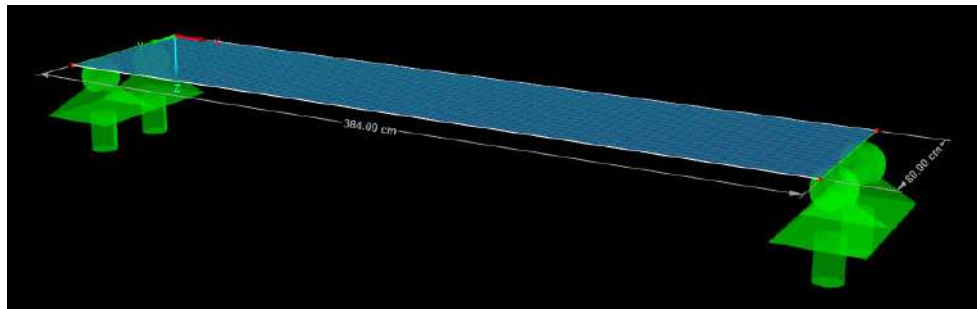


Figura 7. Geometria da placa desenvolvida no modelo numerico

As análises dinâmicas foram realizadas no módulo adicional RF-/DYNAM Pro, sendo que esse modulo fornece uma ferramenta para a análise dinâmica de estruturas mecânicas, sujeitas a excitações externas. Essa extensão é capaz de simular o comportamento de vibração natural de estruturas e estimar os autovalores e autovetores das frequências e modos de vibração, via composição da matriz de massa do sistema estrutural.

A análise do histórico de tempo é efetuada com a análise modal ou com o solucionador implícito de Newmark.

2.2.1 Elementos de Malha RFEM

No programa numérico, a análise de estruturas de placa é realizada empregando-se elementos finitos do tipo Shell, consoantes com a teoria de placas de Mindlin-Reissner. Para se garantir um acoplamento direto com elementos de membrana, é escolhida uma abordagem quadrada no plano de casca (u_x, u_y). Ao se eliminar os nós intermediários, um elemento de quatro nós é criado, com um grau adicional de liberdade ϕ_z . Isso permite que os elementos de placa sejam acoplados diretamente aos elementos de viga. Com base em uma interpolação mista de deformações, rotações e distorções, também são aplicados os elementos conhecidos por MITC4 (Interpolação Mista de Componentes Tensoriais), conforme apresentado Figura 8.

A verificação do tamanho e quantidade de elementos finitos que deveriam ser empregados para a análise numérica foi realizada com o Grid Convergence Index (GCI), seguindo o roteiro de cálculo apresentado no item 3.5.1. ver (Vilela, 2020).

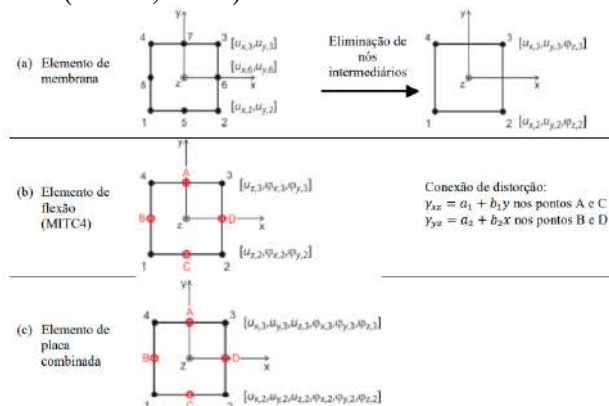


Figura 8. Elementos quadrangulares do RFEM

3. RESULTADOS

Com os resultados de análise numérica pelo método dos elementos finitos com auxílio do software comercial ANSYS, foi possível simular o comportamento da vibração natural da estrutura e estimar as frequências naturais, e os oito primeiros modos de vibração, via composição da matriz de massa do sistema. Os resultados são apresentados na Figura 9.

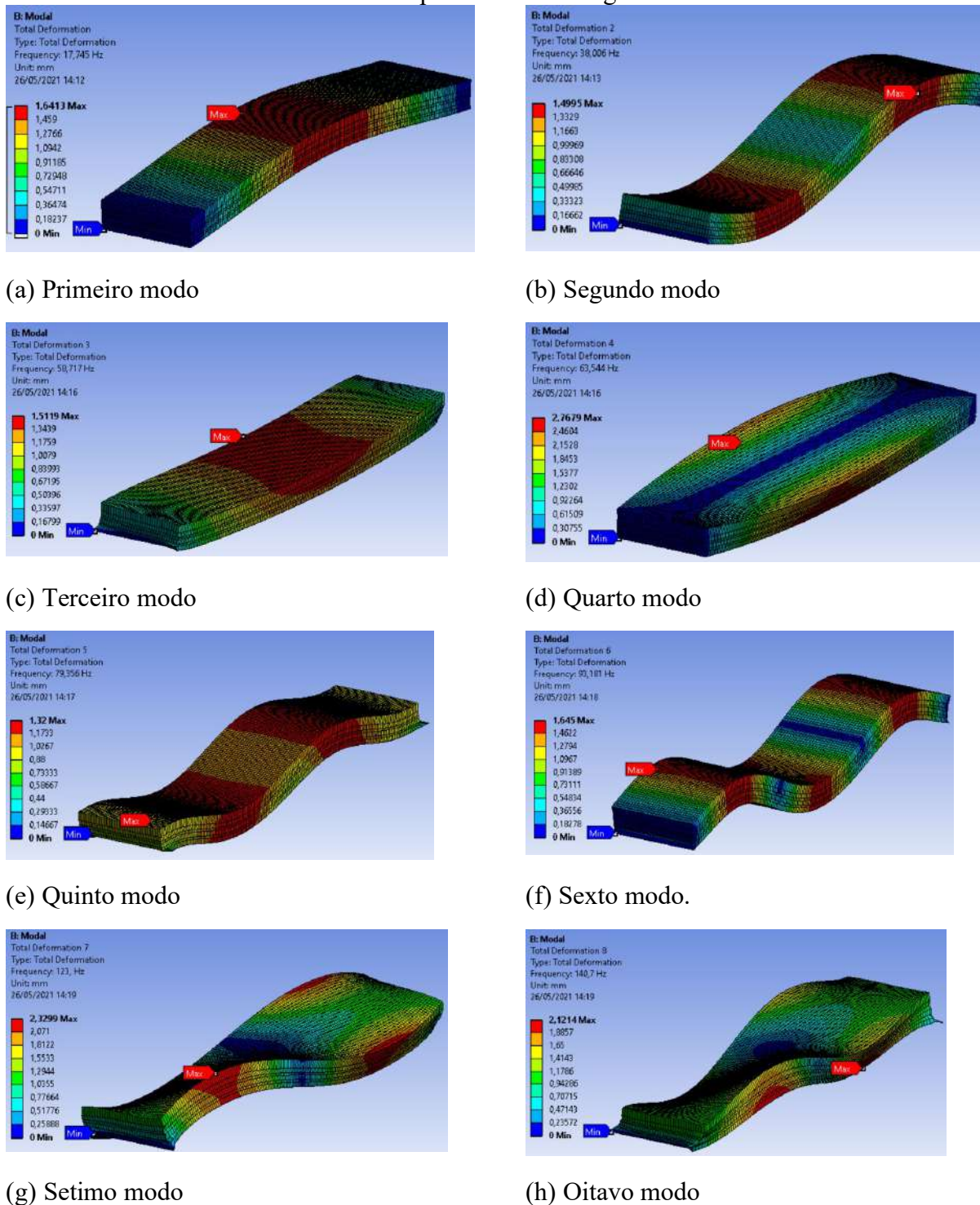


Figura 9. Formas de modos de vibração das simulações numéricas ANSYS.

Considerando-se os resultados obtidos, observou-se que o primeiro modo de vibração flexional de 17,45Hz, sendo o mais importante deles, teve uma participação de modal nas direções “x”, “y”, e “z” da ordem de 0,90, 0,89 e 0,97 respectivamente, valores esses, na qual atua a aceleração da estrutura na direção de análise. São aceitáveis para análise dinâmica linear valores nos quais a massa acumulativa seja de pelo menos 80% na direção predominante da vibração de excitação em que foi analisada.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados do processamento numérico do modelo estrutural ,para os oitos modos de vibração elaborada no ANSYS.

Tabela 5. Frequências naturais e seus respectivos modos de vibração ANSYS

Modo	Frequência angular $\omega \left[\frac{rad}{s} \right]$	Frequência natural F[Hz]	Período natural T[s]
1°	111,49	17,74	0,0563
2°	269,54	38,00	0,0263
3°	369,92	58,71	0,017
4°	399,26	63,54	0,0157
5°	498,62	79,35	0,01260
6°	587,21	93,18	0,0107
7°	772,83	123,00	0,00813
8°	884,08	140,07	0,007107

Na Tabela 5, é possível observar que as simulações com o peso específico estabelecido conforme as classes NBR 7190 (ABNT ,1997) , geraram frequências naturais maiores que 8 Hz. Conforme se aumenta a ordem do modo de vibração é identificada uma ampliação da diferença entre as frequências naturais. Isso demonstra, portanto, que a simulação do primeiro modo de vibração seria a mais crítica, e quando se encontra frequências naturais abaixo de 8Hz, um estudo mais criterioso das propriedades dinâmicas deve ser efetuado. Contudo se exige que as demais frequências naturais sejam avaliadas, a fim de se dimensionar em intervalos aceitáveis que não coincidam com as probabilidades de ocorrência de ressonância.

Os resultados de análise numérica pelo método dos elementos finitos, com auxílio do software comercial RFEM estão apresentados na Figura 10.

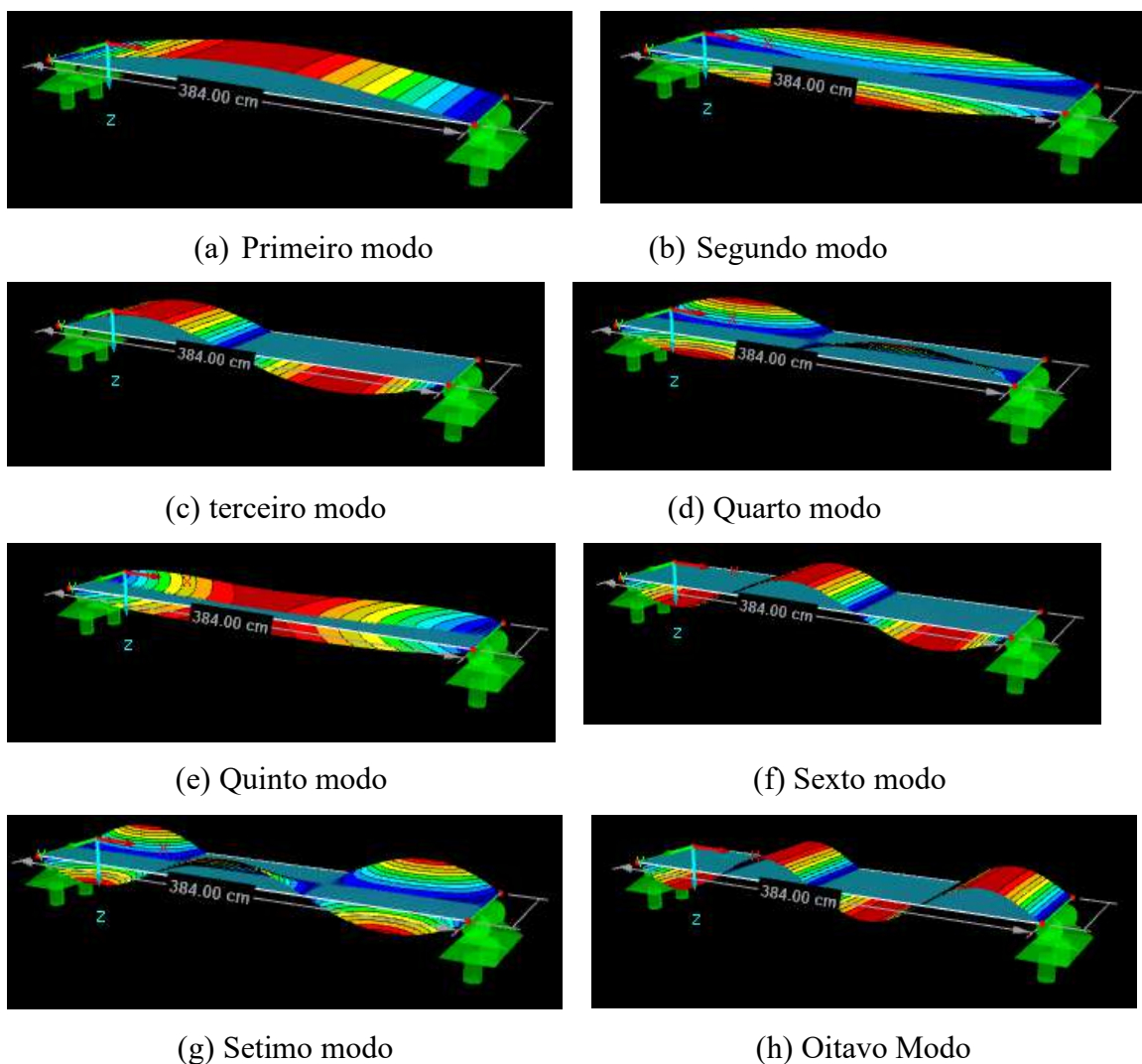


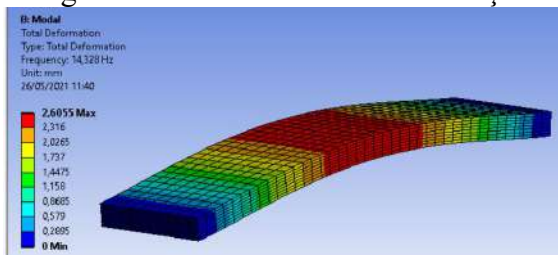
Figura 10. Formas de modos de vibração das simulações numéricas RFEM

A Tabela 6, mostra os resultados do processamento numérico do modelo estrutural, para os oitos modos de vibração Elaborada no RFEM.

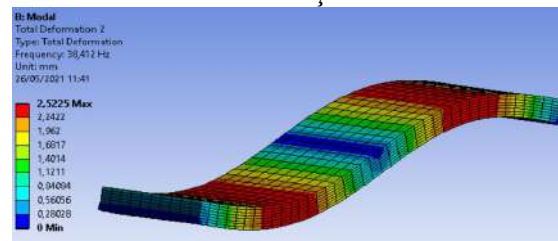
Tabela 6. Frequências naturais e seus respectivos modos de vibração RFEM

Modo	Frequência angular $\omega \left[\frac{rad}{s} \right]$	Frequência natural F[Hz]	Período natural T[s]
1°	112,35	17,88	0,056
2°	267,82	42,63	0,023
3°	352,79	56,149	0,018
4°	552,86	87,99	0,011
5°	568,29	90,44	0,011
6°	644,13	102,52	0,010
7°	845,80	134,613	0,007
8°	936,83	149,103	0,007

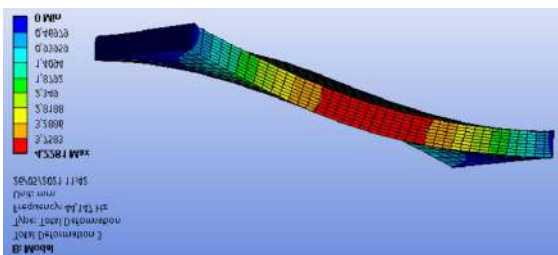
Na Figura 11 mostra os modos de vibração da estrutura sem a contribuição de concreto



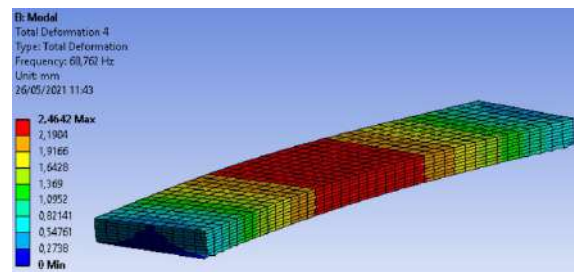
(a) Primeiro modo



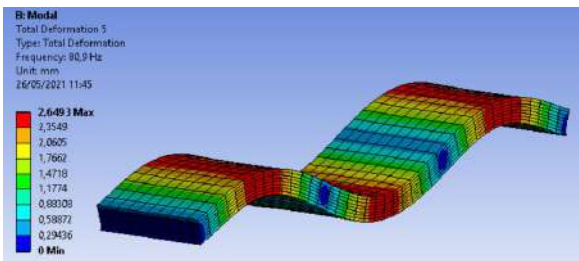
(b) Segundo modo



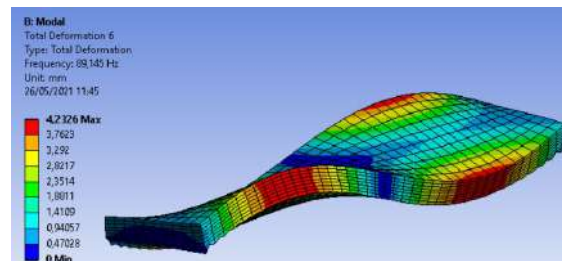
(c) terceiro modo



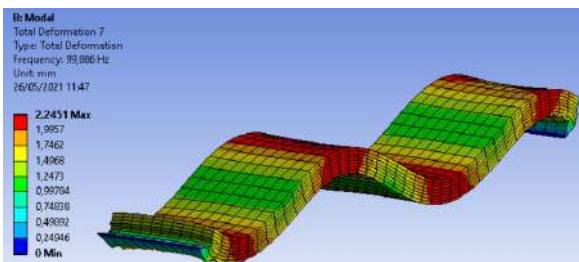
(d) Quarto modo



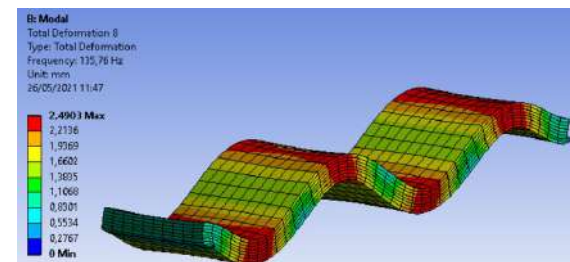
(e) Quinto modo



(f) Sexto modo



(g) Setimo modo



(h) Oitavo Modo

Figura 11. Modos de Vibração sem a contribuição do concreto

Tabela 7. Frequências naturais e seus respectivos modos de vibração ANSYS sem a contribuição da parcela do elemento concreto

Modo	Frequência angular $\omega \left[\frac{rad}{s} \right]$	Frequência natural F[Hz]	Período natural T[s]
1°	90,016	14,32	0,0698
2°	241,66	38,41	0,0260
3°	277,34	44,14	0,022655
4°	432,04	68,76	0,014543
5°	508,307	80,90	0,012361
6°	560,09	89,14	0,011218
7°	627,56	99,88	0,010012
8°	852,99	135,76	0,007366

Na Tabela 7, é possível observar que as simulações com o peso específico estabelecido conforme as classes NBR 7190 (ABNT,1997), foram adotadas as mesmas propriedades mecânicas utilizadas nas Tabela 3 e Tabela 4, mas sem a parcela de 7cm de concreto, a primeira frequência natural de vibração foi de 14,32 Hz, com 3,5 Hz inferior, se comparado com a estrutura utilizando-se o concreto. Contudo, as frequências naturais não tiveram modos de vibração inferiores a 8 Hz, sendo seu primeiro modo limitante, flexional de 14,32Hz e o terceiro modo torcional de 44,14Hz.

4. CONCLUSÃO

Com este trabalho, cujo objetivo foi analisar o comportamento dinâmico de peças estruturais em CLT-CONCRETO a partir de resultados numéricos de elementos finitos, utilizando-se os softwares RFEM e ANSYS, pode-se elencar as seguintes conclusões:

-Os dois modelos numéricos confeccionados no ANSYS e no RFEM com as mesmas propriedades mecânicas e geometrias iguais, com equivalentes condições de contorno, mostraram uma diferença mínima em termos de frequência natural.

-Considerando-se o presente estudo foi obtida uma redução no pico da amplitude do modo de vibrar relacionado à primeira frequência natural de 17,88 Hz, na estrutura de CLT-CONCRETO de 0,8% se comparada com a mesma estrutura, mas sem a contribuição da parcela de concreto.

-Verifica-se que a parcela de concreto tem uma contribuição significativa para o aumento da rigidez na estrutura, contudo há um acréscimo de peso na peça composta. Caso se aumente a resistência do concreto, pode-se reduzir a sua espessura, e desse modo, será possível melhorar ainda mais os resultados. Entretanto pode-se realizar uma análise na geometria para limitar o máximo vão da estrutura, não somente pela limitação da flecha, mas como também pelos critérios de análise dinâmica.

Nesse contexto, se o objetivo for o de eliminar um determinado modo de vibrar, que coincide com o modo da frequência natural da estrutura, essa frequência de excitação gera o fenômeno conhecido como ressonância, assim, o sistema físico passa a vibrar com amplitudes cada vez maiores, chegando ao ponto de a estrutura sofrer sérios danos, ou até mesmo colapsar. Para se evitar essa aproximação, torna-se viável a utilização de camadas de concreto para conseguir o objetivo proposto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Crosslam, empresa que fornece os materiais para análise e aos técnicos do Laboratório de Estruturas da FEC-Unicamp na realização dos ensaios experimentais.

6. REFERENCIAS

ALOISIO, A. et al. (2020) “Dynamic identification and model updating of an eight-storey CLT building. *Engineering Structures*”, v. 213, p. 593.

ANSYS User 's Manual. Theory manual. (2009). “*revision 12.02*”

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro.

BACHMANN, H.; AMMANN, W. (1987). “*Vibrations in Structures: Induced by Man and Machines.*” IABSE.

CLOUSTON, P.; SCHREYER, A. C. (2006) “*Wood-Concrete Composites: A Structurally Efficient Material Option. Civil Engineering Practice, Journal of the Boston Society of Civil Engineers*” (BSCE), v. 21, p. 5–22.

DE SILVA, C. W. (2000) “*Vibration: fundamentals and practice*”. Boca Raton, FL: CRC.

DLUBAL SOFTWARE GMBH. REFEM 5 (2013). “*Program Description. Tiefenbach: Dlubal*” Software GmbH.

JIANG, Y.; CROCETTI, R. (2019), “*CLT-concrete composite floors with notched shear connectors. Construction and Building Materials*”, v. 195, p. 127–139.

LIMA, S.; HAMPSHIRE DE CARVALHO SANTOS, S. (2008) “*Análise Dinâmica de Estruturas*”.

PEREIRA, M. C.; CALIL, C. (2019), “*Strength and Stiffness of Cross Laminated Timber (CLT) panels produced with Pinus and Eucalyptus: experimental and analytical comparisons.*” *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, 1

RAO, S. S. (2008), “*Vibrações Mecânicas.*” 4. ed. SÃO PAULO: Pearson Education.

SUÁREZ-RIESTRA, F. et al. (2019), “*Experimental, analytical and numerical vibration analysis of long-span timber-timber composite floors in self-tensioning and non-tensioning configurations. Construction and Building Materials*”, v. 218, p. 341–350.

VILELA, R. (2020) “*DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PLACAS DE CROSS LAMINATED TIMBER SUBMETIDAS À FLEXÃO.*” CAMPINAS: ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP), 120p.

XING, Y.; LIU, B. (2009), “*New exact solutions for free vibrations of rectangular thin plates by symplectic dual method. Acta Mechanica Sinica*”, v. 25, n. 2, p. 265–270.

Análise da vida útil a partir de ensaios de carbonatação em postes de concreto

L. A. Reginato^{1*}, A. Lorenzi¹, L.S. Lorenzi¹, L.F. Caetano¹, L.C.P. Silva Filho¹

*Autor de Contacto: icsreginato@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Instituto de Desempenho da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais utilizado em obras de infraestrutura, inclusive nas redes de transmissão de energia. Nestas estruturas, onde o concreto é aparente e sujeito a ação de intempéries, seu desempenho é fundamental para a garantia de uma adequada vida útil de projeto (VUP). Entende-se que o aumento da vida útil dos postes de concreto armado pode colaborar para a redução da manutenção da rede de distribuição de energia, reduzindo o investimento em substituições ou reparos em postes por parte das concessionárias. Sendo assim, o presente trabalho buscou prever a VUP de postes de concreto, frente o mecanismo da carbonatação. Para a previsão da vida útil foram avaliados tres diferentes composições de traços para os postes de concreto armado: um usualmente utilizado por uma empresa de pré-moldados, e outros dois com traços aprimorados (com estudo de empacotamento de agregados) e com adição de cinza de casca de arroz. Por meio da análise dos resultados, foi possível aprimorar o traço atualmente utilizado pela empresa, reduzindo o consumo de cimento e aumentando a vida útil dos postes de concreto armado de 10 para 60 anos. À vista disso, foi possível aumentar a vida útil do elemento, mesmo com a redução do consumo de cimento.

Palabras clave: Postes de Concreto; VUP; Carbonatação.

Citar como: L. A. Reginato, A. Lorenzi, L.S. Lorenzi, L.C. Caetano, L.C.P. Silva Filho (2021), “Análise da vida útil a partir de ensaios de carbonatação em postes de concreto”, CONPAT 2021, XVI, pp. xxx-xxx, DOI: <http://dx.doi.org/xxxxxxxxxx>

RESUMEN

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en obras de infraestructura, incluidas las redes de transmisión de energía. En estas estructuras, donde el hormigón está expuesto y sujeto a la acción de la intemperie, su desempeño es fundamental para garantizar una adecuada vida útil del proyecto (VUP). Se entiende que el aumento de la vida útil de los postes de hormigón armado puede contribuir a reducir el mantenimiento de la red de distribución de energía, reduciendo la inversión en reemplazos o reparaciones de postes por parte de los concesionarios. Así, el presente trabajo buscó predecir el VUP de postes de hormigón, frente al mecanismo de carbonatación. Para predecir la vida útil se evaluaron tres composiciones diferentes de mezclas para los postes de hormigón armado: una utilizada habitualmente por una empresa de prefabricados, y otras dos con características mejoradas (con un estudio de empaque de agregados) y con la adición de ceniza de cascarilla de arroz. . Mediante el análisis de los resultados se logró mejorar la traza que actualmente utiliza la empresa, reduciendo el consumo de cemento y aumentando la vida útil de los postes de hormigón armado de 10 a 60 años. Ante esto, se logró incrementar la vida útil del elemento, incluso con la reducción del consumo de cemento.

Palabras clave: Asistencia técnica; Costos; Manifestaciones patológicas.

ABSTRACT

Concrete is one of the materials most used in infrastructure works, including energy transmission networks. In these structures, where concrete is exposed and subject to the action of bad weather, its performance is essential to guarantee an adequate project useful life (VUP). It is understood that the increase in the useful life of reinforced concrete poles can contribute to reducing the maintenance of the energy distribution network, reducing the investment in pole replacements or repairs by concessionaires. Thus, the present work sought to predict the VUP of concrete posts, facing the mechanism of carbonation. To predict the useful life, three different compositions of mixes for the reinforced concrete posts were evaluated: one usually used by a precast company, and another two with improved features (with a study of aggregate packing) and with the addition of ash of rice husks. By analyzing the results, it was possible to improve the trace currently used by the company, reducing cement consumption and increasing the useful life of reinforced concrete posts from 10 to 60 years. In view of this, it was possible to increase the useful life of the element, even with the reduction in cement consumption.

Keywords: Technical Assistance; Costs; Pathological Manifestations.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a principal preocupação dos projetistas de concreto tem sido sua resistência mecânica. Porém, nos últimos anos, em função dos crescentes problemas de degradação precoce nas estruturas de concreto, observa-se uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projetos voltados à durabilidade e à extensão de sua vida útil (CLIFTON, 1993).

Em paralelo há o aumento da demanda por energia elétrica nas últimas décadas, ligado ao crescimento das unidades consumidoras, tonaram a operação e o controle dos sistemas elétricos uma tarefa complexa. Esta incumbência cabe ao Sistema Elétrico de Potência - SEP, o qual se divide basicamente em três macro setores: geração, transmissão e distribuição (GARCIA; DUZZI JR, 2012; TOSTES, 2012).

Muitos dos elementos que compõem a rede de distribuição de energia são executados em concreto armado, desta forma é de suma importância que esses elementos sejam projetados, não somente em relação aos requisitos mecânicos, mas também em conceitos de vida útil. Atualmente, as normas de projeto de estruturas de concreto armado especificam relações água/cimento limites e classe de resistências mínima do concreto, em função da agressividade do meio onde a estrutura será inserida.

Além destes requisitos, as normas especificam cobrimentos mínimos de concreto, a fim de que seja mantida a Vida Útil de Projeto (VUP), isto é, o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura, ou qualquer um de seus componentes, satisfaçam os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo (ISO 13823, 2008).

A preocupação com a VUP se dá pelo aumento das manifestações patológicas nos primeiros anos de construção dos elementos de concreto armado, principalmente dos construídos em concreto aparente, como é o caso dos postes de concreto utilizados nas redes de distribuição de energia. A garantia de adequado funcionamento para este tipo de estrutura é fundamenta para evitar interrupções no serviço de distribuição de energia elétrica. Além disto, mantendo a VUP é possível reduzir os custos ao longo da sua vida útil, uma vez que a maior durabilidade retarda a necessidade de troca de postes, além de reduzir o custo de manutenção dos mesmos.

Conforme a definição da NBR 8451-1 (ABNT, 2020, p.12): “A durabilidade do poste de concreto é a sua capacidade de resistir à ação das intemperes, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, o poste de concreto deve conservar sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente pelo período de vida útil estabelecido [...]”. Cabe destacar que a durabilidade dos postes não é só referente aos processos de degradação inerentes, mas também pode ser afetada por outros mecanismos, como cargas de impacto, esforços de vento, entre outros.

A avaliação de durabilidade, relativa ao mecanismo de corrosão por carbonatação, dos postes de concreto armado é fundamental para analisar questões a cerca da vida útil e previsão dos seus ciclos de inspeção e manutenção. Desta forma, este trabalho buscou avaliar a dificuldade ou facilidade de entrada de água e gás carbônico no interior de três misturas distintas. A primeira é baseada em um traço usual utilizado por uma empresa de fabricação de elementos pré-moldados, as outras duas misturas se tratam do aprimoramento do traço, utilizando para isso o empacotamento dos agregados, e a adição de cinza de casca de arroz.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O sistema de distribuição de energia elétrica é um segmento do sistema elétrico de potência (SEP), o qual pode ser dividido basicamente em três macros setores: geração, transmissão e distribuição (GARCIA; DUZZI JR, 2012; TOSTES, 2012). Estes sistemas devem ter em vista certos padrões de confiabilidade, disponibilidade, qualidade, segurança e custos (LEÃO, 2009).

Com a constante otimização tecnológica do concreto armado, a produção de postes de concreto para linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica vem crescendo substancialmente, principalmente no que diz respeito à substituição dos postes de madeiras por postes de concreto.

Todavia, um dos principais pontos para que seja garantida a viabilidade da substituição dos postes de madeira por postes de concreto é garantia do prolongamento da vida útil destes elementos e, conseqüentemente, a manutenção dos mesmos. Neste sentido, alguns pontos devem ser melhor analisados durante o projeto e produção, com o intuito de assegurar e prolongar a vida útil.

Os postes de concreto armado são definidos como elementos pré-fabricados de concreto, classificados em função do formato, do comprimento e da resistência (ABNT, NBR 8451-1, 2020). Deste modo, os postes de concreto armado são elementos estruturais empregados em linhas aéreas

de transmissão ou de distribuição de energia elétrica, além disso, podem ser utilizados também como suporte para a iluminação de vias públicas.

Segundo Giacon Júnior (2009), acreditava-se, inicialmente, que os postes de concreto armado não precisavam de manutenção, que teriam uma durabilidade ilimitada. Porém, essas características não são encontradas em nenhum material construtivo, pois todos desgastam-se e perdem resistência ao longo do tempo. Além disso, a durabilidade dos postes de concreto armado é dependente dos materiais, das características, das propriedades, dos cuidados envolvidos na produção dos mesmos e das condições ambientais.

Tendo em vista a importância dos postes de concreto armado no sistema de distribuição de energia, faz-se necessário que estes assegurem o fornecimento adequado de eletricidade à sociedade e atendam a exigência quanto à vida útil, evitando problemas no fornecimento de energia, bem como danos materiais e humanos em virtude de um eventual colapso desses elementos.

Deste modo, as oportunidades para o aperfeiçoamento dos postes de concreto armado, visando à durabilidade, podem ser identificadas no decorrer do ciclo produtivo, identificando-se os passíveis pontos e necessidades de aperfeiçoamento.

2.1 Vida útil de estruturas de concreto armado

A vida útil de uma estrutura representa o período efetivo de tempo, durante o qual uma estrutura, ou qualquer um de seus componentes, satisfaçam os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo (ISO 13823, 2008).

Frente à estimativa da vida útil, a evolução nos estudos de durabilidade das estruturas de concreto armado possibilitou estimar esse parâmetro, principalmente devido ao avanço no conhecimento sobre os mecanismos de transporte de líquidos e de gases agressivos. Desta forma, foi possível associar o tempo aos modelos matemáticos que expressam quantitativamente esses mecanismos. Como resultado, a avaliação da vida útil passou a ser expressa em números de anos, e não apenas em critérios qualitativos de adequação da estrutura a um determinado grau de exposição (HELENE, 2004; MEDEIROS et al. 2011).

Através da utilização de métodos para estimativa da vida útil de estruturas de concreto armado, pode-se fazer uso de projetos de estruturas visando à durabilidade e à vida útil, realizando-se com um nível aceitável de confiabilidade, sendo admissível o uso de uma abordagem subjetiva. As recomendações normativas fornecem apenas definições qualitativas de exposição, não definindo a vida de projeto em relação à durabilidade. Em particular, as recomendações normativas não conseguem definir e quantificar os estados limites de durabilidade que devem ser ultrapassados para que a vida útil de projeto seja determinada (ROSTAM, 2005).

A vida útil, em suma, trata-se do tempo necessário para que atinja um nível mínimo aceitável de desempenho que comprometa a sua funcionalidade, caso ocorram medidas preventivas pode-se prolongar a vida útil da estrutura. Portanto o tempo de vida útil dependerá do critério a ser estabelecido para determinar o grau de desempenho inaceitável, ou o nível de deterioração máximo aceitável para uma estrutura de concreto armado. Para isso é necessário o conhecimento do mecanismo de degradação que irá atingir o limite mínimo de desempenho. O mesmo autor cita que dentre estes possíveis limites, pode-se citar o grau de fissuração do concreto, a perda de aderência entre a armadura e o concreto e a queda da capacidade estrutural, em virtude da perda de seção da armadura devido à corrosão da mesma.

Assim faz-se necessário, para que se obtenha a VUP, a compreensão e estudo dos modelos previsão e de degradação das estruturas de concreto. Para explicar o conceito de vida útil, Tutti (1982) propôs um modelo simplificado sob o ponto de vista da corrosão das armaduras dividido em dois períodos: o período de iniciação da corrosão e o período de propagação, conforme apresentado na Figura 1 (RIBEIRO, 2018).

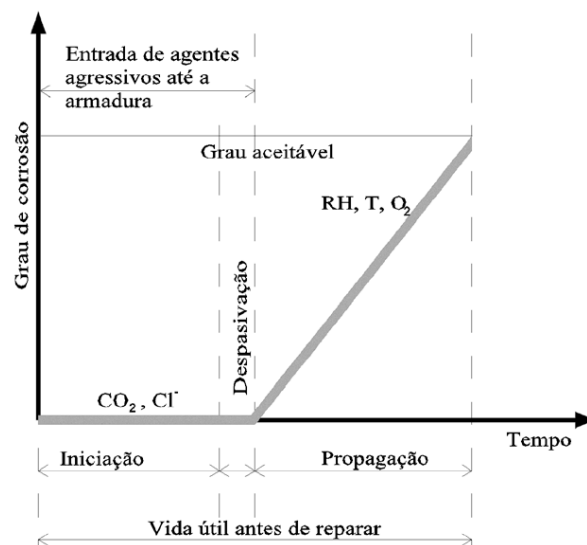


Figura 1. Modelo de Tuutti adaptado para corrosão de armaduras. (Fonte: Meira, 2017)

Consequentemente a vida útil de uma estrutura de concreto armado, tendo em vista o mecanismo da corrosão, engloba as três fases apresentadas no modelo de Tuutti adaptado (Figura 15) e pode ser representada de forma simplificada a partir do referido modelo. Conforme Meira (2017), nesse modelo simplificado a fase de iniciação é controlada principalmente pela porosidade do concreto, pela concentração e velocidade de transporte de CO_2 e dos íons cloretos.

Quando os agentes despassivadores atingem a superfície da armadura, inicia-se o processo de despassivação da armadura, podendo assim dar início ao processo de corrosão, assim muitos autores e pesquisadores consideram que se atingiu a vida útil de projeto (VPU), uma vez que as características do concreto e a espessura do cobrimento devem ser especificadas e projetadas de forma que impeçam a despassivação da armadura (MEIRA, 2017; HELENE, 1993; MEDEIROS et. al, 2011).

2.2 Alternativas de aperfeiçoamento de traços para postes de concreto armado

A NBR 8451-1 (ABTN, 2020) estabelece alguns requisitos mínimos para a produção de postes de concreto armado destinados a linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Estes requisitos variam principalmente de acordo com a classe de agressividade ambiental em que o elemento estará exposto.

Assim, cabe ao profissional habilitado a interpretação destes requisitos e a elaboração de materiais que sejam capazes de atingi-los. Ao mesmo tempo, o produto final deve possuir qualidade e ser competitivo economicamente. A partir destes pontos, surgem algumas lacunas para possíveis aperfeiçoamentos na produção de postes de concreto armado, com vista a atingir os requisitos mínimos exigíveis pelas regulamentações normativas e tornar o produto mais viável economicamente, mas sem prejuízos na qualidade do mesmo.

Dentro destas lacunas pode-se destacar: (1) dosagem do concreto, com a escolha adequada dos materiais componentes e suas combinações levando em consideração os requisitos exigíveis do material, bem como o método adequado para a proporção destes materiais; (2) aprimoramento da composição dos traços de concreto; (3) adição de materiais cimentícios suplementares; (4) adição de fibras na composição do concreto.

Uma estratégia para o aperfeiçoamento de traços de concreto é a diminuição do volume da pasta de cimento, que por sua vez contribui para a redução do custo final do mesmo. Sendo assim, para

diminuir o volume da pasta de cimento o espaço entre os agregados deve ser substancialmente reduzido. Deste modo, o volume de pasta pode ser reduzido através da melhor proporção dos agregados, e um dos meios para se obter esta proporção é através do procedimento de empacotamento dos materiais constituintes da mistura (CHANG, 2004).

Este procedimento também é definido por Tutikian e Dal Molin (2008), como composição do esqueleto granular, o qual visa determinar a melhor proporção entre dois materiais de ordem crescente de partículas. Além deste procedimento, a utilização de areia artificial (também conhecida como areia de britagem ou pó de pedra) aprimora, juntamente com o uso de aditivos redutores de água, os traços de concreto.

3. DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS ANALISADOS

Inicialmente, para a realização deste estudo, buscou-se obter informações dos materiais e do traço utilizado por uma empresa de pré- moldados, que produz postes de concreto. Esta etapa teve por objetivo obter dados reais em relação à vida útil de postes que estão sendo comercializados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. De posse das informações pertinentes à pesquisa, buscou-se aprimorar o traço utilizado pela empresa, a fim de garantir menor permeabilidade do concreto, visto ser esta uma das principais propriedades para a garantia e aumento da vida útil dos elementos estruturais.

O aprimoramento do traço foi baseado, inicialmente, em estudos de empacotamento dos agregados miúdos e graúdos, a fim de garantir menor porosidade, possibilitando reduzir, inclusive, o consumo de cimento. Foram avaliados dois tipos de agregado miúdo (areia natural quartzoza e pó de brita basáltica) e dois agregados graúdos basálticos (brita de 12.5 mm e brita 19 mm de diâmetro máximo), sendo estes utilizados pela empresa que forneceu dados dos traço padrão.

O estudo de empacotamento do agregado graúdo consistiu na determinação da massa unitária compactada para diferentes proporções de brita 0 e brita 1. Tendo sido obtido maior massa unitária compactada para a proporção de 65% de brita 1 e 35% de brita 0, demonstrando este ser a relação de melhor empacotamento entre os agregados graúdos.

Já, para o empacotamento do agregado miúdo, o procedimento foi distinto, visto a maior possibilidade de perda das partículas finas. Sendo assim, o procedimento adotado foi a moldagem de argamassas com diferentes proporções de pó de brita e areia média. As argamassas foram moldadas na proporção de 1:3, com relação a/c de 0,55. Este estudo foi realizado para misturas só com cimento e com cimento e casca de arroz. Tanto para a argamassa de cimento, quanto para a argamassa de cimento e cinza de casca de arroz verificou-se que a proporção ideal entre os agregados miúdos foi de 50% de areia média e 50% de pó de brita. A metodologia e os procedimentos aplicados no estudo do empacotamento dos agregados pode ser consultada em Reginato (2014).

Além dos estudos de empacotamento, foram realizados ajustes do teor de finos e incorporação de aditivos, de forma a garantir uma redução do consumo de cimento. Em relação ao traço padrão foi obtida uma redução do consumo de cimento, por m³ de concreto, de 429 kg/m³ para 351 kg/m³, ou seja, uma redução de 18% do teor de cimento. Essa redução na quantidade de cimento favorece uma redução do impacto ambiental, pois o cimento utilizado, por possuir 95% de clínquer na sua composição, apresenta alta emissão de CO₂. Ao mesmo tempo, contribui para reduzir a possibilidade de fissuração em baixas idades, pois reduz a retração e a elevação térmica decorrente da hidratação do cimento. O traço obtido foi identificado como traço aprimorado (CAP).

O terceiro traço a ser analisado foi baseado no traço aprimorado, porém envolveu o estudo da substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz (CCA), um resíduo abundante na região

sul do Brasil. Dessa maneira foi estudado um conjunto de traços denominados aprimorados com cinza de casca de arroz (CAP + CCA).

O que subsidiou este estudo foi reduzir o impacto ambiental, ao substituir uma parcela do cimento (que tem alta emissão de CO₂) por um resíduo, que tem produção local e custo ambiental zero (sua utilização traz inclusive benefícios, pois resolve o problema de destinação final das cinzas depois da queima para recuperação do potencial calorífico).

Após os vários estudos realizados, verificou-se que o teor de substituição mais indicado, seria de 10% em massa do cimento, o que representa cerca de 15% em volume, a avaliação detalhada pode ser consultada em Reginato (2014). Diante disso, o traço com adição de CCA proporciona uma redução adicional do consumo de cimento de 31 kg/m³ de concreto, quando comparado o traço aprimorado, sendo assim, possuindo um consumo de 314 kg de cimento por m³ de concreto. Na Tabela 1 é possível observar os traços utilizados para cada uma das três misturas.

Tabela 1- Traço utilizado para cada uma das misturas estudadas.

Traço	Cimento	CCA	Areia	Pó de brita	Brita 0	Brita 1	Relação água/agl	Aditivo
Padrão (original)	1,0	-	2,09	-	1,62	0,51	0,59	-
Aprimorado (CAP)	1,0	-	1,22	1,22	1,07	1,99	0,49	0,8%
Aprimorado + CCA (CAP + CCA)	1,0	0,1	1,05	1,05	1,38	2,56	0,49	0,8%

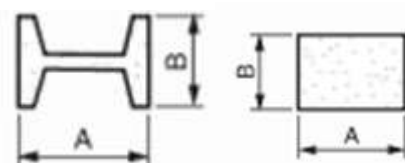
4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Após definido os traços de interesse foram moldados 09 (nove) postes em escala real, sendo três para cada uma das misturas apresentadas na Tabela 1. Os postes moldados foram tipo duplo T, com 9 metros de comprimento e carga nominal de 300 daN. Os requisitos dimensionais para este tipo de postes está descrito na NBR 8451-1 (ABNT, 2020), e apresenta os valores conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões do poste utilizado e suas respectivas tolerâncias.

Identificação Poste	Comprimento Nominal	Face A		Face B	
		Topo	Base	Topo	Base
03 B 300 daN	9,00 ± 0,05 m	140 ± 5 mm	392 ± 5 mm	110 ± 5 mm	290 ± mm

As representações das faces A e B estão esquematizadas na Figura 2, tanto para o topo quanto para a base do poste.



(a) (b)

Figura 2. Representação das dimensões da seção transversal de base (a) e topo (b).

Os postes foram ensaiados quando ao comportamento mecânico de flexão aos 11 dias após sua moldagem, porém estes resultados não estão sendo apresentados neste trabalho. Posteriormente aos ensaios de flexão corpos de prova cilíndricos foram extraídos dos mesmos, conforme as orientações da NBR 7680 (ABNT, 2007), destaca-se que foi tomado o cuidado de executar as extrações das regiões sem presença de fissuras, originadas pela ruptura dos postes. No total foram extraídos 81 corpos de prova, sendo 27 deles com diâmetro de 30 mm e o restante com diâmetro de 95 mm. Os corpos de prova de 95 mm de diâmetro foram utilizados para o ensaio de absorção de água e determinação da profundidade de carbonatação, enquanto que os de 30 mm foram utilizados para os ensaios de resistência à compressão.

De acordo com a Norma NBR 7680 (ABNT, 2007) recomenda-se o uso de corpos de prova, para ensaio de resistência à compressão, de 100 mm de diâmetro, ou com diâmetro 3 vezes maior do que a dimensão máxima do agregado. Entretanto, devido às limitações da espessura do poste, o qual apresenta alma de 50 mm, a avaliação da resistência à compressão foi adotada em corpos de prova de 30 mm de diâmetro com o intuito de manter a relação da altura e diâmetro próximo a 2. Além disto, comprovou-se estatisticamente a um nível de significância de 1% que há a possibilidade da utilização dos testemunhos menores que o recomendando pela NBR 7680 (ABNT, 2007), na avaliação de estruturas acabadas (Filho, 2007).

A determinação da resistência à compressão dos corpos de prova extraídos seguiu as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2007). A preparação das bases dos corpos de prova, foi realizada utilizando capeamento com argamassa de cimento, método recomendado pela NBR 5738 (ABNT, 2008), tomando-se os devidos cuidados para garantir o paralelismo entre as faces. Juntamente, foram determinadas as dimensões, a fim de determinar os coeficientes de correção para cada um dos corpos de prova submetidos ao ensaio, conforme recomendações da NBR 7680 (ABNT, 2007). Os ensaios foram realizados aos 28 dias após a moldagem dos postes.

Já para a determinação da absorção de água foi utilizado o método prescrito pela NBR 8451-4 (ABNT, 2011). O método consiste basicamente na imersão de corpos de prova, extraídos dos postes de concreto, em temperatura ambiente por um período não inferior a 24 horas. Decorrido este período foi determinada a massa saturada, até obter a constância de massa. Em seguida os corpos de prova são secos em estufa por um período de 24 horas

A medição das profundidades de carbonatação foi realizada em corpos de prova após 215 dias da moldagem dos postes. Os corpos de prova extraídos foram abertos para aspersão da fenolftaleína, sendo realizadas 3 medidas de profundidade de carbonatação para um mesmo corpo de prova. Esse procedimento foi executado para 3 exemplares de cada traço, proporcionando uma profundidade média confiável. Para o cálculo da vida útil foi utilizado o modelo proposto por Tutti (1982) com a seguinte equação: $x = k \cdot \sqrt{t}$, que correlaciona o cobrimento (x) e o coeficiente de carbonatação (k) com a raiz do tempo (t).

5. RESULTADOS

Os resultados da resistência à compressão dos corpos de provas extraídos estão apresentados na Tabela 3, juntamente com aplicação do coeficiente devido ao efeito de broqueamento, conforme Filho (2007). A tabela também apresenta, o desvio padrão obtido no ensaio para a determinação da resistência à compressão.

Tabela 3 - Resistência à compressão dos corpos de prova extraídos.

Identificação	Resistência à Compressão CPs Extraídos (MPa)	Resistência à Compressão + Efeito de broqueamento (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Padrão	41,0	45,2	4,8
CAP	49,6	54,5	3,8
CAP + CCA	50,8	55,9	7,7

De acordo com os resultados apresentados é possível verificar que os corpos de prova extraídos dos postes, confeccionados com os traços aprimorado e aprimorado + CCA, apresentaram valores superiores ao concreto padrão utilizado pela empresa de pré moldado, sendo cerca de 21% e 24% superiores, respectivamente. Destaca-se que os traços aprimorados apresentaram maior resistência mecânica apesar da redução significativo do consumo do cimento.

Em relação a determinação da absorção de água a NBR 8451-1 (ABNT, 2011) limita o valor do índice de absorção do concreto de acordo com as classes de agressividade ambiental, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Teores limites de absorção de água para postes de concreto armado.

Classe de agressividade ambiental (CCA) ⁽¹⁾	Resultados dos corpos de prova que compõem a amostra ⁽²⁾	
	Média (%)	Individual para cada corpo de prova (%)
II	≤ 5,5	≤ 7,0
III	≤ 5,0	≤ 6,5
IV	≤ 4,0	≤ 5,5

⁽¹⁾ A classe de agressividade ambiental I NBR 6118 (ABNT, 2007) não se aplica a postes de concreto;
⁽²⁾ Para postes de concreto protendido, o índice de absorção deve ser reduzido em 0,5% sobre os valores acima;

Adaptado (NBR 8451-1, ABNT, 2011)

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água são apresentados na Figura 3.

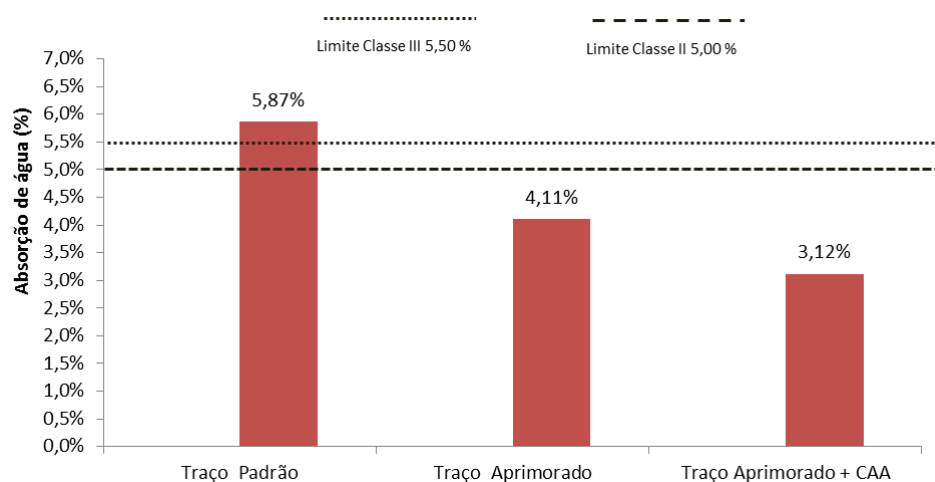


Figura 3. Absorção de água para cada traço moldado.

Analisando os resultados obtidos frente à absorção máxima de água exigida para as classes de agressividade II e III (ambiente urbano e marinha/industrial, respectivamente) pode-se constatar que os traços atualmente executados pela empresa (Padrão), apresentam maior absorção que a máxima permitida para ambas as classes de agressividade ambiental.

O traço Aprimorado apresentou absorção de água abaixo dos limites da classe de agressividade III e II, apresentando absorção de água de 4,11%. Todavia, apenas os traços moldados com CCA atenderam as exigências de todas as classes ambientais, inclusive à classe de agressividade muito forte (classe IV), ficando abaixo de 4,00% a absorção de água do concreto.

Em relação à durabilidade e vida útil, observando a Figura 4, os ganhos trazidos foram grandes. Ficou evidente que o traço atualmente utilizado (traço padrão) tem VUP estimada muito baixa, podendo despassivar a armadura em cerca de 10 anos (para cobertura de 15 mm). Isso tem um impacto enorme em relação à conservação de redes de energia. Com os traços aprimorados a VUP pode subir para cerca de 32 anos (CAP + CCA) ou 61 anos (CAP). Isso tem um efeito muito elevado nos custos ao longo do ciclo de vida dos postes e, isoladamente. O traço com 10% de cinza se mostrou especialmente promissor em termos de durabilidade para regiões com clima úmido ou marinho.

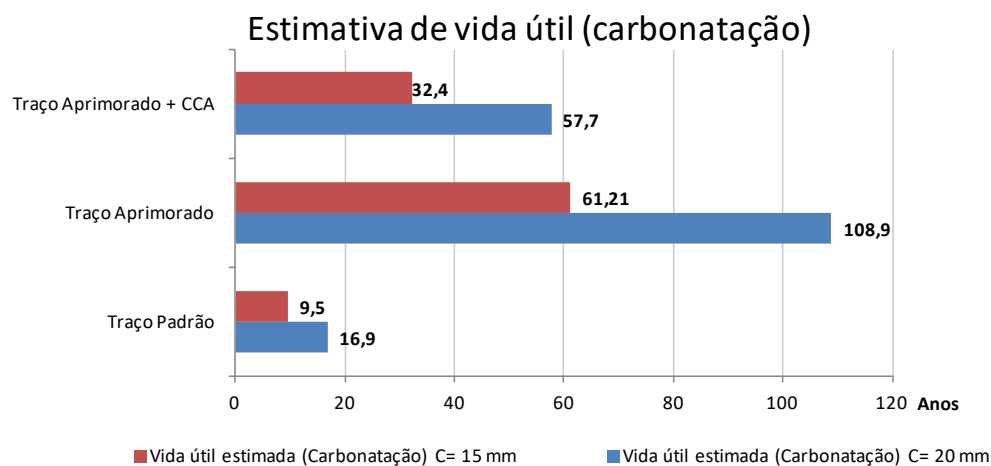


Figura 4. Estimativa de vida útil

6. CONCLUSÕES

O estudo realizado resultou em avanços consideráveis em termos de redução de conteúdo de cimento, controle da fissuração, comportamento mecânico e durabilidade. Os resultados de durabilidade apresentaram um significativo incremento de desempenho quando comparado com os postes confeccionados com o traço padrão. Com aumento de cerca de 350% e 650% com cobertura de 20 mm para os traços aprimorado + CCA e para o aprimorado, respectivamente.

Quanto à determinação da vida útil dos postes de concreto armado considerando corrosão por carbonatação, conclui-se que o poste moldado com o traço Aprimorado apresentou desempenho 6 vezes superior, quando comparado com o poste atualmente produzido pela empresa, elevando-se a vida útil de 10 para 60 anos com o cobertura de 15 mm. Juntamente conclui-se que o poste com adição de CCA possibilitou o aumento da vida útil para 33 anos.

O ganho significativo na durabilidade possibilita a execução de uma nova estratégia para o planejamento de manutenções e de reposição dos postes de concreto armado, reduzindo significativamente os custos com este tipo de operação.

7. REFERENCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2007). *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*.

_____. (2008). *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*.

_____. (2007). *NBR 7680: Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto*.

_____. (2020). *NBR 8451-1: Postes de concreto armado e protendido para redes de distribuição e transmissão de energia elétrica - Parte 1: Requisitos*.

Chang, P.-K. *An approach to optimizing mix design for properties of high-performance concrete*. Cement and Concrete Research, v. 34, n. 4, p. 623–629, abr. 2004.

Clifton, J. R. (1993), Predicting the Service Life of Concrete. *ACI Materials Journal*, v. 90, n. 6, p. 611–617.

Garcia, D. A. A.; Duzzi JR, F. E. Capítulo II - Tópicos de sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica. *Revista O Setor Elétrico*, São Paulo, ed. 74, p. 52, 2012. Disponível em < <http://www.osetoelettrico.com.br/web/a-revista/edicoes> >. Acesso em: 5 mar. 2020.

Giacon Junior, M. (2009), “*Propagação de ondas de ultra-som em protótipos de postes tubulares de concreto armado*”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p.117.

Filho, O. V. (2007), “*Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento*”, Trabalho de conclusão de curso, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 110. International Organization for Standardization (ISO). (2008). *ISO 13823: General principles on the design of structures for durability*.

Helene, P. *A nova NBR 6118 e a vida útil das estruturas de concreto*. In: Seminário de Patologia das Construções , 2, 2004, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Novos Materiais e Tecnologias Emergentes, LEME, UFRGS, 2004

Helene, P. R. L. *Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado*. 1993. 223 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *General principles on the design of structures for durability*. ISO 13823. 2008

Leão, R. (2009), “*GTD – Geração , Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica*”, Apostila de Aula, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 38p.

Medeiros, M. H. F. De; Andrade, J. J. De O.; Helene, P. R. L. *Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto*. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo / SP IBRACON, 2011 1v. cap 22 p. 773-807.

Meira, G. R. *Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado: ensaios eletroquímicos*. IFPB, 130 p. 2017.

Reginato, L. A. *Otimização de traços de concreto: estudo aplicado a postes de concreto armado visando o aumento da vida útil*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Ribeiro, D. V. *Corrosão E Degradação Em Estruturas De Concreto*. Elsevier, 2018. 416 p.

Rostam, S. *Service life design of concrete structures* -. v. 6, n. 5, p. 423–445, 2005.

Tostes, M. E. de L. (2012), “*Distribuição de energia elétrica*”, Apostila de Aula, Universidade Federal do Pará, Belém.

Tutikian, B. F.; Dal Molin, D. C. *Concreto Auto-adensável*. PINI. 144p. 2008.

Tutti, K. (1982), Corrosion of steel in concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 504, p. 469.

Controle Tecnológico do Concreto de Cimento Portland – Estudo de Caso

Cristiane Carine dos Santos^{1*}, Marina Munaretto Copetti², Tássia Fanton³
cristiane.c.santos@ufsm.br

¹ Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

² Secretaria Acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, Brasil

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maira, Brasil.

RESUMO

O controle tecnológico do concreto em conformidade com a NBR 12655:2015 possui um papel fundamental no desempenho, durabilidade e segurança das edificações. Controle este, apesar da sua importância vem sendo negligenciado em obras na cidade de Frederico Westphalen, conforme pode ser verificado com a realização de quatro estudos de casos. Os ensaios exigidos para o recebimento e aceitação do concreto foram adotados pela primeira vez no desenvolvimento desta pesquisa, onde pode-se observar a ocorrência de desconformidades nos valores de abatimento de alguns caminhões, a redução de 7,45% do $f_{ck, estm}$ dos corpos de prova submetidos a mesma cura da obra quando comparados aos curados em laboratório, como outras desconformidades com as normas NBR 7212:2012 e NBR 12655:2015 durante as concretagens.

Palavras- chave: concreto; aceitação; consistência; resistência; controle tecnológico.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o concreto juntamente com o aço, constitui o que se entende por concreto estrutural, armado ou protendido. Caracteriza-se como um produto líder para uso estrutural nas construções,

devido ao conjunto desses materiais resistirem simultaneamente a esforços de tração e compressão, possibilitando a construção de estruturas com maiores vãos e alturas.

Mehta e Monteiro (2014) estimam que o consumo de concreto no mundo seja na ordem de 19 bilhões de toneladas métricas ao ano. Embora ele não seja tão duro e resistente quanto o aço seu consumo superior é justificado pelo menos por três razões principais: a primeira é a excelente resistência do concreto à água; a segunda razão é a facilidade com a qual ele se adapta a diferentes formas e tamanhos, devido a sua consistência plástica no estado fresco que favorece o fluxo do material para o interior das formas; e a terceira justificativa é o seu baixo custo e a rápida disponibilidade do material.

Segundo Neville (2013), enquanto o aço é produzido sob condições rigidamente controladas, com as propriedades de cada tipo de aço determinadas em laboratório e apresentadas no certificado do fabricante, cabendo aos projetistas da estrutura somente especificá-lo, e ao construtor garantir que o aço correto seja usado e que as conexões entre os elementos sejam efetuadas de maneira adequada. O controle tecnológico do concreto é mais complexo pois a garantia de sua qualidade depende das propriedades de cada um dos materiais componentes e os fatores que podem alterá-las, dosagem correta e execução cuidadosa da mistura, transporte, lançamento e a cura adequada até o endurecimento.

O controle tecnológico do concreto tem como objetivo garantir que este esteja de acordo com os parâmetros estabelecidos pelas normas e necessários para a perfeita execução das obras e consequente durabilidade da estrutura.

A "NBR 12655:2015 - Concreto de Cimento Portland - Preparo controle, recebimento e aceitação - Procedimento" estabelece diretrizes e ações a serem tomadas para garantir que o controle tecnológico seja realizado de forma eficiente.

Dentre essas diretrizes estabelecidas estão as responsabilidades de cada um dos profissionais envolvidos, a execução da rastreabilidade do concreto lançado na estrutura e realização dos ensaios de consistência e resistência à compressão axial ao menos aos 28 dias, para recebimento e aceitação do concreto.

No entanto, na realidade de muitas obras o controle tecnológico do concreto não ocorre de maneira satisfatória, conforme estabelecido pela norma. Em alguns casos o concreto dosado em central tem a sua resistência verificada apenas pelas empresas fornecedoras, sem a conferência por parte dos proprietários e responsáveis técnicos das obras se as características solicitadas do concreto estão realmente sendo atendidas.

Portanto, o presente trabalho foi realizado com intuito de verificar qual é o controle tecnológico empregado nas obras da cidade de Frederico Westphalen, já que esse desempenha um papel imprescindível na qualidade, desempenho e segurança das obras.

2. CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

Para Bauer (2017) o controle tecnológico do concreto é um processo aplicado nas obras de concreto armado, protendido ou pré-fabricado que visa o registro e a garantia da conformidade dos concretos empregados, com base nas especificações técnicas do projeto estrutural ou de outros documentos técnicos.

Desta maneira o controle tecnológico do concreto regido pela NBR 12655:2015, visa a partir de procedimentos descritos pela norma, assegurar a qualidade e conformidade dos concretos empregados em obras, de maneira que estes atendam aos requisitos estabelecidos em seus projetos estruturais.

2.1 Atribuições e responsabilidades de acordo com a NBR 12655:2015

Segundo estabelece a norma cabem ao proprietário e o responsável técnico por ele designado garantir o seu cumprimento, bem como armazenar pelo prazo de 5 anos os documentos comprobatórios (laudos, relatórios de ensaios e etc).

As empresas fornecedoras dos serviços de concretagem cabem garantir o cumprimento das prescrições da norma NBR 12655:2015 relativas as etapas de preparo do concreto bem como as prescrições da NBR 7212:2021, devendo armazenar pelo prazo de 5 anos a documentação comprobatória.

Aos profissionais responsáveis pelo projeto estrutural cabem explicitar em todos os contratos, desenhos e memoriais que descrevem o projeto, a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}); especificação da resistência característica à compressão do concreto a j dias (f_{ckj}) para as etapas construtivas; especificação dos requisitos correspondentes à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados durante sua vida útil; especificação dos requisitos correspondentes às propriedades especiais do concreto durante a fase construtiva e vida útil da estrutura.

Já aos profissionais responsáveis pela execução da obra, cabem a escolha da modalidade de preparo; escolha do tipo de concreto a ser empregado, de acordo com as especificações de projeto e condições de aplicação; atendimento a todos os requisitos de projeto; recebimento e aceitação do concreto.

2.2 Concreto dosado em central

O tempo de transporte, conforme estabelece a NBR 7212:2021, deve ser inferior a 90 minutos e fixado de maneira que o fim da descarga seja de no máximo 150 minutos, contado a partir da primeira adição de água no caso de veículo dotado de equipamento de agitação e 40 minutos para veículo não dotado de equipamento de agitação; ficando assim, o tempo da descarga limitado em 60 minutos. O tempo de descarga pode ser flexibilizado segundo Neville (2016, p. 228) “com a utilização de retardadores de pega, o tempo máximo pode ser estendido para três ou até mesmo quatro horas, desde que seja garantido que a temperatura do concreto na entrega seja inferior a 32°C.”

2.3 Ensaios realizados para aceitação do concreto

A NBR 12655:2015 determina que para cada tipo de classe de concreto, os quais são classificados pela “NBR 8953:2015 – Concretos para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência” conforme sua resistência e classe de consistência, além dos cuidados com a exposição da estrutura, conforme estabelece a ” NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento”, devem ser realizados os ensaios de consistência regidos pela “NM 16889:2020 - Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”, para aceitação do concreto no estado fresco e ensaio de resistência à compressão, conforme a “NBR 5739:2018 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, para aceitação no estado endurecido”.

2.3.1 Ensaio de Consistência

Segundo Anbrozewicz (2012), a consistência do concreto é uma propriedade relacionada com a fluidez da mistura, sendo fundamental para garantir a trabalhabilidade do concreto.

Neville (2016) destaca que as propriedades do concreto endurecido são bastante afetadas pelo grau de adensamento, 5% de vazios podem diminuir em cerca de 30% a resistência final, sendo de vital importância o controle da trabalhabilidade ou consistência do concreto para que este seja adequadamente transportado, lançado, adensado e facilmente acabado, sem que ocorra a segregação.

2.3.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial e Rastreabilidade do Lançamento do Concreto

A NBR 12655:2015 estabelece que devem ser coletadas aleatoriamente amostras do concreto, de acordo com a “NM 33:1998 - Concreto - Amostragem de concreto fresco”, durante a operação de concretagem para a realização do controle estatístico da resistência do concreto, o qual pode ser realizado por amostragem total ou por amostragem parcial.

As amostras devem ser coletadas aleatoriamente depois da última adição de água e completa homogeneização do concreto e dentro do intervalo de descarga de 15% e antes de completar a descarga de 85% do volume total da betonada

Cada exemplar de concreto deve ser constituído de dois corpos de prova, moldados conforme a “NBR 5738:2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”, para cada idade de rompimento, tomando-se como resistência o maior valor dos dois valores no ensaio de resistência à compressão, realizado conforme a NBR 5739:2018.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa foram acompanhadas as concretagens de quatro obras na cidade de Frederico Westphalen, denominadas Obras A, B, C e D respectivamente, nas quais eram empregados concreto usinado fornecido por 2 empresas da cidade, denominadas respectivamente de Empresa X e Empresa Y. Tais nomenclaturas foram adotadas para evitar a exposição das obras e empresas, mantendo desta maneira o seu anonimato.

Primeiramente foi realizado o acompanhamento do recebimento do concreto dosado em central, verificando nas notas fiscais de todos os caminhões o horário de saída da central dosadora e horário de chegada no canteiro de obra, anotando-os posteriormente em uma planilha de controle, juntamente com o horário de início e fim de cada descarga. Tais dados foram coletados com o intuito de verificar se eram atendidos os aspectos exigidos pela NBR 7212:2021, como tempo máximo de deslocamento de 1,5 horas até o canteiro de obra e de 2,5 horas entre o intervalo da primeira adição de água até o lançamento do concreto.

Antes do início da descarga de todos os caminhões foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone (“slump test”), seguindo as diretrizes da ABNT NM 16889:2020, para a verificação da consistência do concreto no estado fresco, analisando se este encontrava-se com trabalhabilidade adequada para seu lançamento nas formas ou se seu abatimento deveria ser corrigido com adição suplementar de água. Verificando também a aceitação ou rejeição do concreto no estado fresco, conforme determina a NBR 12655:2015.

Posteriormente foi acompanhado o início da concretagem aguardando a descarga de pelo menos 15% do volume total de concreto para a coleta das amostras dos concretos e antes da descarga de 85% do volume. As amostras foram coletadas no final da tubulação de bombeamento em uma única porção em um recipiente adequado.

Após a coleta, cuidando para que não fosse ultrapassado o tempo máximo de 15 minutos, foram moldados 4 corpos de prova para cada caminhão de concreto os quais, seguindo as diretrizes da NBR 5738:2015, foram moldados em moldes cilíndricos de aço com diâmetro de 100 mm e altura igual ao dobro do diâmetro devidamente revestidos interiormente por uma camada fina de óleo

vegetal, sendo adensados manualmente em 2 camadas com o uso de uma haste metálica, aplicando-se 12 golpes por camada.

Ao final da moldagem, os corpos de prova foram armazenados no local onde permaneceram pelo período de 24 horas, durante sua cura inicial. Sendo dois deles armazenados em local protegido das intempéries climáticas e os outros dois em local próximo a concretagem, recebendo as mesmas condições de exposição dos elementos concretados.

Durante o processo de concretagem foi realizada a rastreabilidade do concreto, de acordo com o estabelecido na NBR 12655:2015, onde, com o auxílio da planta de forma das lajes concretadas e de lápis de cores diferentes foram mapeados os locais onde foram lançados cada lote de concreto, possibilitando posteriormente, que em caso de falha na resistência de alguns dos lotes de concreto, saiba-se o local exato onde foram lançados.

Passadas 24 horas da concretagem, os corpos de prova que permaneceram expostos as intempéries climáticas, foram desmoldados e armazenados sobre as lajes concretadas, conforme ilustrado na Figura 3, recebendo a mesma cura e exposição dos elementos concretados por no mínimo 21 dias, sendo posteriormente levados ao laboratório onde foram submetidos ao ensaio de compressão axial. Os outros dois corpos de provas foram levados ao Laboratório de Materiais e Construção Civil – LMCC da URI, Campus de Frederico Westphalen logo após serem desmoldados, onde foram submetidos a cura em água saturada com cal a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ até o momento do ensaio.

Aos 28 dias de idade os corpos de prova foram submetidos ao ensaio e compressão axial, normatizado pela NBR 5739:2018, onde inicialmente a base e o topo dos corpos de prova foram retificados por desgaste mecânico, em máquina especialmente adaptada para a função. Posteriormente os corpos de prova foram posicionados adequadamente no equipamento de ensaio, onde foram submetidos a uma carga de compressão axial uniforme e sem choques, a uma velocidade fixada entre 0,3 a 0,8 MPa. Ao final, o valor da resistência foi obtido dividindo-se a carga de ruptura pela área transversal do corpo-de-prova.

Finalizado o ensaio de compressão axial, foi adotado o método de controle por amostragem total (100%), especificado pela NBR 12655:2015. Onde o valor adotado como resistência característica a compressão axial de cada caminhão, foi o maior valor dentre os dois corpos de prova moldados. Posteriormente, os valores de $f_{(ck,est)}$ dos concretos curados em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, $f_{(ck,est)}$ dos concretos curados em obra e o f_{ck} de projeto foram comparados graficamente. Verificando se os valores de $f_{(ck,est)}$ atendiam o valor de f_{ck} de projeto e dessa maneira, conforme a NBR 12655:2015 podiam ser aceitos ou deveriam ser rejeitados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Verificação das diretrizes da NBR 12655:2015

Durante o acompanhamento da concretagem em todas as obras analisadas no presente trabalho, verificou-se que em nenhuma delas eram adotados os procedimentos preconizados pela NBR 12655:2015 para o recebimento e aceitação do concreto. Sendo a realização dos ensaios de consistência e compressão axial, previstos pela norma para o controle tecnológico dos concretos empregados, efetuados pela primeira vez com o desenvolvimento do presente trabalho.

Nota-se desta maneira, o descumprimento por parte do proprietário e responsável técnico da obra, no que diz respeito às suas atribuições e responsabilidades. Conforme estabelecido pela norma, cabem a eles as responsabilidades pela garantia de seu cumprimento, o recebimento e aceitação do concreto, armazenando pelo prazo de cinco anos toda documentação comprobatória da qualidade do concreto (relatórios de ensaios, laudos e outros).

4.2 Coleta de dados e análise

Obra A

Na obra A foram acompanhadas duas concretagens, a primeira no dia 05/06/2018 onde foi acompanhada a concretagem da laje do quarto andar e no dia 08/06/2018 a concretagens dos pilares deste mesmo andar, o concreto empregado foi fornecido pela empresa X. Nas respectivas datas foram coletados os dados demonstrados na Tabela 1 e a rastreabilidade do lançamento dos concretos pode ser verificada na Figura 1.

Tabela 1. Dados Coletados na Obra A

Informações Coletadas	Data da Concretagem			
	05/06/201		08/06/2018	
	Identificações dos Caminhões			
	C1	C2	C3	C1P
Horário saída da central (horas: minutos)	12:39	13:37	15:18	09:36
Horário chegada na obra (horas: minutos)	13:00	14:07	15:35	10:03
Abatimento (mm)	175	145	120	80
Horário início da descarga (horas: minutos)	13:20	14:40	15:47	10:40
Horário fim da descarga (horas: minutos)	14:40	15:40	16:30	12:30
Adição de água (litros)	-	-	-	50
Novo Abatimento (mm)	-	-	-	140

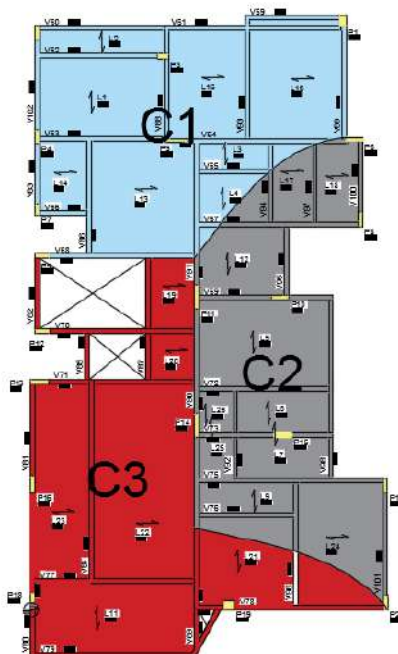


Figura 1 – Rastreabilidade

Obra B

Na Obra B foi acompanhada a concretagem da primeira laje, de um Edifício Comercial e Residencial de 5 pavimentos no dia 31/08/2018, sendo empregado o concreto fornecido pela empresa Y. Os dados coletados estão expostos na Tabela 2 e a rastreabilidade na Figura 2.

Tabela 2. Dados coletados da Obra B

Informações Coletadas	Identificação dos Caminhões		
	C1	C2	C3
Horário saída da concreteira (horas:minutos)	12:34	13:10	14:32
Horário chegada na obra (horas:minutos)	13:07	13:40	15:07
Abatimento (mm)	140	100	130
Horário início da descarga (horas:minutos)	13:16	13:45	15:10
Horário fim da descarga (horas:minutos)	13:38	14:40	15:38
Adição de água (litros)	-	50	-
Novo Abatimento (mm)	-	120	-

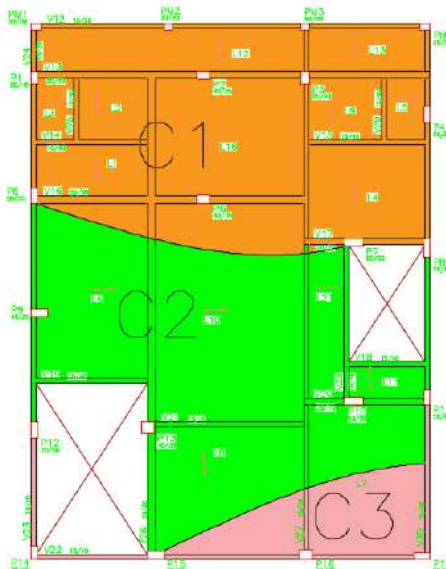


Figura 2 – Rastreabilidade

Obra C

Na obra C a concretagem acompanhada foi a da primeira laje de uma edificação residencial de 2 pavimentos, no dia 08/09/2018 sendo empregado o concreto fornecido pela Empresa Y. Os dados coletados podem ser verificados na Tabela 3 e a rastreabilidade na Figura 3.

Tabela 3. Dados Coletados na Obra C

Informações Coletadas	Identificação do caminhão	
	C1	C2
Horário saída da concreteira (horas:minutos)	07:02	08:45
Horário chegada na obra (horas:minutos)	07:28	09:05
Abatimento (mm)	140	110
Horário início da descarga (horas:minutos)	07:32	09:10
Horário fim da descarga (horas:minutos)	08:20	10:00
Adição de água (litros)	75	-
Novo Abatimento (mm)	170	-

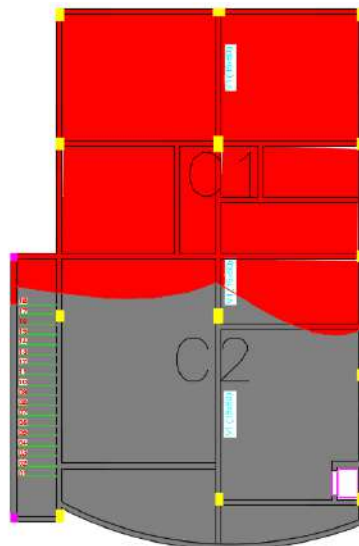


Figura 3 – Rastreabilidade

Obra D

A concretagem acompanhada foi a da sétima laje de um Edifício Residencial, no dia 12/09/2018, sendo o concreto empregado fornecido pela empresa Y, o qual, foi solicitado pelo construtor com f_{ck} de 30 MPa e abatimento de 140 mm (± 20). Os dados coletados durante o acompanhamento da concretagem estão expostos na Tabela 4 e a rastreabilidade na Figura 4.

Tabela 4. Dados Coletados da Obra D

Dados	Identificação dos Caminhões				
	C1	C2	C3	C4	C5
Horário saída da concreteira (horas:minutos)	12:49	13:59	14:37	14:47	15:36
Horário chegada na obra (horas:minutos)	13:09	14:18	14:50	15:15	15:55
Abatimento (mm)	150	170	150	180	140
Horário início da descarga (horas:minutos)	13:37	14:21	15:07	15:20	15:56
Horário fim da descarga (horas:minutos)	14:19	14:46	08:20	15:55	16:37
Adição de água (litros)	-	-	75	-	-
Novo Abatimento (mm)	-	-	170	-	-

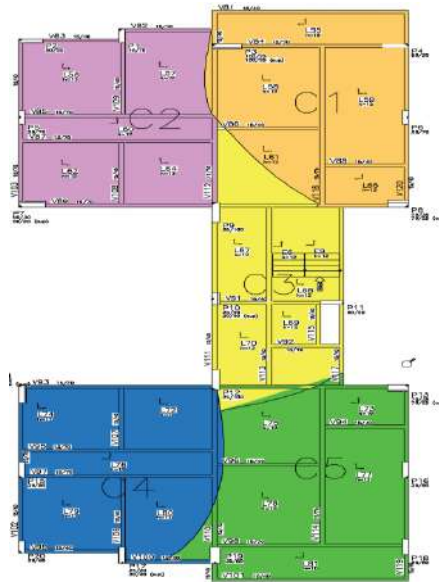


Figura 4 – Rastreabilidade

4.3 Resultados dos ensaios de recebimento e aceitação do concreto

4.3.1 Ensaio de Consistência

No Gráfico 1 são apresentados os valores resultantes da realização ensaio de abatimento de cone, seguindo as diretrizes da NM 16889:2020 para a aceitação do recebimento do concreto no estado fresco conforme determina a NBR 12655:2015.

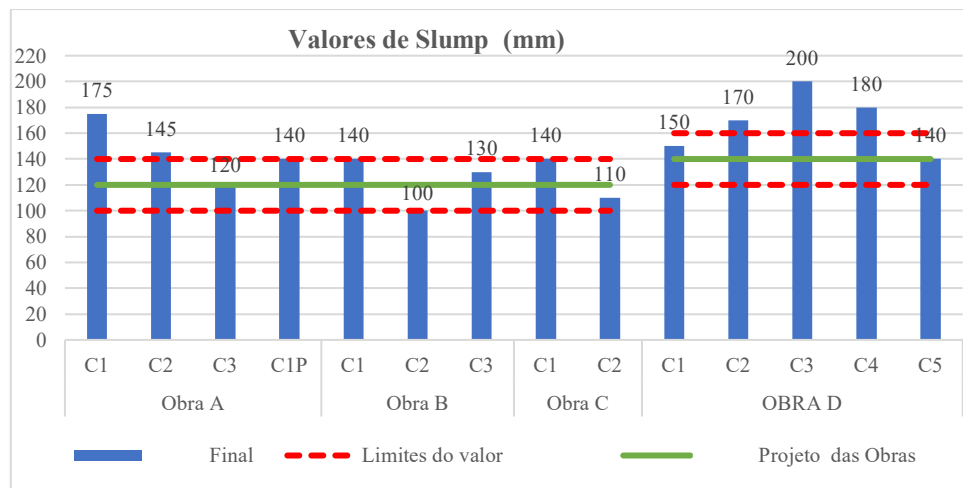


Gráfico 1 - Resultados obtidos com a realização do ensaio de abatimento de tronco de com (*slump test*)

Dentre as obras analisadas a única que especificou a consistência do concreto foi a obra D, na qual o mesmo foi solicitado um abatimento de 140 mm (± 20 mm). Nas demais a escolha do valor da consistência ficou a cargo das empresas fornecedoras, sendo adotado por ambas o valor de 120 (± 20 mm).

Conforme pode ser verificado no Gráfico 1 os valores de abatimento dos caminhões C3 e C1P da Obra A, todos os caminhões analisados na obra B e C e os caminhões C1 e C5 da obra 5

encontravam-se dentro dos limites inferiores e superiores do abatimento de projeto e desta maneira conforme determina a NBR 12655:2015 poderiam ser aceitos.

Já os valores de abatimento dos caminhões C1 e C2 da Obra A, C2, C3 e C4 da Obra D, encontravam-se acima dos limites estabelecidos e de acordo com o estabelecido pela norma NBR 12655:2015 deveriam ter sido rejeitados. Nota-se desta maneira que a empresa Y mantém um maior controle na consistência dos concretos fornecidos.

4.3.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

O Gráfico 2 demonstra os resultados das resistências característica à compressão estimada ($f_{ck,est}$) dos concretos curados em obra e em laboratório no Laboratório.

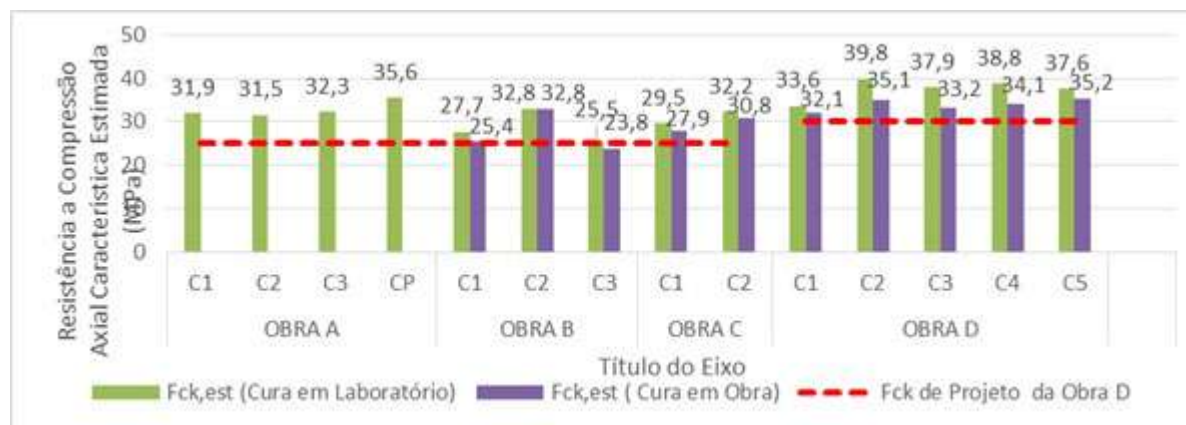


Gráfico 2 - Resistências característica à compressão estimada ($f_{ck,est}$)

A Obra A não apresenta resultados para a cura realizada em obra porque na data em que ocorreu a concretagem ainda não havia sido determinada a realização de tal procedimento.

A partir da análise dos resultados observou-se que todos os corpos de prova submetidos a cura em laboratório, apresentaram resultados satisfatórios atendendo ao F_{ck} solicitado e desta maneira podendo ser aceitos conforme determinado pela NBR 12655:2015.

Resultados estes semelhantes aos encontrados nos estudos de casos realizados na cidade de Goiânia por Arantes e Vaz (2014) e Braz, Magalhães Filho e Zalaf (2014) onde todos os concretos empregados também obtiveram valores em conformidade com o f_{ck} de projeto. Já no trabalho realizado por Pedrosa (2016) para os concretos moldados *in loco*, 3 das 12 amostras apresentaram valores abaixo do F_{ck} de projeto.

Os corpos de prova submetidos às mesmas condições de exposição e cura que os elementos concretados na obra, com exceção do Caminhão 1 da Obra B, apresentaram uma queda média de 7,45% na sua resistência à compressão axial. Como consequência da diminuição dos valores de resistência, o Caminhão 3 da Obra B apresentou o valor de $F_{ck, est}$ inferior ao de projeto. Desta maneira, destaca-se a importância não apenas da realização do controle de recebimento e aceitação do concreto nas obras, como do controle de qualidade do todo da obra, pois a cura inadequada pode resultar em um concreto com resistência à compressão axial desconforme.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização do presente trabalho verificou-se a ausência do atendimento a NBR 12655:2015 em todas as obras analisadas, demonstrando a realidade encontrada em grande parte das obras de pequeno e médio porte na cidade de Frederico Westphalen, onde a realização de ensaios para a verificação da qualidade do concreto fica restrita apenas as empresas fornecedoras de concreto.

Notou-se também a desconformidade no valor de abatimento dos concretos fornecidos pela empresa X, onde 4 dos 8 caminhões empregados nas obras apresentaram valor de abatimento superior ao de projeto e deveriam ter sido rejeitados. Já referente ao ensaio de resistência a compressão axial, todos os valores de $F_{ck, est}$ dos concretos submetidos a cura em laboratório, seguindo as diretrizes da norma, obtiveram resultados satisfatórios atendendo ao F_{ck} de projeto.

No entanto no comparativo entre os valores de $F_{ck, est}$ corpos de prova curados em laboratório e os submetidos a cura em obra verificou-se a redução média de 7,45% no valor de $F_{ck, est}$, e desta maneira o valor de $F_{ck, est}$ do Caminhão 3 da Obra B ficou abaixo do F_{ck} de projeto.

Outro aspecto, observado em desconformidade com estabelecido pela norma NBR 12655:2015, foi a ausência de especificação por parte das obras nas características do concreto pois com exceção da Obra D, as demais obras realizaram o pedido contemplando apenas o valor de F_{ck} .

Quanto as diretrizes estabelecidas pela NBR 7212:2012 verificou-se a ocorrência de adição suplementar não permitida em todas as obras, não sendo em nenhuma delas o procedimento anotado no documento de entrega pelos funcionários conforme determinado pela norma.

Observa-se, portanto, que o controle tecnológico na cidade de Frederico Westphalen tem apresentado resultados abaixo do esperado e determinado nas normas correspondentes, sendo negligenciado pelos profissionais responsáveis e conseqüentemente pelos proprietários das obras.

6. REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 12655: **Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação- Procedimento**. Rio de Janeiro: 2015

_____. NBR NM 33/1998: **Amostragem do Concreto Fresco**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR NM 16889/2020: **Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR 7212/2021: **Execução de concreto dosado em central – - Preparo, fornecimento e controle**. Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 5738/2015: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739/2018: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 6118/2014: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio De Janeiro. RJ, 2014.

AMBROZEWICZ, P. H. L., **Materiais de Construção**. 1 Ed. São Paulo. PINI,2012.

ARANTES, G.M; VAZ, F.H.B. **Controle e qualidade no recebimento de concreto dosado em central, 2014, 66f**. Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

BRAZ, T.C; MAGALHÃES FILHO, S. R; ZALAF, R. S. **Estudo do controle tecnológico e recebimento do concreto em obra, 2014, 91f**. Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

MARTINS, A. S. F. S; MAIA FILHO, H. M. Vetor. **Verificação da Resistência do Concreto In Loco: Métodos de Ensaios Mais Usuais, Rio Grande**, v 25, n 2, p 25-40,2015. Disponível em:<<https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/4794/4205>. Acesso em 5 de abril de 2020.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**, São Paulo: IBRACON, 2ed, 2014, 782 p.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J.J. **Propriedades do Concreto**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookmam, 2016.

PEDROSA, M. L. C. **Controle de qualidade e rastreabilidade para concreto moldado in-loco para habitações de interesse social**.2016, 74 f. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

Influência do fator de forma do agregado graúdo no desempenho mecânico e hidráulico do concreto permeável

G. D. Brazeiro^{1*}, F. C. de Campos¹, T. F. Dutra¹, P. N. Hartmann², F. B. Pereira da Costa³

*Autor de contato: gabrielbrazeiro.aluno@unipampa.edu.br

¹ Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil

² Mestranda em Engenharia, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil

³ Professora do Curso de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia – PPEng, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil

RESUMO

O concreto permeável, classificado como um concreto macroporoso, possui elevada capacidade drenante. Entretanto, por ser um material relativamente novo, ainda carece de estudos e normas para sua produção e aplicação. Neste contexto, este trabalho objetiva avaliar as propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável, sob a influência do fator de forma dos agregados. Realizou-se a caracterização de três agregados com diferentes índices de forma, que foram moldados de acordo com um traço padrão e uma mesma curva granulométrica. Foram realizados ensaios de potencial hidráulico e resistência mecânica. A variação do índice de forma, em lamelar, lamelar-alongado e cúbica-lamelar não exerceu expressiva influência nas propriedades hidráulicas e mecânicas, todavia os processos de britagem do agregado revelaram alteração nas propriedades mecânicas.

Palavras chaves: pavimento permeável, permeabilidade, propriedades mecânicas, conectividade dos poros, material sustentável.

1. INTRODUÇÃO

Países como Japão, Estados Unidos e países europeus buscam maneiras de lidar com o escoamento superficial, sendo uma das soluções encontradas a utilização de pavimentos permeáveis, entre eles o concreto permeável. No Brasil o uso desse tipo pavimentação não é muito difundido, o que reflete em um cenário corriqueiro de enchentes e inundações em cidades de grande e médio porte devido sobretudo a gestão ineficiente do escoamento das águas da chuva. Apesar de não ser difundido há um número crescente de pesquisas sobre o uso concreto permeável sua aplicabilidade como pavimento drenante, como por exemplo, o uso desse material como pavimentos leves em estacionamentos, vias de tráfego leve e áreas de lazer, como proposto por Valença (2021).

O concreto permeável, muitas vezes conhecido como concreto poroso, é um tipo concreto utilizado em pavimentos e tem a função de aumentar a permeabilidade à água. O que o difere do concreto convencional é uma alteração no traço, já que o concreto permeável dispõe de pequenas proporções de agregado graúdo e nenhuma ou uma pequena quantidade de agregado miúdo. Além disso, o concreto permeável costuma ter uma distribuição granulométrica uniforme ao invés de bem

graduado. O concreto permeável é produzido eliminando todo ou maior parte dos finos na mistura, permitindo a passagem da água pelos vazios interconectados da matriz endurecida, ou seja, tem a habilidade de transportar grandes volumes de água através da estrutura do material.

A permeabilidade deste material o torna eficaz para lidar com uma série de importantes questões ambientais como: reabastecimento das águas subterrâneas; redução do escoamento superficial de águas pluviais; redução do fenômeno da ilha de calor; filtragem da água que percola através dele; facilidade da arborização (permite ao ar e a água chegar às raízes); e evita acúmulo de água. Segundo a Environmental Protection Agency (EPA, 1997) a utilização de pavimentos de concreto permeável permite uma infiltração de até 80% do volume de escoamento anual, e pode filtrar até 65% de partículas que não são dissolvidas e até 95% dos sedimentos no escoamento. Uma revisão das características sustentáveis do material e a comparação sistemática com os métodos de pavimentação convencionais foi abordado por Singh (2020), onde também é discutido a manutenção do concreto permeável e a mitigação de efeitos prejudiciais a cidade.

A avaliação da qualidade de um concreto permeável está diretamente relacionada às características da estrutura porosa. A porosidade e a morfologia (forma) dos agregados determinam o tamanho e distribuição dos poros, bem como a conexão entre os mesmos. Entretanto, não é só a quantidade e tamanho dos poros que define a permeabilidade do material, mas também o fator de conectividade entre os vazios que permita uma boa percolação. A permeabilidade é a característica de desempenho mais importante de concretos permeáveis e, como acontece com qualquer material poroso, as propriedades de transporte são inerentemente dependentes das características da estrutura dos poros. No entanto, tem sido comum relacionar a permeabilidade do concreto permeável à sua porosidade, principalmente devido à facilidade com que a porosidade pode ser medida em um material macroporoso.

A morfologia do agregado graúdo é uma das suas principais características já que a forma que ele assume determina muitas vezes seu comportamento na matriz cimentícia. Esse agregado pode assumir formas cúbicas, lamelares, alongadas e discoides, e ainda intermediárias entre essas. Silva (2018) comprova que agregados com formato mais cúbico apresentam valores de resistência à compressão mais elevados do que os agregados de forma lamelar, porém o fator de forma pode influenciar outras propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto.

O fator de forma de um agregado é determinado por dois fatores predominantes, sendo eles o tipo de rocha mãe a ser britado e o tipo de britagem a que a rocha é submetida (Gonçalves et al, 2007 apud Arnold, 2011). As categorias de britagem podem ser impacto, atrito ou compressão e influenciam nessas características dos agregados, já que a quebra das rochas em frações menores pode resultar em pedaços cúbicos, lamelares ou até mais esféricos. Os tipos de britadores podem ainda resultar em agregados mais cúbicos como é o caso do britador de atrito ou mais lamelares como é o caso dos britadores de impacto. A britagem por impacto pode resultar em microfissuras no agregado, afetando a resistência final do mesmo (Boaretto, 2017).

Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a influência morfológica do agregado nas propriedades hidráulicas (porosidade e permeabilidade) e mecânicas (resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão), além do desgaste por abrasão, em uma mistura de concreto permeável de traço padrão e para uma mesma curva granulométrica.

2. PROCEDIMENTO

Este trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, realizou-se os ensaios de caracterização dos materiais e, também, confeccionou-se equipamentos para serem utilizados posteriormente na segunda etapa, a qual envolveu as moldagens e os ensaios.

2.1 Etapa 1

Com o intuito de avaliar a influência do fator de forma dos agregados graúdos no concreto permeável, utilizou-se três britas de origem basáltica providas de diferentes jazidas, sendo ambas caracterizadas como brita 0 (zero). Para a caracterização, necessitou-se realizar, de acordo com as normas, os ensaios de absorção, massa específica, granulometria e fator de forma.

Para o ensaio do fator de forma, realizado conforme a NBR 7809 (ABNT, 2019), encontrou-se valores de 1,96, 2,64 e 3,57. Entretanto, a norma não faz referência à nomenclatura do índice de forma, logo, para complementar essa caracterização, baseou-se no trabalho de Silva e Geyer (2018) classificando os agregados como cúbica-lamelar (ACL), lamelar (AL) e lamelar-alongada (ALA), respectivamente, estes apresentados na Figura 1.

A diferença do índice de forma dos agregados decorre do processo de britagem. O ACL foi obtido por um britador de impacto, o qual objetiva gerar agregados de formato cúbico, neste sistema de britagem os agregados passaram por três britadores distintos, sendo eles um britador de mandíbula, seguido por um do tipo cônico e enfim o britador de impacto. Obteve-se o ALA a partir de uma britagem secundária, sendo utilizado um britador de mandíbula seguido por um britador do tipo cônico. O britador cônico, esmaga a rocha até obter a granulometria desejada e normalmente gera agregados de formato lamelar. Quanto ao agregado AL, não foi possível obter informações acerca do seu processo de britagem. (Figueira *et al.*, 2010).

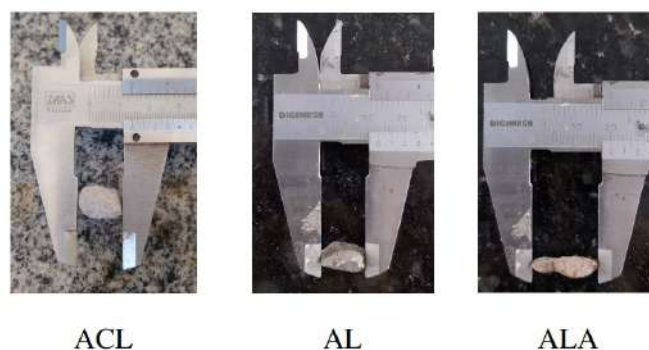


Figura 1. Índice de forma dos agregados utilizados.

Os ensaios de absorção e de massa específica foram realizados conforme a norma NBR NM 53 (ABNT, 2005). Obteve-se os valores de massa específica do agregado na condição saturado superfície seca para os diferentes índices de forma, e com isso, realizou-se uma média aritmética dos dados, que foi utilizada no traço padrão da mistura de concreto permeável.

A granulometria foi determinada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Através dos resultados, observou-se que os agregados possuíam granulometrias distintas, embora dentro dos limites estabelecidos pela norma. Para eliminar a variável granulométrica, os agregados foram peneirados e separados por número da abertura de peneira, assim foi possível construir uma curva granulométrica ótima entre os limites pré-estabelecidos por norma. A curva ótima se manteve constante para todos os agregados, conforme mostra a Figura 2. Ressalta-se que os materiais passantes na peneira 4,75 mm foram descartados para os três agregados estudados, devido à baixa disponibilidade do agregado ALA nesta faixa granulométrica.

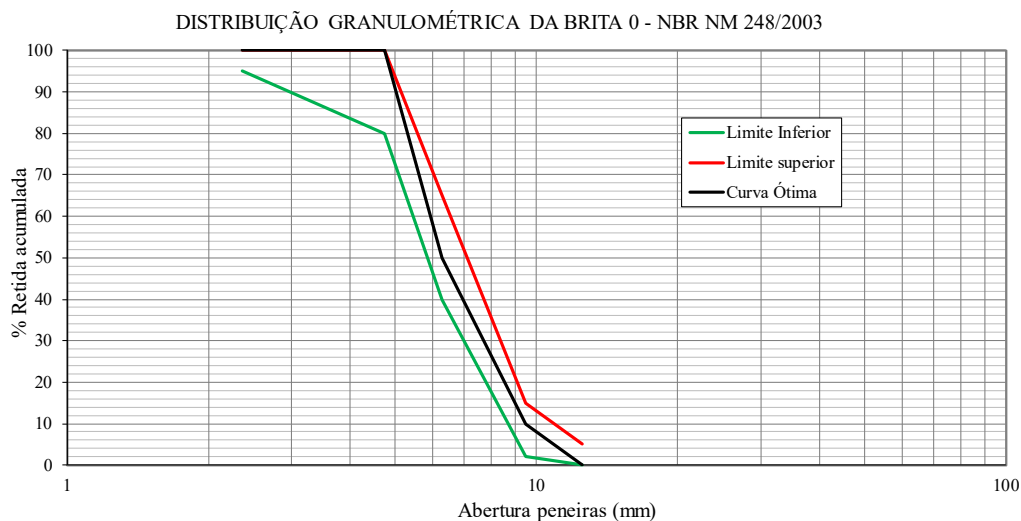


Figura 2. Curva granulométrica ótima utilizada no traço padrão de concreto permeável.

Ainda na primeira etapa, realizou-se a confecção de um rolo, que tem como finalidade, simular a compactação real de um pavimento/calçada de concreto permeável. O rolo tem massa de 50 kg, sendo constituído de concreto convencional, como mostrado na Figura 3 (b).

Para medir a permeabilidade dos corpos de prova do concreto permeável, necessitou-se a execução de um permeômetro de carga variável, utilizando materiais convencionais como canos e conexões de PVC, como pode ser visto na Figura 3 (a).



Figura 3. Equipamentos confeccionados na etapa 1, a) Permeômetro, b) Rolo para compactação.

2.2 Etapa 2

A etapa 2 compreendeu a moldagem dos corpos de prova (CP's) e a realização de ensaios mecânicos e hidráulicos. O traço utilizado nesse trabalho é embasado na metodologia desenvolvida por Pereira da Costa (2019) e leva em consideração a massa específica do agregado graúdo, neste caso a média dos três agregados, como citado anteriormente, uma relação água/cimento de 0,26, uma porosidade projetada de 25% para um traço de 1:4 (cimento:agregado). O cimento utilizado nesta pesquisa é do tipo CPV-ARI e possui uma massa específica de $3,1 \text{ g/cm}^3$. Além disso,

utilizou-se 0,4% de aditivo modificador de viscosidade (V-MAR® VSC500) em relação a massa de cimento.

A moldagem decorreu na seguinte ordem: primeiro todo o agregado graúdo foi colocado na betoneira, o qual encontrava-se na condição saturado superfície seca, seguido de parte da água, que objetiva aderir o aglomerante na superfície do agregado. Todo o aglomerante foi adicionado na sequência e posteriormente o restante da água juntamente com o aditivo. A consistência ideal do concreto permeável é obtida para um abatimento próximo de zero, de maneira prática, quando ao moldar uma “esfera” com a mão, ela permanece neste formato, sem que haja descolamento do agregado ou escoamento da pasta, como pode ser visualizado na Figura 4.



Figura 4. Abatimento próximo a zero, consistência ideal para moldagem do concreto permeável.

Os CP's cilíndricos de 10x20 cm foram compactados em duas camadas, com 20 golpes cada, já os CP's de 10x10 cm foram executados com apenas 1 camada com 20 golpes. Compactou-se com o Proctor, equipamento comumente utilizado em adensamento de solos. O uso do Proctor é recomendado pela ASTM subcommittee C09.49, desta forma é possível reduzir a dispersão nos resultados devido à diminuição do efeito de porosidade vertical (Martin III *et al.*, 2014).

Para uma maior confiabilidade dos resultados, moldou-se 5 corpos de prova cilíndricos de dimensões 10x20 cm, para os ensaios de permeabilidade (NBR 14545 (ABNT, 2021)), porosidade (ASTM C1754: 2012) e resistência à compressão axial (NBR 5739 (ABNT, 2018)); 3 corpos de prova cilíndricos de dimensões 10x10 cm, para o ensaio Cantabro (ASTM C1747: 2013); 5 corpos de prova prismáticos de dimensões 10x10x40 cm, para o ensaio de resistência à tração na flexão (NBR 12142 (ABNT, 2010)). Os CP's prismáticos foram compactados com rolo de massa igual a 50 kg, para uma melhor simulação da compactação em campo.

A porosidade (equação 1), assim como a permeabilidade, foram determinadas antes das amostras serem submetidas à ruptura. O permeâmetro de carga variável, construído na etapa 1, foi utilizado para realizar o ensaio de permeabilidade. Ressalta-se que a norma utilizada é específica para solos, sendo feita uma simples adaptação. Neste ensaio, os CP's foram revestidos com uma membrana de látex, que impede o fluxo horizontal, e após a saturação, anotou-se o tempo necessário para a água percolar entre uma distância pré-estabelecida e assim, conforme a equação 2, o coeficiente de permeabilidade (K) foi determinado através da Lei de Darcy.

$$P (\%) = \left[1 - \left(\frac{M_d - M_s}{\rho_w \times V} \right) \right] \times 100 \quad (1)$$

$$K \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) = \frac{a \times L}{A \times t} \times \log_{10} \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (2)$$

O ensaio Cantabro consiste na medição da perda de massa de amostras submetidas à ação combinada de impacto e abrasão, através do contato entre as próprias amostras, sem o uso de esferas de aço, e o tambor rotativo, conhecido como máquina de abrasão Los Angeles. Após a realização dos ensaios de permeabilidade e porosidade, os CP's foram capeados com argamassa, este procedimento permite uma melhor área de contato entre o CP e a prensa, distribuindo, assim a carga uniformemente.

O ensaio de resistência à compressão, apesar de não ser uma variável limitante para pavimentos de concreto, proporciona informações relevantes quando está se analisando a influência dos agregados, já a resistência à tração na flexão, determinada pela equação 3, fornece resultados importantes, sendo recomendado pela NBR 16416 (ABNT, 2015), visto que permite avaliar a viabilidade e aplicabilidade do pavimento. Os ensaios foram realizados aos 55 dias (porosidade, permeabilidade e abrasão) e aos 76 dias (mecânicos)¹.

$$f_{ct.f} = \frac{F \times l}{b \times d^2} \quad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 contém os dados da permeabilidade vs. porosidade para os três tipos de agregados utilizados. Na Figura 5 (a) pode-se observar a distribuição para todos os corpos de prova, já na Figura 5 (b) é possível visualizar a média e o desvio padrão. Com isso, observa-se que, por meio da equivalência nos desvios-padrão, para o parâmetro permeabilidade (eixo y), os três agregados possuem funcionalidade hidráulica semelhante. Porém, quando se analisa a porosidade (eixo x), percebe-se que houve um ganho de porosidade para os agregados com índices de forma lamelar e lamelar-alongado.

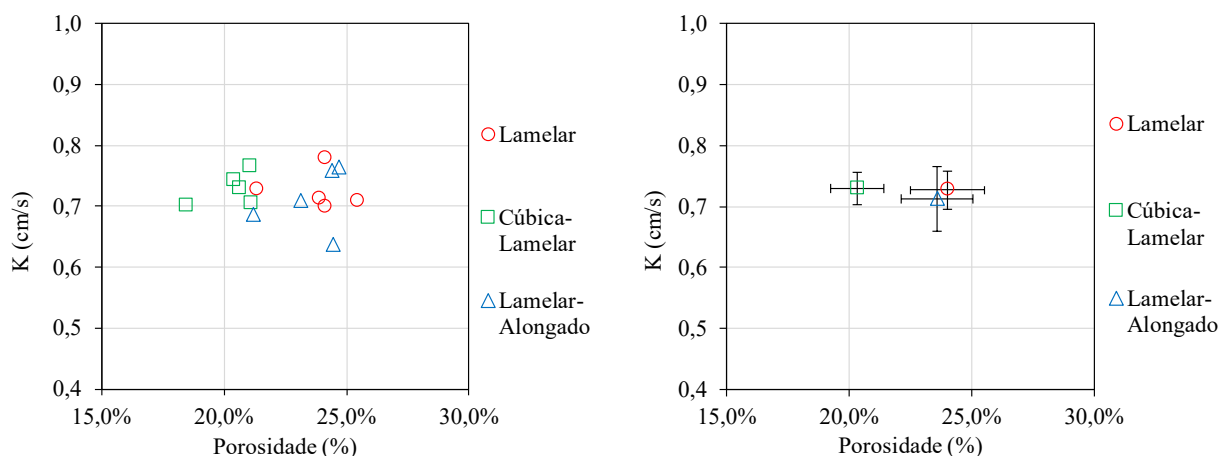


Figura 5. Permeabilidade vs. Porosidade: valores para todos os agregados (a) e valores médios (b).

O fato de que a porosidade aumentou para os agregados com índice de forma lamelar e lamelar-alongado, mas a permeabilidade permaneceu igual para os três tipos de agregados, pode ser explicado pela desconectividade ou tortuosidade dos poros, pois apesar de conter um maior número de vazios, a água pode ter difícil acesso a esses poros durante o escoamento, limitando a percolação de água. Este fato pode ser explicado pelo possível intertravamento de partículas mais lamelares e

¹ Datas possíveis de execução dos ensaios devido à pandemia pelo novo coronavírus que acarretou na interrupção das atividades acadêmicas e laboratoriais da Universidade no momento da execução desta pesquisa.

alongados dos agregados deste fator de forma. Os valores médios para a permeabilidade encontram-se entre 0,7 e 0,8 cm/s, estando de acordo com os dados encontrados nos trabalhos de Montes e Halsebach (2006).

A Figura 6 apresenta os resultados da resistência à compressão, assim como anteriormente, estão divididos, onde na Figura 6 (a) estão todos os valores por amostra da resistência à compressão pela porosidade e na Figura 6 (b) estão os valores médios com o desvio-padrão.

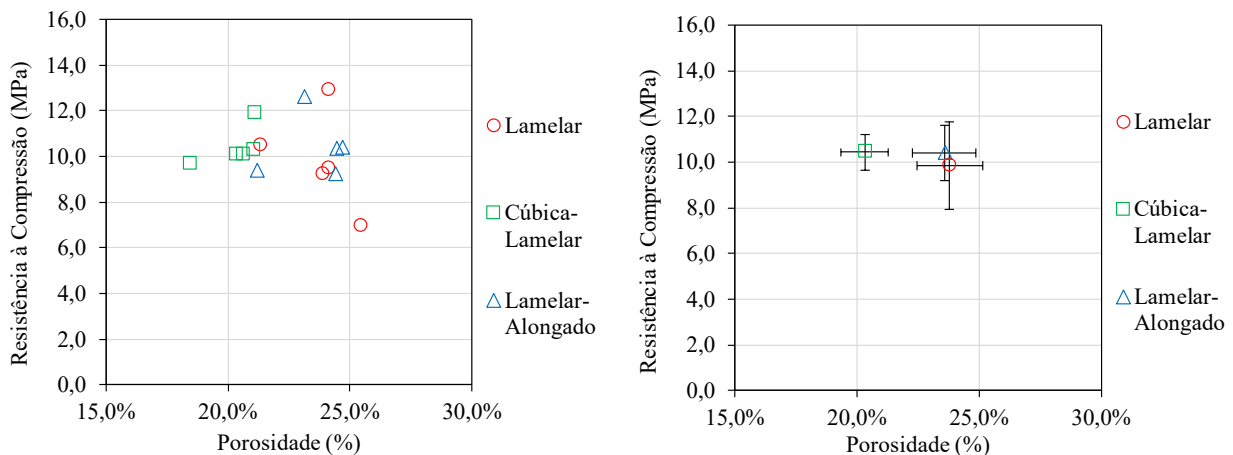


Figura 6. Resistência à compressão vs. Porosidade: valores para todos os agregados (a) e valores médios (b).

Ao analisar os gráficos é possível observar, a partir dos desvios-padrão, que não há diferença relevante entre os agregados para os valores de resistência à compressão (eixo y). Para a resistência em função da porosidade, percebe-se que o agregado cúbico-lamelar apresenta uma menor porosidade para um mesmo valor de resistência à compressão axial. Comumente, quanto maior o número de vazios menor a resistência mecânica (Batezini, 2013), no entanto, o que explica esta divergência é a possível presença de microfissuras internas no agregado cúbico-lamelar, que decorrem do processo de britagem, sendo utilizado para este agregado um britador terciário. Neste caso, o processo de britagem é fator determinante no desempenho mecânico do material.

Pressupõe-se, portanto que o fator de forma não influencia na resistência à compressão, quando utilizado a mesma curva granulométrica e o mesmo traço. Os valores médios encontrados foram de aproximadamente 10 MPa e estão próximos aos observados no trabalho de Costa *et al.* (2018) que avaliou em seu estudo um traço semelhante ao utilizado nessa pesquisa.

Na Figura 7, são apresentados os resultados referentes ao ensaio de resistência à tração na flexão. Uma vez que a porosidade foi medida apenas nos corpos de prova cilíndricos, o gráfico apresenta a média e o desvio-padrão para 5 (cinco) corpos de prova em função de cada tipo de agregado estudado.

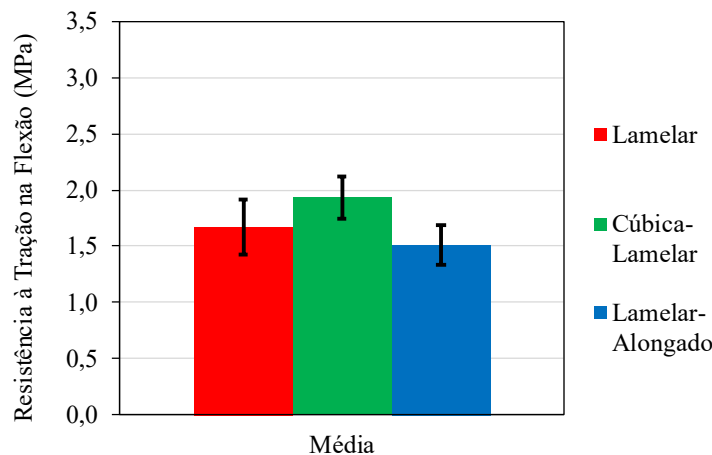


Figura 7. Valores médios para o ensaio de resistência à tração na flexão.

Ao observar o gráfico, percebe-se que ambas as amostras apresentaram uma resistência menor que a exigida pela NBR 16416 (ABNT, 2015), que estipula os requisitos e procedimentos para pavimentos de concreto permeável no Brasil. A resistência à tração na flexão mínima exigida pela norma é de 2,0 MPa, para um concreto permeável de tráfego leve moldado *in loco*. A baixa resistência encontrada, pode ser explicada pela retirada do material passante na peneira 4,75 mm. Os materiais finos tendem a preencher os vazios e melhorar o intertravamento da mistura, elevando a resistência.

A partir da análise de variância realizada utilizando o método Anova de um único fator, a qual é apresentada na Tabela 1, pode-se afirmar que os agregados classificados como lamelar e cúbica-lamelar, não diferem entre si quanto a resistência à tração, assim como a lamelar e a lamelar-alongada, sendo estatisticamente diferentes, apenas os valores apresentados para agregado cúbico-lamelar em relação ao agregado lamelar-alongado. Todavia, há uma tendência do agregado cúbico-lamelar apresentar uma maior resistência, devido possivelmente ao fato que agregados cúbicos apresentam maior área de contato grão a grão envolvidos pela pasta e assim, maior capacidade de transferência de tensões. Enquanto, o agregado lamelar-alongado revela uma tendência a apresentar a menor resistência à tração na flexão, devendo-se a facilidade de quebra do agregado quando submetido a este tipo de esforço.

Tabela 1. Análise variância utilizando o método Anova de um único fator, com probabilidade de 95%.

Descrição	Variância	P _{valor}	Significativo
Entre os grupos	0,2281	0,0378	Sim
Lamelar - Cúbica lamelar	0,5609	0,8053	Não
Cúbica lamelar – Lamelar alongada	0,4486	0,0113	Sim
Lamelar - Lamelar alongada	0,0674	0,3077	Não

As imagens apresentadas na Figura 8, exemplificam o modo de ruptura dos CP's prismáticos ensaiados nesta pesquisa. Observa-se na Figura 8 (a) a formação de uma única fissura, localizada próxima ao centro do vão que percorre a maior parte da seção transversal. A fissura ocorreu no contorno dos grãos na região de maior sollicitação. Pressupõe-se que esta fissura ocorreu na zona transição entre o agregado e a pasta, devido a fragilidade da ligação, porém ao analisar a Figura 8

(b) nota-se que houve também a quebra dos agregados, evidenciando a transferência de esforços solicitantes.

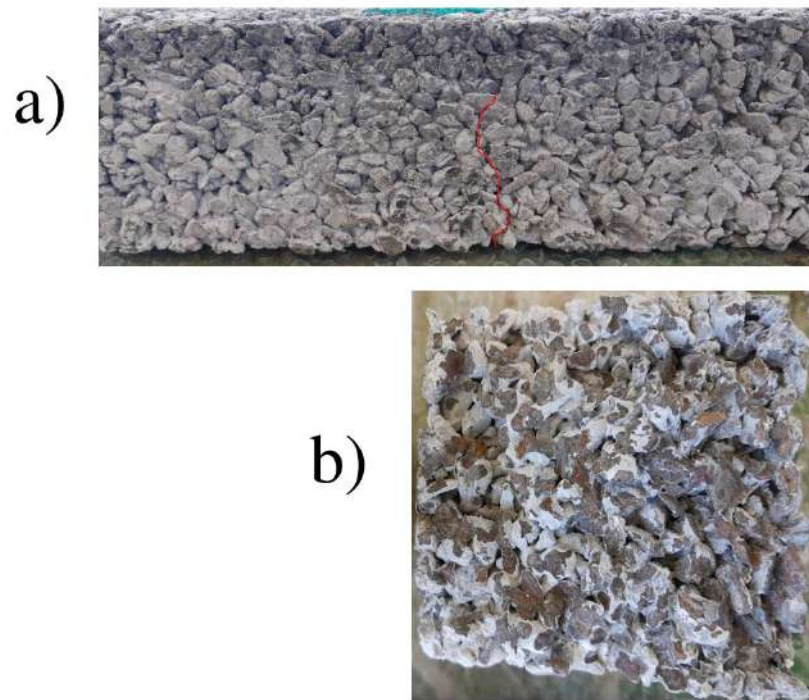


Figura 8. Modo de ruptura de um CP prismático submetido à esforços de tração na flexão.

A Figura 9 apresenta a perda de massa por meio do ensaio Cantabro, no qual obteve-se a perda de massa de três CP's cilindros de dimensões 10x10 cm, a cada 100 rotações até um total de 500 rotações. Vale ressaltar que foi utilizado a média das perdas de massas, devido à dificuldade de identificação dos CP's no transcorrer do ensaio.

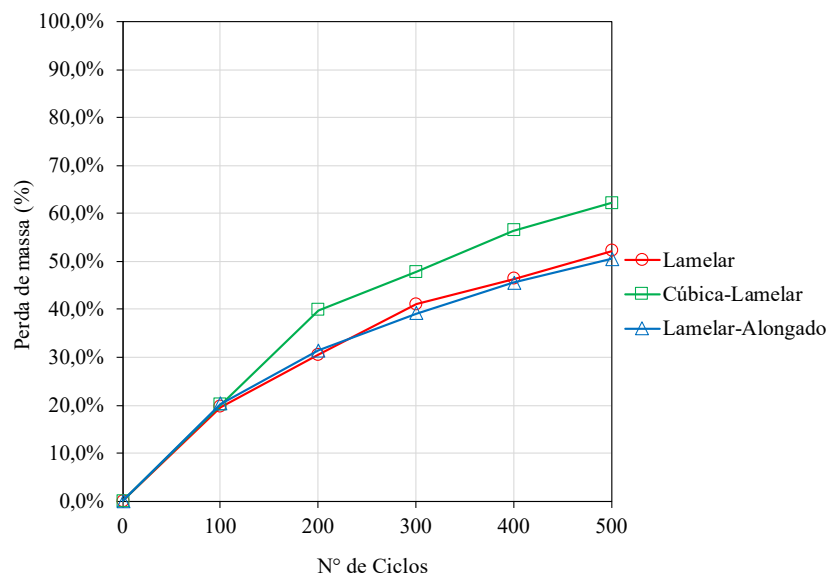


Figura 9. Perda de massa em função do número de ciclos realizados no ensaio de cântabro.

Como pode-se visualizar na Figura 9, o agregado de forma cúbica-lamelar apresentou uma perda de massa, aproximadamente, 10% maior comparado aos outros dois agregados. Essa maior perda

de massa pode ser devido ao processo de britagem que, como citado anteriormente, proporciona possíveis microfissuras internas, diminuindo a resistência à abrasão.

4. CONCLUSÕES

Os agregados graúdos influenciam o comportamento do concreto permeável, frente a formação dos poros interconectados, pelos quais a água percola no pavimento. No entanto, quando analisado o índice de forma dos agregados, estes não evidenciaram diferenças expressivas no potencial hidráulico e na capacidade mecânica. O fato de a resistência mecânica não ter sido alterada quando comparado os dois extremos no formato dos agregados, cúbico-lamelar e lamelar-alongado, decorre possivelmente do processo de britagem dos agregados. O agregado cúbico-lamelar é obtido por um britador de impacto, o qual pode causar, devido aos processos de britagem, microfissuras no interior do agregado e reduzir sua resistência. Por outro lado, o agregado lamelar-alongado é adquirido por um britador cônico, que proporciona menos esforços solicitantes ao agregado. Nesse sentido, as seguintes conclusões podem ser observadas:

- Os agregados classificados em lamelar, lamelar-alongado e cúbico-lamelar conferiram características hidráulicas semelhantes ao concreto permeável;
- Quando comparados em relação a resistência à compressão em função da porosidade, os agregados lamelar e lamelar-alongado são equivalentes, já o agregado cúbico-lamelar apresenta uma resistência semelhante aos demais, porém com uma porosidade de aproximadamente 4% a menos;
- Na resistência a tração na flexão, os resultados revelam uma tendência de superioridade para a cúbico-lamelar quando comparada a lamelar-alongada, enquanto os demais agregados não apresentam diferenças estatísticas;
- O agregado cúbico-lamelar apresentou a maior perda de massa no ensaio Cantabro, com aproximadamente 10% a mais de perda que os outros agregados, devido a fragilidade do agregado.

5. AGRADECIMIENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Desenvolvimento Acadêmico (PDA) da Universidade Federal do Pampa, pela bolsa de pesquisa, e a Brita Pinhal Indústria e Comércio Ltda, localizada no município de Itaara – RS, pela doação do agregado cúbico-lamelar.

6. REFERENCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *ABNT NBR 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água- Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). *ABNT NBR 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2021). *ABNT NBR 14545: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *ABNT NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019). *ABNT NBR 7809: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010). *ABNT NBR 12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *ABNT NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro.

American Society for Testing and Materials. (2012). *ASTM C1754/C1754M: Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete*. West Conshohocken, PA, United States of America.

American Society for Testing and Materials. (2013). *ASTM C1747/C1747M: Standard Test Method for Determining Potential Resistance to Degradation of Pervious Concrete by Impact and Abrasion*. West Conshohocken, PA, United States of America.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Urbanization and streams: studies of hydrological impacts. Office of Water. Publicação 841-R-97-009. Washington D.C., 1997.

Batezini, R. (2013). *Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Boaretto, G. O. F. (2017). *Estudo comparativo da substituição gradativa de agregado graúdo na forma lamelar pela forma cúbica nas propriedades do concreto*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville.

Costa, F. B. P.; Lorenzi, A.; Haselbach, L.; Silva Filho, L. C. P. Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests in *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v.11, n.05, pp. 1151-1159. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952018000500013>

Figueira, H. V. O., Luz, A. B., Almeida, S. L. M. (2010), “ Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios” 5ª Edição – Capítulo 4 – pág. 143–211.

Martin III, W. D.; Kaye, N. B.; Putman, B. J. (2014). Impact of vertical porosity distribution on the permeability of pervious concrete in *Construction and Building Materials*, v.59, p. 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.034>

Montes, F.; Haselbach, L. (2006). Measuring hydraulic conductivity in pervious concrete in *Environmental Engineering Science*, v.23, n.6, p. 960-969. <https://doi.org/10.1089/ees.2006.23.960>

Pereira Da Costa, F. B. P. (2019). *Análise e Desenvolvimento de Misturas de Concreto Permeável para Aplicação em Pavimentação*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Silva, D. A. Geyer, A. L. B. (2018). Influência da Forma do agregado graúdo nas propriedades mecânicas do concreto in Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 12, Vol. 05, pp. 67- 82.

[Influência da Forma do agregado graúdo nas propriedades \(nucleodoconhecimento.com.br\)](http://nucleodoconhecimento.com.br)

Singh, A., Sampath, P. V., & Biligiri, K. P. (2020). A review of sustainable pervious concrete systems: Emphasis on clogging, material characterization, and environmental aspects. *Construction and Building Materials*, 261, 120491. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120491

VALENÇA, Guilherme Sanguinetti et al. Análise da viabilidade do uso do concreto permeável na utilização de pavimento leve em vias urbanas. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 3, p. 28803-28816, 2021.

Resistência a compressão axial em concretos aditivados com PET (politereftalado de etileno) em substituição aos agregados

A. F. R. Cruz^{1*}, C. R. Alves², D. B. Silva³, L. N. Benedito⁴

*Autor de Contato: ana.cruz@engenharia.ujf.br

¹ Faculdades Unificadas de Cataguases, Cataguases, Brasil

² Faculdades Unificadas de Cataguases, Cataguases, Brasil

³ Faculdades Unificadas de Cataguases, Cataguases, Brasil

⁴ Faculdades Unificadas de Cataguases, Cataguases, Brasil

RESUMO

Estudar materiais cimentícios sustentáveis é tarefa primordial, especialmente na indústria da construção civil. Este presente trabalho tem por objetivo avaliar o uso de agregados reciclados de PET em substituição aos agregados convencionais em concretos de classe C30. Assim, foram desenvolvidas diferentes dosagens: CA (dosagem de referência), CAPET 5, CAPET 10, CAPET 20 e CAPET50 (substituições em volume de 5%, 10%, 20% e 50%, respectivamente, dos agregados da dosagem de referência por agregados reciclados de PET). Foram desenvolvidos ensaios para avaliar a consistência e a resistência à compressão axial. Identificou-se que, com o aumento do teor de substituições, o material perde trabalhabilidade e resistência à compressão axial, de modo que os melhores resultados foram encontrados para as substituições de 5%.

Palavras-chave: Trabalhabilidade; Consistência; Resistência; Agregado reciclado.

1. INTRODUÇÃO

O concreto tradicional é constituído basicamente por cimento, agregados e água. O cimento é um material utilizado na construção civil e seu uso pode ser justificado por ele conferir uma série de características às misturas, como resistência, durabilidade e versatilidade. A indústria do cimento é um dos setores que vem crescendo nos últimos anos, movimentando bilhões de dólares em todo o mundo (THOMÉ, 2016). O cimento Portland é o tipo de cimento mais utilizado na construção civil, exercendo nas misturas cimentícias a função de aglomerante ou aglutinante. Os agregados empregados na fabricação do concreto podem ter origem natural ou artificial, sendo divididos em agregadas miúdos e agregados graúdos.

Essas misturas cimentícias são empregadas com diversas funções - estruturais ou não. Porém, pode-se destacar que, com o passar dos anos, a busca pela melhoria de suas propriedades tornou-se impulsionadora de pesquisas na indústria da construção civil. Assim, estudos de dosagem e de desenvolvimento de novos materiais e serem incorporados nessas matrizes cimentícias, a fim de melhorar ou modificar suas propriedades, tornou-se tarefa essencial no desenvolvimento tecnológico do setor da construção civil. Nesse contexto, aditivos e adições tem sido estudados ao longo dos anos e garantiram maior desempenho e qualidade dessas misturas, fatores fundamentais para garantia de vantagem competitiva das empresas construtoras frente a suas concorrentes de mercado.

Porém, vale destacar que o desenvolvimento tecnológico que impulsionou a indústria da construção civil nos últimos, trouxe com ele graves prejuízos e impactos ambientais, como a extração de recursos naturais e a geração de resíduos. Quando se pensa em uso de matérias primas produzidas no mundo, entre 40% e 75% são consumidas na construção civil. Em relação aos recursos naturais, cerca de um terço de seu consumo mundial é feito pela indústria da construção civil (THOMÉ, 2016). Estima-se, ainda, que cerca de 5% das emissões de gás carbônico do efeito estufa estejam relacionados às indústrias cimentícias, no processo de fabricação do cimento (EFEITO, 2020).

Sabe-se ainda que as atividades para obtenção de agregados utilizados na construção civil, como agregado miúdo, são realizadas através da exploração de jazidas, podendo ser jazidas de rio, de cava ou de dunas e praias (AGOPYAN e JOHN, 2011). A atividade de extração deste recurso natural é uma das que mais contribuem para a modificação da superfície da terra, resultando num impacto negativo sobre a água, o solo, o subsolo e a paisagem do rio de uma forma geral (NOGUEIRA, 2016). Para exploração de agregados graúdos, vale destacar também as atividades de mineração, através da exploração de jazidas e detonação de rochas em pedreiras.

Portanto, é relevante pensar em alternativas para a redução da utilização deste e de outros recursos naturais não renováveis, amenizando com isso essa problemática (CANELLAS, 2005). Atualmente vem sendo estudada a utilização de materiais reciclados na construção civil, visto que a reciclagem é de fundamental importância para que a sociedade possa construir um planeta mais saudável, com menos poluição e mais sustentabilidade.

Desta maneira, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a resistência à compressão axial de um concreto classe C30 (resistência de 30 MPa aos 28 dias de idade) dosado com um aditivo polifuncional FK830 e com agregados substituídos parcialmente por agregado de PET (politereftalado de etileno).

Como objetivo secundário, o trabalho buscou avaliar, também, a consistência e a trabalhabilidade das dosagens.

Com base na literatura de referência, optou-se nessa pesquisa por dosar misturas com uso de aditivo polifuncional, uma vez que estes proporcionaram resultados satisfatórios de resistência em dosagens com agregados de PET, compensando, assim, possíveis perdas. O aditivo polifuncional escolhido foi o FK830, cedido por uma concreteira local que forneceu também seus traços de referência utilizados na região deste estudo.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela lei federal nº 12305 (BRASIL, 2010), prevê que sejam priorizadas atividades que não gerem resíduos, além da redução na geração, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos.

Conforme visto em Agopyan e John (2011), devido ao aumento da população, houve um crescimento descontrolado na utilização e descarte de PET no Brasil nos últimos anos. A maioria dessas garrafas são descartadas em terrenos baldios, rios e oceanos, causando contaminação e contribuindo com o entupimento de bueiros e galerias, ocasionando enchentes. Nos dias atuais, reciclar tem sido considerado uma atitude de suma importância para redução dos impactos no meio ambiente.

Para Silva (2011), o aprimoramento dos métodos mencionados e o desenvolvimento de medidas mais racionais são capazes de contribuir com a redução de resíduos na construção civil, além de gerar uma nova possibilidade de utilizar diversos materiais de forma prática e sustentável.

Assim, desenvolver pesquisas voltadas para a redução da exploração de recursos naturais - agregados naturais - e reciclagem de resíduos sólidos advindos de outras indústrias, como os resíduos de PET, é tarefa primordial para o desenvolvimento sustentável de um país.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Materiais constituintes do concreto

A NBR 8953 (ABNT, 2015) informa que concretos estruturais são aqueles de classe C20 (resistência a compressão axial mínima aos 28 dias de 20 MPa) ou superior. Concretos de resistência inferior a 20 MPa não são estruturais e caso sejam utilizados devem ter seu desempenho atendido conforme a NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto (ABNT, 2014) e NBR 12655 - Concreto de cimento Portland: Preparo, controle, recebimento e aceitação - procedimentos (ABNT, 2015). Seja com função estrutural ou não, os concretos são basicamente constituídos por aglomerante, água e agregados, podendo, ainda, conter aditivos, adições ou fibras em sua constituição. Esses materiais são descritos a seguir.

2.1.1 Aglomerante

Na construção civil, existem tipos de cimentos cujas funções variam de acordo com suas propriedades e aplicações. A classificação dos cimentos, quanto a seus constituintes, é apresentada a seguir, conforme a NBR 16697 (ABNT, 2018).

- CPI - Cimento Portland comum;
- CPI-S - Cimento Portland comum com adição;
- CP II-E - Cimento Portland composto com escória;
- CP II-Z - Cimento Portland composto com pozolana;
- CP II-F – Cimento Portland composto com fíler;
- CP III – Cimento Portland de alto-forno;
- CP IV - Cimento Portland pozolânico;
- CP V - ARI - cimento Portland de alta resistência inicial.

2.1.2 Agregados

Os agregados são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas às obras de engenharia, em especial aquelas que envolvam a fabricação de concretos e argamassas (BARBOSA, 2017). Os agregados devem ser compostos por grãos de

minerais duros, compactos, duráveis, estáveis, serem limpos e não interferirem no endurecimento e nas reações de hidratação do cimento, além de não comprometerem a proteção contra corrosão da armadura (AGREGADOS, 2020). Barbosa (2017) afirma que esses materiais podem ter diferentes classificações. Segundo a sua origem, os agregados podem ser naturais, britados, artificiais ou reciclados. Os agregados naturais são aqueles derivados de rochas que existem na crosta terrestre e que, para sua utilização, só é preciso que passem por um processo de lavagem. É o caso da areia de rio, pedregulho, entre outros. Os agregados britados são aqueles derivados do processo de fragmentação de rocha. Existem ainda os agregados artificiais, produzidos por processos industriais, como a argila expandida e a vermiculita expandida. Existem ainda os agregados reciclados, que são materiais granulares obtidos a partir da reciclagem de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou construção e demolição da construção civil. É o caso da escória de alto forno que pode ser utilizada como agregado, dos resíduos de construção e demolição (RCD) e dos resíduos de PET, objeto de estudo desta pesquisa. Os agregados podem, ainda, ter uma classificação voltada para sua densidade, podendo ser: leves (como os agregados expandidos de argila), normais (como a brita) ou pesados (como a magnetita). Pode ser feita também a classificação dos agregados quanto à sua granulometria, conforme a NBR 7211 - Agregados para concreto: especificação (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019). Para isso, é importante conhecer o conjunto de peneiras sucessivas da NBR NM ISO 3310-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010). Suas aberturas estão especificadas em milímetros (mm):

- Série normal: 75; 37,5; 19; 9,5; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15
- Série intermediária: 63; 50; 31,5; 25; 12,5; 6,3.

Segundo a NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019), define-se agregado miúdo como o agregado formado por grãos que passam pela peneira de 4,75 mm. A NBR 9935 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011) destaca, ainda, que o agregado miúdo fica retido na peneira de 0,15 mm. Já o agregado graúdo é o agregado com grãos que passam na peneira com abertura de malha 75 mm e ficam retidos na peneira de abertura 4,75 mm. Ressalvas a essa regra são feitas nas tabelas 2 e 6 da referida norma, que estipula os limites inferiores e superiores da distribuição granulométrica desses agregados, em ensaio de granulometria realizado conforme a NBR NM 248 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003). Em relação à nomenclatura desses agregados quanto à granulometria, existem algumas variações comerciais em função da antiga classificação da NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983), que foi substituída pela versão 2009 e corrigida em 2019. A antiga versão da norma caracterizava os agregados miúdos como aqueles retidos na peneira de 0,075 mm e passantes na peneira de 4,8 mm. Já os agregados graúdos eram classificados como aqueles retidos na peneira de 4,8 mm e passantes na peneira de 152 mm. Os agregados miúdos eram subdivididos em quatro zonas: zona 1 (muito fina); zona 2 (fina); zona 3 (média); zona 4 (grossa). No que se refere aos agregados graúdos, sua classificação granulométrica envolvia diferentes graduações: brita 0, 1, 2, 3, 4 e 5. Nesse sentido, em sua nova versão, a NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019) também estipula faixas de variação dos agregados graúdos, conforme Tabela 6 desta norma.

- Primeira zona granulométrica: 4,75 mm a 12,5 mm - chamado também de pedrisco (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011);
- Segunda zona granulométrica: 9,5 mm a 25 mm;
- Terceira zona granulométrica: 19 a 31,5 mm;
- Quarta zona granulométrica: 25 a 50 mm;
- Quinta zona granulométrica: 37,5 a 75 mm.

Além das classificações acima, a NBR 9935 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011) define, ainda, pó de pedra como o material granular resultante da britagem de rocha que passa na peneira de malha 6,3 mm. O pó de pedra é um resíduo proveniente do processo da extração de brita, ficando acumulado em abundância nos pátios das pedreiras.

- **Adições e aditivos**

Nas matrizes cimentícias, aditivos e adições vêm sendo empregados nos últimos anos, a fim de modificar uma ou mais de suas propriedades. Na linguagem técnica, os termos são, ainda, confundidos. Pode-se dizer que adições podem ser consideradas como qualquer material de origem mineral, capaz de somar ou substituir o cimento em matrizes cimentícias, alterando suas características químicas ou físicas. É o caso do metacaulim, da sílica ativa, cinza volante, entre outros (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A utilização de certos tipos de adições, assim como de agregados reciclados, reforça o pensamento de sustentabilidade, uma vez que busca o desenvolvimento tecnológico do concreto a partir de resíduos. É o caso das escórias de alto forno e cinzas volantes, que passam a ter outras aplicações além do descarte no meio ambiente.

Os aditivos por sua vez são materiais de origem química adicionados em pequenas quantidades nas matrizes cimentícias, sendo possível a alteração das propriedades de concretos e argamassas no estado fresco e no estado endurecido. O uso de aditivos interfere diretamente na perda ou ganho de resistência mecânica em um concreto, além de afetar sua consistência e trabalhabilidade, sua permeabilidade, dentre outras propriedades do concreto.

Os principais aditivos disponíveis no mercado são os redutores de água ou plastificantes, os superplastificantes, os hiperplastificantes, os aceleradores ou retardadores de pega, incorporadores de ar, polifuncionais/multifuncionais, entre outros, como visto na NBR 11768 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011).

A NBR 11768 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011) classifica os aditivos polifuncionais como aqueles aditivos plastificantes que permitem maior dosagem que os plastificantes convencionais. Assim, os polifuncionais conferem maior trabalhabilidade e/ou redução de água. Já os superplastificantes tem maior efeito de redução de água e/ou ganho de trabalhabilidade que os plastificantes de modo geral. São, assim, considerados de alta eficiência.

Os aditivos incorporadores de ar permitem que o concreto fique resistente a baixas temperaturas e a ataques químicos provocados por saís de degelo. Já os modificadores de pega são aqueles utilizados para acelerar ou retardar as reações de hidratação do cimento.

- **Fibras**

Mehta e Monteiro (1994) destacam que outro material muito empregado nas matrizes cimentícias são as fibras. Elas podem ser de diversos tipos, como: fibras de aço, de polipropileno (microfibras de monofilamentos ou fibriladas, e macro fibras poliméricas), fibras de vidro, de carbono, de náilon, madeira, sisal, entre outras. As fibras atuam como ponte de transferência de tensão nas fissuras, e podem: aumentar a resistência à tração e a ductilidade dos concretos, melhorar o comportamento no estado fresco e no processo de endurecimento. Podem ser utilizadas para o controle de fissuração plástica em pavimentos, para reduzir ou interromper o processo de fissuras, para reforço do concreto endurecido, entre outras funções.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa contou com o desenvolvimento de ensaios de resistência à compressão axial e de consistência, para avaliação da resistência mecânica e trabalhabilidade das misturas de concreto dosadas com agregado de PET em substituição aos agregados miúdo e graúdo.

Assim, primeiramente, buscou-se destacar os materiais empregados e, posteriormente, o programa experimental.

3.1 Materiais empregados

Para dosagem das misturas e moldagem dos corpos de prova, foram empregados nas matrizes cimentícias os seguintes materiais:

- Aglomerante - cimento Portland CII - E, classe 32 MPa;
- Agregado miúdo - areia natural do Rio Pomba, de Cataguases, Minas Gerais;
- Pó de pedra - agregado britado de origem gnáissica, obtido de uma pedreira em Cataguases, Minas Gerais;
- Pedrisco - agregado graúdo britado da primeira zona granulométrica 4,75/12,5 obtido de uma pedreira em Cataguases, Minas Gerais;
- Brita 9,5/25 - agregado graúdo britado da segunda zona granulométrica 9,5/25 obtida de uma pedreira em Cataguases, Minas Gerais.
- Aditivo polifuncional FK-830;
- Agregado reciclado de PET, para substituição dos demais agregados em diferentes proporções.

A Figura 01 ilustra o agregado de PET utilizado nesta pesquisa. Ele foi obtido a partir de garrafa PET triturada em triturador mecânico na cidade de Cataguases (MG). Destaca-se que foram identificadas limitações do equipamento em relação à granulometria do produto final. Não foi possível obter um produto que atenda à uma ampla faixa granulométrica. Assim, ao ser passado no jogo de peneiras, identificou-se que o material é 100% passante na peneira de 4,75 mm e 100% retido na peneira de 2,36 mm.



Figura 01. Agregado reciclado de PET.

3.2 Traços empregados nas dosagens

O traço de referência dessa mistura (CA) foi obtido de uma concreteira na cidade de Cataguases (MG) para dosagem de um concreto C30 (resistência de 30 MPa aos 28 dias de idade). Os materiais empregados na dosagem foram os mesmos empregados nesta pesquisa. O Quadro 1 indica as dosagens para o traço de referência, considerando uma betonada em betoneira estacionária de 150 litros.

Quadro 1. Traço de referência – CA.

Concreto de referência - CA	
Material	Massa (g)
Aglomerante	5.365
Agregado miúdo	11.290
Pó de pedra	1.220
Pedrisco	6.025
Brita 9,5/25	8.995
Aditivo FK830	25.40
Água	2.490

Fonte: adaptado de uma concreteira na cidade de Cataguases (2020)

Para as substituições dos agregados por agregado reciclado de PET, foi verificado um problema em relação às dimensões dos materiais, uma vez que o agregado de PET não possui as mesmas faixas granulométricas da areia e pó de pedra utilizados nesta pesquisa. Constatou-se que, embora possa ser classificado como agregado miúdo (100% do material é passante na peneira de 4,75 mm), o agregado de PET tem granulometria muito uniforme, se comparado à areia e ao pó de pedra, além de possuir maiores dimensões. Assim, baseando-se na pesquisa de Modro e Oliveira (2009), optou-se por substituir de forma conjunta os agregados. Ou seja, o agregado de PET foi utilizado para substituir uma mistura de agregado miúdo, pó de pedra e pedrisco (da zona granulométrica 4,75/12,5). A brita da zona granulométrica 9,5/25 não foi substituída, por distanciar-se muito da granulometria do agregado reciclado de PET.

A partir do traço de referência, foram retiradas massas de agregados correspondentes a 5%, 10%, 20% e 50% das massas iniciais (do traço de referência) de cada um desses agregados. No momento de substituir os agregados pelo agregado reciclado de PET, optou-se por fazer as substituições em volume, uma vez que o agregado de PET tem densidade muito diferente dos agregados utilizados nesta pesquisa, o que inviabilizaria as substituições em massa. Essa consideração também foi feita nos trabalhos de Modro e Oliveira (2009), Jardim (2016) e Gorges *et al.* (2019). Assim, nos traços com uso do agregado de PET em substituição aos agregados miúdo, pó de pedra e pedrisco, foram empregadas as seguintes massas de materiais nas betonadas, conforme Quadro 2. As siglas utilizadas para descrever as dosagens são:

- CA - concreto aditivado de referência, sem PET;
- CAPET5 - concreto aditivado com 5% de substituição de agregados por agregado de PET;
- CAPET10 - concreto aditivado com 10% de substituição de agregados por agregado de PET;
- CAPET20 - concreto aditivado com 20% de substituição de agregados por agregado de PET;
- CAPET50 - concreto aditivado com 50% de substituição de agregados por agregado de PET.

Quadro 2. Traços com substituição.

Concreto com substituição de 5% - CAPET5		Concreto com substituição de 10% - CAPET10	
Material	Massa (g)	Material	Massa (g)
Aglomerante	5.365	Aglomerante	5.365
Agregado miúdo	10.726	Agregado miúdo	10.161
Pó de pedra	1.159	Pó de pedra	1.098
Pedrisco	5.724	Pedrisco	5.423
Brita 9,5/25	8.995	Brita 9,5/25	8.995
Aditivo FK830	25.40	Aditivo FK830	25.40
Água	2.490	Água	2.490
Agregado de PET: 5% do volume do material retirado		Agregado de PET: 10% do volume do material retirado	
Concreto com substituição de 20% - CAPET20		Concreto com substituição de 50% - CAPET50	
Material	Massa (g)	Material	Massa (g)
Aglomerante	5.365	Aglomerante	5.365
Agregado miúdo	9.032	Agregado miúdo	5.645
Pó de pedra	976	Pó de pedra	610
Pedrisco	4.820	Pedrisco	3.013
Brita 9,5/25	8.995	Brita 9,5/25	8.995
Aditivo FK830	25.40	Aditivo FK830	25.40
Água	2.490	Água	2.490
Agregado de PET: 20% do volume do material retirado		Agregado de PET: 50% do volume do material retirado	

Fonte: Os autores (2020)

3.3 Preparo, moldagem dos corpos de prova, cura e ensaios realizados

- **Preparo**

Para cada traço dos Quadros 1 e 2, foram moldados 5 corpos de prova no dia 17/10/2020. A mistura dos materiais em betoneira estacionária foi feita segundo as recomendações da NBR 12655 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015).

A norma recomenda que para betoneiras estacionárias o procedimento de preparo da mistura siga as recomendações do fabricante. Assim, inicialmente buscou-se pesar todos os materiais e verificar o volume de agregado de PET empregado em cada mistura. Tendo pesado os materiais em balança de precisão de 0,1 g, foi feita a mistura do aditivo na água de amassamento. Posteriormente, ligou-se a betoneira estacionária, previamente umedecida, e foi realizada a mistura dos materiais aos poucos e na seguinte ordem: britas, 1/3 do volume da mistura de água e aditivo, cimento, 1/3 do volume da mistura de água e aditivo, areia pó de pedra e pet, restante da água. O procedimento de mistura foi feito até o material ficar homogêneo e sem ultrapassar 5 minutos.

- **Moldagem dos corpos de prova**

Antes de realizar a moldagem dos corpos de prova, foi feita a verificação do abatimento do tronco de cone (*slump test*) para avaliação da consistência dos concretos, conforme previsto na NBR NM 67 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998). A Figura 02 ilustra o ensaio de abatimento do tronco de cone. As recomendações normativas foram observadas, de modo que o ensaio foi realizado com preenchimento do molde em três camadas, havendo compactação de cada camada com 25 golpes.



Figura 02. Verificação do abatimento do tronco de cone.

A NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015) especifica o procedimento de moldagem dos corpos de prova de concreto. Os corpos de prova de concreto utilizados são cilíndricos de dimensões 10 cm x 20 cm. Vale destacar algumas recomendações normativas, como a dimensão da base do corpo de prova deve ser no mínimo três vezes superior à dimensão máxima do agregado utilizado. Os moldes devem ser revestidos por lubrificante ou óleo em sua face interna. Nos corpos de prova cilíndricos foi feito adensamento manual em duas camadas, conferidos 12 golpes por camada. Observou-se, ainda, a recomendação normativa de rasamento do topo dos corpos de prova com a colher de pedreiro.

Após a moldagem, os corpos de prova foram identificados e armazenados em local protegido de intempéries, para evitar a perda de água do material. Eles ficaram 24h no processo de cura inicial. Findado o período de cura inicial, os corpos de prova foram desmoldados e novamente identificados. Foram, então, submersos em tanque de imersão de solução saturada de hidróxido de cálcio até atingirem 28 dias de idade. Buscou-se manter a temperatura em 23 +/- 2°C.

- **Ensaio de resistência à compressão axial - execução, resultados e interpretação dos dados**

Terminado o período de cura dos corpos de prova, eles puderam ser retirados do tanque e ensaiados. Para realização do ensaio de resistência a compressão axial, é necessário que seja feita preparação das bases com retificação ou capeamento com material de até 3 mm de espessura em cada base (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015). Por falta de equipamento para retificação, esta etapa não foi realizada na pesquisa para nenhum corpo de prova.

Os ensaios de resistência a compressão axial foram feitos no dia 14/11/2020 com ruptura em prensa manual. Foram atendidos os critérios da NBR 5739 - Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015).

Para avaliação estatística do desempenho e confiabilidade dos resultados dos ensaios, foi utilizado o anexo B da NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016). Para esta avaliação, é recomendado que a amostra (ou seja, cada dosagem) tenha dez ou mais exemplares e que cada exemplar tenha no mínimo 2 corpos de prova. Para cada exemplar, calcula-se a amplitude dos resultados (A_i), considerando o número de exemplares n e o número de corpos de prova por exemplar. Assim, o desvio padrão é calculado para a amostra, conforme anexo B da NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016).

Neste trabalho, para cada amostra (cada traço ensaiado), foi desenvolvido apenas um exemplar, com 5 corpos de prova cada um. Deste modo, para cada traço o desvio padrão foi dado pela equação 1, considerando A a amplitude dos resultados e 2,326 o coeficiente de ponderação utilizado quando são moldados 5 corpos de prova por exemplar.

$$S_e = A/2,326 \quad (1)$$

Assim, o coeficiente de variação dentro do ensaio (C_{ve}) pode ser calculado a partir de S_e e da resistência média (f_{cm}) obtida nos exemplares. Como nesta pesquisa foi desenvolvido apenas um exemplar por amostra, f_{cm} foi dada a partir das médias dos resultados dos corpos de prova.

Deste modo, a equação 2 expressa o coeficiente de variação dentro do ensaio (C_{ve}):

$$C_{ve} = [S_e/f_{cm}] \times 100 \quad (2)$$

A avaliação estatística quanto à dispersão dos resultados é dada atribuindo-se diferentes níveis, como descrito a seguir:

- Nível 1: Excelente ($C_{ve} \leq 3,0$);
- Nível 2: Muito bom ($3 \leq C_{ve} \leq 4,0$);
- Nível 3: Bom ($4,0 \leq C_{ve} \leq 5,0$);
- Nível 4: Razoável ($5,0 \leq C_{ve} \leq 6,0$);
- Nível 5: Deficiente ($C_{ve} \geq 6,0$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De um modo geral, pode-se indicar no Quadro 04 os resultados obtidos de abatimento e as médias de resistência à compressão axial obtidas para cada dosagem.

Quadro 04. Resultados encontrados.

Identificação	Slump Test (mm)	Média de resistência a compressão axial (MPa)
CA	152	16,59
CAPET5	158	16,92
CAPET10	80	13,10
CAPET20	140	10,99
CAPET50	34	6,17

Fonte: Os autores (2020)

Para o concreto de referência, foi possível identificar os resultados encontrados de resistência mecânica no gráfico da Figura 03. Os resultados variaram entre 13,19 MPa e 18,24 MPa, com uma amplitude de 5,05 Mpa, desvio padrão (Se) de 2,17 MPa, resistência média (fcm) de 16,59 MPa e coeficiente de variação dentro do ensaio (Cve) de 13% (indicando deficiência no procedimento de ensaio).

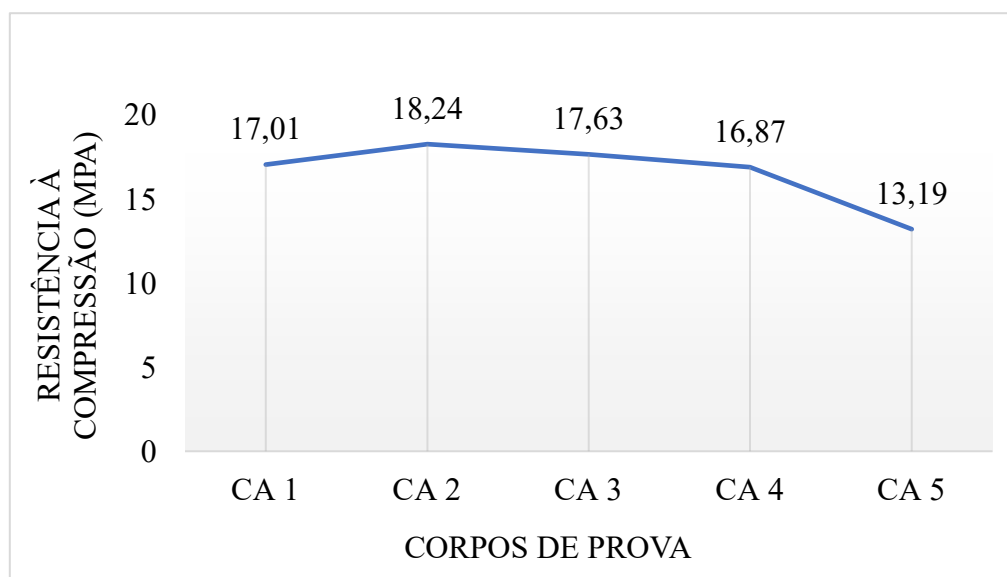


Figura 03. Resultados encontrados de resistência mecânica para o traço de referência – CA.

Para os traços com substituição dos agregados por agregado reciclado de PET, foi feito o mesmo procedimento de análise de dados. Para a dosagem com substituição de 5%, observou-se um coeficiente de variação dentro do ensaio (Cve) de 4,1% (considerado bom). Nas dosagens com 10% de substituição, verificou-se um Cve de 12%, também deficiente. Para as substituições de 20%, o Cve obtido foi de 10% (deficiente) e para as dosagens com 50% de substituição, o Cve foi também de 4,1%, considerado bom.

Vale destacar que esses resultados não retratam o desempenho do agregado de PET na mistura como bom ou deficiente, mas a confiabilidade dos resultados encontrados.

Analisando os resultados obtidos, percebe-se pelo Quadro 04 que os concretos com agregado de PET tendem a perder consistência e trabalhabilidade. Esse resultado está de acordo com os resultados da literatura e pode consultado na pesquisa de Modro e Oliveira (2009). Assim, para que se tenha um bom desempenho dessas misturas, é indicado o uso de aditivos polifuncionais, plastificantes ou superplastificantes, que possam contribuir na melhoria desta propriedade, como foi feito neste trabalho. Observa-se ainda que o CAPET10 teve um valor de consistência bastante divergente dos demais. Acredita-se que isso aconteceu devido a erro de execução do ensaio no momento de retirada do molde do *slump test*, de modo que a avaliação do abatimento do tronco de cone ficou comprometida (Figura 04).



Figura 04: Erros de execução do ensaio no CAPET10

Em relação aos resultados obtidos de resistência à compressão axial, algumas considerações podem ser feitas:

a) Todas as dosagens tiveram resultados inferiores ao resultado esperado de dosagem do traço (de 30 MPa). Acredita-se que a justificativa para esse fato esteja vinculada à erros de moldagem dos corpos de prova, uma vez que a moldagem foi realizada sem o controle tecnológico de concreteira. Outros fatores que justificam os resultados são a falta de retificação dos topos e das bases dos corpos de prova, por falta de equipamento, além do uso de prensa manual aliada à pouca experiência dos operadores.

b) Existe, através do Quadro 04, um indicativo de padrão de comportamento da resistência do concreto dosado com agregado reciclado de PET: observa-se que a resistência à compressão do concreto diminui quando o percentual de substituição aumenta.

O resultado está de acordo com os resultados encontrados por Modro e Oliveira (2009), Canellas (2005) e Almeida *et al.* (2004). Modro e Oliveira (2009) explicam que o material de PET tem menor interação química com a matriz cimentícia e é um material com maior porosidade residual. Vale destacar também a menor resistência mecânica do agregado de PET em relação aos agregados minerais, que são muito mais resistentes mecanicamente.

c) Em relação à confiabilidade dos resultados e coeficiente de variações obtidos, observa-se que os resultados obtidos para o concreto de referência e os concretos com substituição de 10 e 20% tiveram grande dispersão de resultados e podem ser considerados deficientes para uma análise mais criteriosa. Os resultados obtidos para as substituições de 5% e 50% tiveram uma boa confiabilidade e a partir deles algumas conclusões podem ser tiradas, como a possibilidade de equiparação de propriedades de um concreto com 5% de substituição dos agregados por agregado de PET em relação ao de referência. Outra conclusão à qual se chega é que as dosagens com 50% de

substituição são inviáveis tecnicamente, uma vez que atingiram níveis de resistência bastante baixos, frente às demais.

d) Por não terem atingido a resistência mínima de 20 MPa para concretos estruturais (ABNT NBR 6118, 2014), os materiais desenvolvidos nesta pesquisa, a princípio, não são indicados para uso como concreto estrutural. Sugere-se confirmação dos resultados em pesquisas futuras. Gorges *et al.* (2019) também encontraram um comportamento semelhante entre concretos de referência (sem substituição) e concretos dosados com substituição de até 10% de seus agregados por agregados de PET. Modro e Oliveira (2009) encontraram em sua pesquisa viabilidade técnica para uso não estrutural das dosagens obtidas com substituição de agregados por PET. Entre esses usos, os autores destacam: alvenaria de fechamento interna, capas de lajes pré-moldadas ou nervuradas, material de enchimento, entre outros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se nesta pesquisa a viabilidade de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados de PET para produção de concretos sem fins estruturais. Se corrigidas as variações e irregularidades apontadas nesta pesquisa em estudos futuros, acredita-se ser possível obter concretos com substituição dos agregados por agregado reciclado de PET com resistências superiores a 20 MPa, especialmente na dosagem do CAPET5, com substituição de 5%, que foi a dosagem que obteve melhor resultado e teve comportamento semelhante ao concreto de referência.

Pode-se dizer que foi possível observar um padrão de comportamento compatível com os resultados encontrados na literatura: quanto maior o teor de substituições, menor a resistência à compressão das misturas e menor sua trabalhabilidade. Assim, o uso de aditivos que garantam ganhos de trabalhabilidade é altamente recomendado, como foi feito nesta pesquisa (com emprego de aditivo polifuncional FK830).

Acredita-se que garantir as propriedades técnicas de concretos sustentáveis é tarefa primordial para o desenvolvimento sustentável de um país e garantia da qualidade e desempenho das edificações, além de prevenir a ocorrência de manifestações patológicas futuras.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de mais exemplares por amostra, para maior base de dados estatísticos. Recomenda-se também a retificação dos corpos de prova e uso de prensa hidráulica para rompimento dos corpos de prova. Outra possibilidade a ser avaliada em pesquisas futuras é a trituração do agregado de PET em outro equipamento, até ser obtida a granulometria ótima dos agregados miúdos, de modo que areias e agregado de PET tenham a mesma distribuição granulométrica e o agregado de PET possa ser utilizado para substituir somente a areia ou a areia e o pó de pedra.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos às Faculdades Unificadas de Cataguases, por ceder espaço e equipamentos para realização desta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. *O desafio da sustentabilidade na construção*. São Paulo: Blucher, 2011.

AGREGADOS *para concreto: o que são e para que servem?* Tecnosil Br, 2020. Disponível em: < <https://www.tecnosilbr.com.br/agregados-para-concreto-o-que-sao-e-para-que-servem/> > Acesso em: 30 de novembro de 2020.

ALMEIDA, M.; JUNIOR, M.; SONCIM, S.; JUNIOR, G. *Uso de areia de PET na fabricação de concretos*. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Livro de Resumos, pp. 39, Santa Catarina, Outubro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 – *Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 – *Ensaio de compressão de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502 – *Rochas e solos*. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – *Projeto de estruturas de concreto - procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 – *Agregados para concreto - especificação*. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953 – *Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935 – *Agregados - terminologia*. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768 – *Aditivos para concreto de cimento Portland*. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 – *Concreto de cimento Portland - preparo, controle, recebimento e aceitação - procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697 – *Cimento Portland - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52 – *Agregado miúdo: determinação das massas específicas e massas específicas aparentes*. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53 – *Agregado miúdo: determinação das massas específicas e massas específicas aparentes*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67 – *Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248 – *Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 3310-1 – *Peneiras de ensaios - requisitos técnicos e verificação - Parte 1*. Rio de Janeiro, 2010.

BARBOSA, M. *Materiais de Construção Civil*. Juiz de Fora, 2017 (Apostila).

CANELLAS, S.S. *Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas*, Dissertação M.Sc., PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

EFEITO *estufa e aquecimento global*. Ministério Do Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acesso em 21 de Março de 2020.

GORGES, G.; PERES, G.; GABRIEL, P. CASOLA, M.; CÂMARA, E. *Substituição parcial do agregado miúdo natural por cerâmica vermelha e polietileno tereftalado (PET) em concreto*. In: Anais do Congresso Técnico e Científico da Engenharia e da Agronomia; 17 - 19 set 2019; Palmas, TO, Brasil; 2019. p. 1-5.

JARDIM, R. R. *Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de PET em concretos convencionais*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS, Brasil, 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: PINI, 573 p., 1994.

MODRO, N.; OLIVEIRA, A. *Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET*. Revista Matéria, v. 14, n.1, pp. 725-736, 2009.

THOMÉ, Brenda Bressan. *Desperdício na construção civil: impactos no meio ambiente*. Sienge Plataforma, 2016. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/desperdicio-na-construcao-civil-impactos-no-meio-ambiente/>> Acesso em: 30 de novembro de 2020.

Avaliação das Propriedades Mecânicas do Concreto ao Substituir Frações do Agregado Miúdo por Borracha De Pneu

MR. Caetano^{1*}, KA. da Cruz¹, NS. Aguiar¹, OG. Teixeira²

*Autor de Contacto: caetano.mr@outlook.com

¹ Discente de Engenharia Civil do Centro Universitário FG (UniFG), Guanambi, Brasil

² Docente de Engenharia Civil do Centro Universitário FG (UniFG), Guanambi, Brasil

RESUMO

A extração de matéria prima e produção de materiais da construção civil bem como a produção da borracha de pneu, produz elevado impacto ambiental. Desse modo, o presente trabalho busca analisar a incorporação da borracha de pneu no concreto, através da sua transformação em agregado miúdo, além de avaliar suas propriedades mecânicas quando submetido a tensões de tração e compressão. Os ensaios consistiram em substituir parcelas do agregado miúdo por borracha em um traço de concreto com resistência padrão de 20 MPa e observar se atende a referida resistência. Ao se analisar as propriedades dos corpos de prova submetidos a compressão e tração por compressão diametral, observou-se que houve redução da resistência quando substituído o agregado miúdo convencional por borracha.

Palavras chave: Sustentabilidade; Construção Civil; Concreto; Resistência.

RESUMEN

La extracción de materias primas y la producción de materiales de construcción, así como la producción de caucho para neumáticos, produce un alto impacto ambiental. Así, el presente trabajo busca analizar la incorporación del caucho de neumáticos en el hormigón, a través de su transformación en áridos finos, además de evaluar sus propiedades mecánicas al ser sometido a tensiones de tracción y compresión. Las pruebas consistieron en reemplazar porciones del agregado fino con caucho en una mezcla de concreto con una resistencia estándar de 20 MPa y observar si cumple con esta resistencia. Al analizar las propiedades de probetas sometidas a compresión y tracción por compresión diametral, se observó que hubo una reducción en la resistencia cuando se reemplazó el agregado fino convencional por caucho.

Palabras clave: Sostenibilidad; Construcción civil; Hormigón; Resistencia.

ABSTRACT

The extraction of raw materials and production of construction materials, as well as the production of tire rubber, produces a high environmental impact. Thus, the present work seeks to analyze the incorporation of tire rubber in concrete, through its transformation into fine aggregate, in addition to evaluating its mechanical properties when subjected to tensile and compression stresses. The tests consisted of replacing small parts of the aggregate with rubber in a concrete mix with a standard strength of 20 MPa and observing if it meets that resistance. When analyzing the properties of the specimens submitted to compression and traction by diametrical compression, it was observed that there was a reduction in resistance when the conventional fine aggregate was replaced by rubber.

Keywords: Sustainability; Construction; Concrete; Resistance.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas enfrentados no século XXI está relacionado a destinação dos resíduos gerado pelos diversos seguimentos das indústrias, responsável pela produção de grandes quantidades de resíduos lançadas no meio ambiente, promovendo um desequilíbrio ambiental. Tais

aspectos evidenciam a necessidade na qual o ser humano tem em procurar minimizar tais consequências aliado ao desenvolvimento econômico (São Thiago e Bicalho, 2018).

No Brasil, são descartados mais de 30 milhões de pneus por ano, sendo que a maior parte é de forma incorreta. Os pneus que não apresentam utilidade para qual foi criado, geram problemas sanitários e ambientais como: local para procriação de mosquitos, emissão de gases contaminantes produzidos pela queima da borracha, se for descartado em aterros sanitários dificultam a compactação, reduzido assim a vida útil dos aterros, entre outros (Lagarinhos e Tenório, 2013).

No que tange a construção civil, o consumo de matéria prima para produção de materiais de construção empregados na execução de obras, acarreta um grande impacto no meio ambiente, devido a origem destes. No entanto devido ao avanço das tecnologias e o aperfeiçoamento de recursos e técnicas, a construção civil permite a elaboração e execução de projetos sustentáveis com a possibilidade de inclusão de resíduos sólidos dentro de produtos ou processos de um empreendimento, como a inserção da borracha no concreto (Bravo, 2014).

O concreto é um produto versátil constituído por uma mistura de água, cimento, pedra e areia. Sendo ele um material da construção civil mais utilizado, isso está relacionado a sua alta resistência, viabilidade de moldes e o baixo custo. Quando o concreto é misturado com outras matérias é necessário avaliar as alterações em sua propriedade em relação a resistência à tração, dureza, durabilidade e o módulo de elasticidade (Martins, 2013).

Assim, a utilização do resíduo de pneus como agregado na confecção de concreto vem sendo testada nos últimos anos, na tentativa de demonstrar a sua viabilidade por se tratar da possibilidade de reuso (Boaventura, 2011). Logo, este trabalho tem por objetivou-se a avaliar a possibilidade da utilização de resíduos de borracha de pneus na composição do concreto não estrutural substituindo o agregado miúdo pela borracha em frações graduais, e comparar o desempenho mecânico por meio de ensaios normatizados para diferentes períodos de cura.

2. PROCEDIMENTO

A fim de analisar um traço de concreto com o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002) adaptado da ACI 201, foi realizado em laboratório o cálculo para composição de concreto com resistência prevista de 20 MPa, onde foi incorporado a borracha em proporções de 0%, 2%, 4% e 6% substituindo em massa o agregado miúdo (areia). Sendo moldado o traço de referência 1: 2,33: 2,46: 0,56 (cimento: areia: brita: água) e os demais traços com a substituição das frações do agregado miúdo.

Inicialmente procedeu-se com o ensaio de caracterização granulométrica do agregado miúdo e gráudo com a finalidade de conhecer a distribuição dos materiais granulares, seguindo o que preconiza a Associação Brasileira de Normas Técnicas através NBR NM 248 (ABNT, 2003). Posteriormente foi determinado a massa específica da areia tendo como parâmetro de execução do ensaio a NM 52 (ABNT, 2009) e para o agregado gráudo seguiu o que preconiza a NM 53 (ABNT, 2009) bem como a massa unitária seguindo as recomendações da NM 45 (ABNT, 2009).

Para a determinação do traço de concreto foram utilizados areia lavada como agregado miúdo, cimento CP II E-32, brita 1 como agregado gráudo, borracha de pneus e água. A borracha foi coletada em uma empresa de recapagem de pneu da cidade de Guanambi-BA e utilizada na mistura como agregado miúdo, cujas partículas não excederam a faixa granulométrica de 4,75 mm. Os materiais utilizados estão ilustrados na Figura 01.



Figura 1. Ilustração dos materiais utilizados nos ensaios. Fonte: Autor, 2021

Após a dosagem, os materiais foram adicionados para mistura em uma betoneira com capacidade para 120 litros, decorrido o período de mistura, foi realizado o ensaio para determinação da consistência do concreto fresco seguindo o que preconiza a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), também chamado de *slump test* para verificação do abatimento do concreto, tal procedimento foi realizado para todas as composições analisadas. Logo, foram moldados em corpos de prova de dimensões 10 x 20 cm seguindo do adensamento através de vibrações, conforme determinado pela NBR 5738 (ABNT, 2016). Decorrido o período de 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e submetidos a cura úmida para rompimento em idades de 3, 14 e 28 dias.

O ensaio mecânico para rompimento dos corpos de prova nas idades referidas foi realizado em uma prensa hidráulica manual com indicador digital. Foram ensaiados 72 corpos de prova, sendo 18 para cada composição. A determinação da resistência à compressão axial seguiu-se de acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Para os ensaios de tração por compressão diametral procedeu-se de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011), com o rompimento dos corpos de prova de mesma composição e idades aos de compressão axial.

3. RESULTADOS

A partir dos ensaios de peneiramento foi possível traçar as curvas granulométrica dos agregados miúdo (Figuras 2) e graúdo (Figura 3), podendo ser observado a uniformidade da brita e a pouca variação na graduação dos grãos da areia, com vistas a zonas utilizável dos limites superiores e inferiores, conforme estabelece a NBR 7211 (ABNT, 2009). Enquanto os dados obtidos pelos ensaios de massa específica e unitária são descritos na Tabela 1, então, foi possível determinar o modulo de finura da areia podendo classificá-la como areia média. Quanto a caracterização do resíduo da borracha do pneu, dada a uniformidade do elemento e sua composição química independentemente da localização geográfica, empregou-se a caracterização de massa específica e unitária realizada por Simonetti (2020), detalhados na Tabela 2.

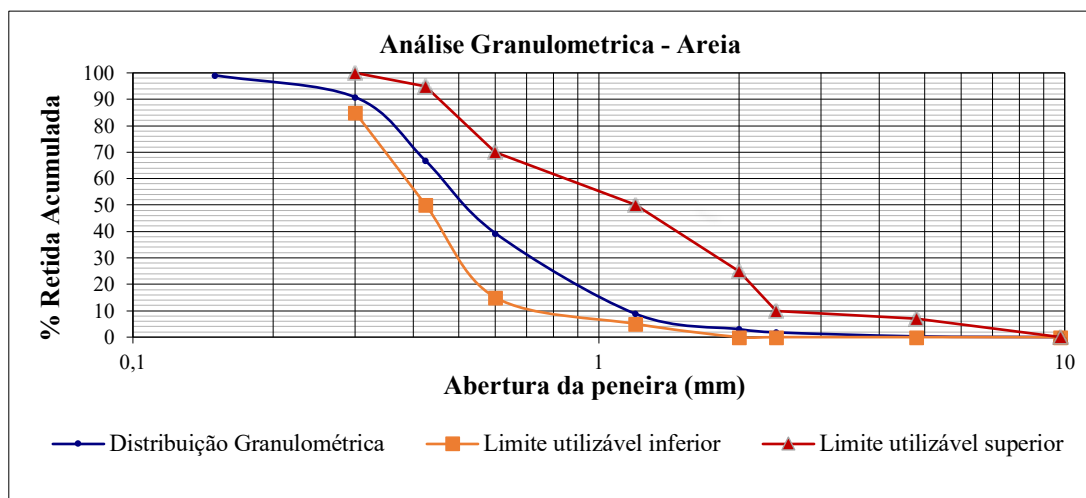


Figura 2. Curva granulométrica do agregado miúdo. Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009), adaptado.

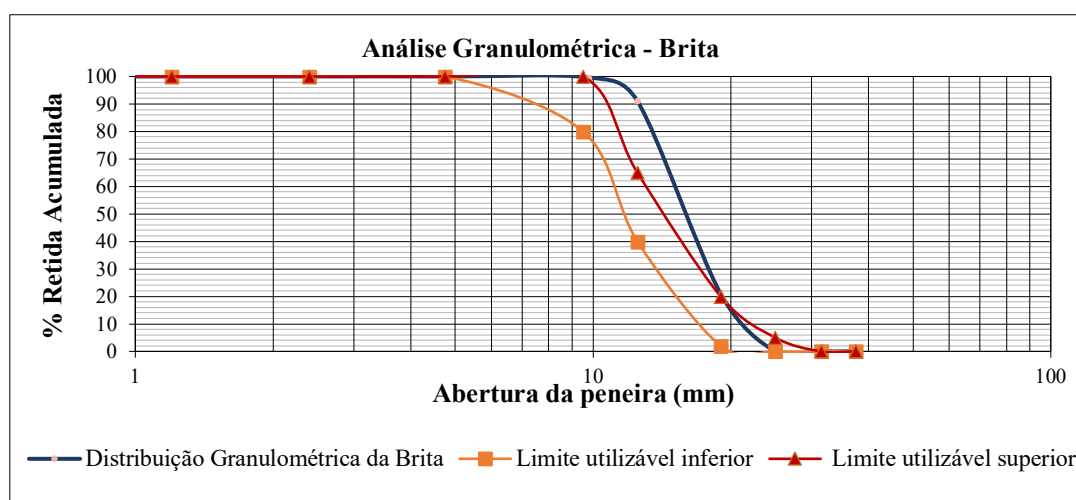


Figura 3. Curva granulométrica do agregado graúdo. Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009), adaptado.

Tabela 1. Valores de massa específica, unitária e módulo de finura para os agregados ensaiados.

Dados	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Massa Específica	2,64 g/cm ³	2,94 g/cm ³
Massa Unitária	1,57 g/cm ³	1,38 g/cm ³
Módulo de finura	2,40	7,21

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 2. Massa unitária e massa específica do resíduo de pneu.

Dados	Agregado Resíduo de Pneu
Massa Específica	1,21 g/cm ³
Massa Unitária	0,54 g/cm ³

Fonte: Simonetti, 2020.

Para os resultados de consistências realizados por meio do ensaio de abatimento de cone, buscou-se avaliar a trabalhabilidade dos traços de concreto, os resultados para o traço de referências e os com a substituição do agregado por borracha de pneu, estão detalhados na Tabela 3. Os dados dos

ensaios, demonstram o aumento do abatimento do concreto trabalhado em relação ao traço de referência a medida em que ocorre a substituição do agregado miúdo, apesar de ocorrer uma redução da trabalhabilidade em relação ao aumento das frações de substituição.

Esse comportamento pode ser justificado pela baixa absorção de água pelo resíduo de borracha, no entanto, a medida em que se substitui frações maiores de agregado por resíduo aumenta a necessidade de água para manter a trabalhabilidade, indicando um aumento na relação água/cimento (Kurz, 2018).

Tabela 3. Relação entre frações de resíduo no concreto e seu abatimento.

Frações de Resíduo de Borracha	Abatimento (cm)
0 %	9,5
2 %	14,0
4 %	12,0
6 %	10,5

Fonte: Autor, 2021.

Após a moldagem e tempo de cura do concreto para as idades de 3, 14 e 28 dias respectivamente, todos os traços avaliados na resistência a compressão axial tem seus valores expressos na Figura 4. Onde para todos os traços dosado observa-se crescimento na resistência decorrido o período entre testes, entretanto a medida em que se aumenta a porcentagem de adição de borracha de pneu observa-se uma escala menor de aumento da resistência, apesar dos resultados da adição de 6% ser maior que a frações de 4%, este valor, permanece consideravelmente abaixo do obtido pelo traço de referência e o de substituição de 2%.

Estes valores também podem ser contextualizados com os resultados de abatimento, apesar do decaimento considerável de resistência entre as porcentagens de 4% e 6%, esses obtiveram abatimento que se aproximam ao ensaio de referência, indicando uma melhor trabalhabilidade para substituições de até 2%, sem grande perda de resistência.

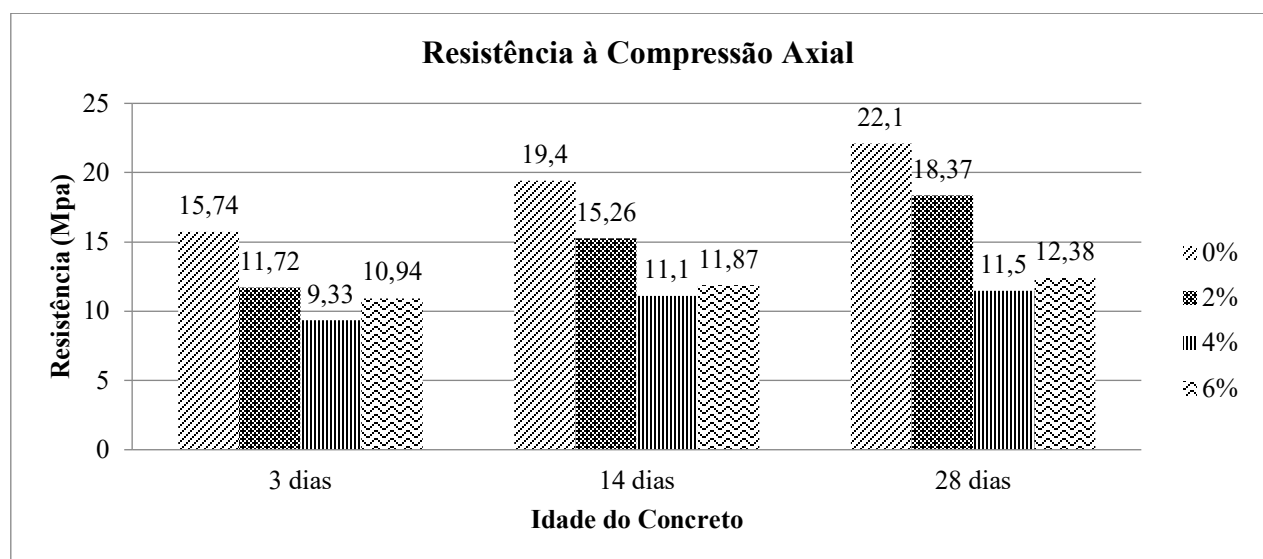


Figura 4. Dados da resistência à compressão dos corpos de prova em suas diferentes idades.

Fonte: Autor, 2020.

Para os ensaios de tração por compressão diametral, observa-se os valores expressos na Figura 5, onde é possível verificar o ganho de resistência entre os períodos de teste para o traço sem

substituição de borracha, enquanto ao substituir 2% do agregado miúdo, os valores para a resistência à tração da idade de 3 dias superam os demais testes, mantendo o ganho de resistência para 14 dias e decaindo aos 28 dias. Este comportamento de aumento da resistência à tração até 14 dias e diminuição aos 28 dias também foram observados nas composições de 4% e 6% de substituição.

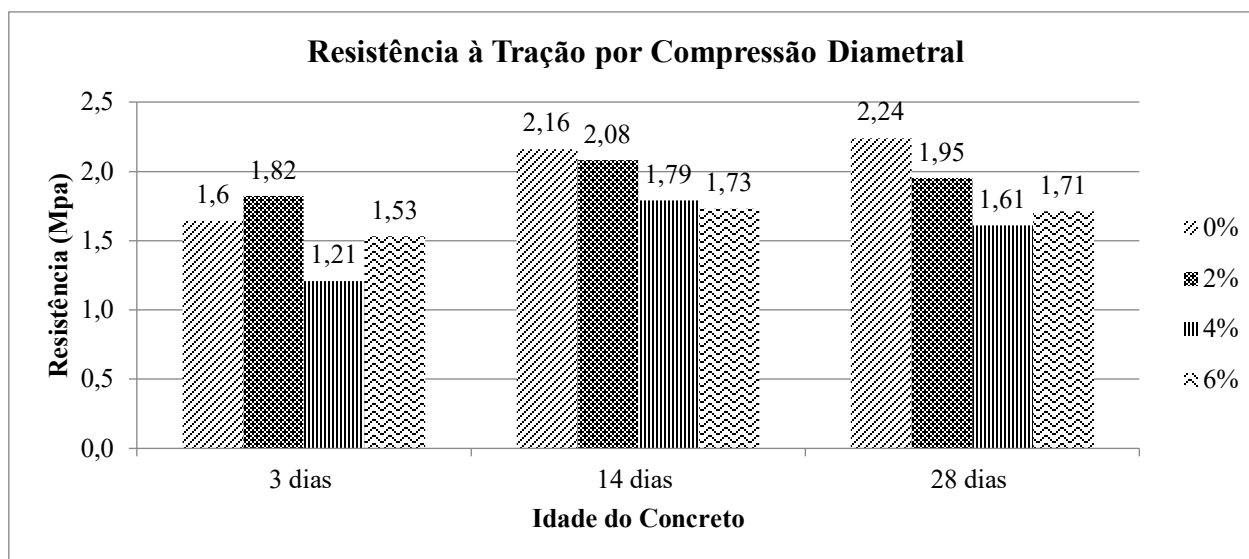


Figura 5. Análise da resistência à tração dos corpos de prova em suas diferentes idades.

Fonte: Autor, 2020.

É possível identificar a relação de perda de resistência com a adição de borracha, mesmo que os valores apresentam resistência crescente em suas composições em cada idade, quando comparado com o traço de referência para resistência prevista de 20 MPa observa-se queda nestes valores, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4. Relação de porcentagem da perda de resistência nas composições com borracha comparado ao traço de referência.

Idade	2%		4%		6%	
	Compressão	Tração	Compressão	Tração	Compressão	Tração
3 dias	-25,54%	10,97%	-40,72%	-26,21%	-30,50%	-6,71%
14 dias	-21,34%	-3,70%	-42,78%	-17,13%	-38,81%	-19,90%
28 dias	-16,76%	-12,95%	-47,94%	-28,12%	-43,90%	-23,66%

Fonte: Autor, 2020.

Esse comportamento de redução da resistência a compressão a medida em que se adiciona borracha de pneu, também foi observado por Verzegnassi *et al* (2011), em seu trabalho com adição de 1%, 3% e 6% de borracha de pneu no concreto convencional em relação a massa do cimento, apesar do critério de incorporação do resíduo diferente deste trabalho a semelhança de comportamento ocorre somente na compressão, enquanto para a tração, o autor observou melhora neste comportamento mecânico em relação ao seu traço de referência.

Em análises da resistência mecânica da argamassa com adição de resíduo de pneu, Kurz (2020) observou o comportamento de redução da resistência a compressão nas composições estudadas. Indicando um comportamento padrão de redução dessa resistência em elementos cimentícios ao ser incorporado resíduo da borracha do pneu.

4. CONCLUSÃO

A partir da análise realizada das propriedades mecânicas do concreto aqui abordadas, com e sem a substituição do agregado miúdo pela borracha, observou-se que apenas o ensaio com a composição de referência, obtiveram aos 28 dias resistência igual ou superior a 20 MPa, conforme esperado, enquanto as composições de traços com substituição de borracha ficaram abaixo dessa marca.

Comparando-se os traços de concreto estudado com a substituição da borracha, o traço que apresentou melhor desempenho foi o de 2% de borracha, com resistência de 17,21 MPa aos 28 dias de cura e alcançando os melhores resultados de tração entre os testes com substituição do agregado, ficando abaixo apenas do traço de referência nas idades de 14 e 28 dias.

Esse comportamento de redução da resistência mecânica também foi observado em ensaios por outros autores, apesar dos resultados obtidos, essas características não inviabiliza a utilização do concreto com borracha de pneu, apenas direciona a sua utilização em frações menores, como a de 2%, aplicadas em campos da construção civil que não exijam concreto para fins estruturais. Além de representar um ganho ambiental ao destinar resíduos com elevado potencial poluidor.

Diante dos resultados deste trabalho e o obtido em literaturas, recomenda-se ensaios com adoção de distintos critérios para incorporação do resíduo no concreto, haja visto a possibilidade de conciliar a resistência a tração com a resistência a compressão para melhores resultados.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro Universitário FG – UniFG, ecossistema Ânima, pelo apoio e subsídios à esta pesquisa.

6. REFERENCIAS

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. (2002). *Guia básico de utilização do cimento Portland*. Boletim Técnico. 7ª ed. São Paulo, 28 p.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016). *NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2016.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2018). *NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2009) *NBR 7211 – Agregado para Concreto - Especificação*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2011) *NBR 7222 - Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1998). *NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2003). *NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2006) *NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2009). *NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2009). *NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro.

Boaventura, M. C. (2011). *Avaliação da Resistência à Compressão de Concretos Produzidos com Resíduos de Pneus*. Univeridade Estadual de Feirra de Santana. Feira de Santana, 82 p.

Bravo, R. S. (2014). *Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim*. 63 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Faculdade de Engenharia.

Kurz, M. N.; Brandelli, T. M.; Paliga, C. M. Torres, A. S. (2018). *A potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu em argamassa: análise das propriedades físicas e mecânicas*. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23.

Lagarinhos, C. A. F.; Tenório, J. A. S. (2013). *Logística reversa dos pneus usados no Brasil*. Polímeros, v. 23, n. 1, p. 49-58.

Martins, P. M. (2013). *Concreto com Adição de Borracha, Sucatas de Pneus – Uma Abordagem do Módulo de Elasticidade*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, p. 47.

São Thiago, P. F. e Bicalho, L. A. (2018). *Estudo da Utilização de Agregados de Pneus Inservíveis em Concreto para Aplicação em Pisos Intertravados*. Centro Universitário de Volta Redonda. Volta Redonda, 36 p.

Simonetti, C. (2020). *Avaliação do comportamento ao fogo de placas de vedação de concreto com inserção de resíduos de pneus inservíveis*. Repositório Digital da Biblioteca da Unisinos. São Leopoldo.

Verzegnassi, E.; Lintz, R. C. C.; Barbosa, L. A. G.; Jacintho, A. E. P. G. A. (2011). *Concreto Convencional com Adição de Borracha Reciclada de Pneus: Estudo das Propriedades Mecânicas*. Estudos Tecnológicos - Vol. 7, n° 2, p. 98-108.

Ensaio Dinâmico não Destrutivo em Estacas Hélice Contínua – PIT (*Pile Integrity Test*): Estudo de Caso de Obra em Canoas/RS

J. Sebben^{1*}, H. Z. Ehrenbring; F. Pacheco; R. Christ; C. Simonetti

*Autor de Contacto: engsebben@gmail.com (marcado con un asterisco entre los autores)

¹ Especialização em patologia e perícia das edificações, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil.

RESUMO

As fundações são constituídas por elementos estruturais, tendo como função principal transmitir as cargas da superestrutura ao solo, contribuindo na estabilidade de edificações. Sendo assim, este trabalho objetiva aferir as incidências patológicas que poderão advir junto às fundações do objeto de estudo, que são torres habitacionais de um empreendimento em Canoas-RS. Utilizou-se ensaios *Pile Integrity Test* (PIT) realizados *in loco*. Logo, a metodologia empregada compreendeu a análise das sondagens, dos relatórios das estacas hélice contínua e a avaliação dos ensaios dinâmicos não destrutivos, de maneira a determinar um comportamento padrão no que se refere às anomalias, bem como explicar as causas face às falhas construtivas identificadas *in loco*, caracterizando o PIT como uma estimativa acerca das propriedades dos elementos ensaiados.

Palavras-chave: Estacas hélice contínua; *Pile Integrity Test*; Controle de qualidade de fundações; Reduções de impedância; Ensaio dinâmico não destrutivo em fundações

RESUMEN

La cimentación está formada por elementos estructurales, cuya función principal es transmitir las cargas desde la superestructura al suelo, contribuyendo a la estabilidad de las edificaciones. Así, este trabajo tiene como objetivo evaluar las posibles incidencias patológicas encontradas que puedan surgir a lo largo de los cimientos del objeto de estudio, que son las torres de viviendas de un proyecto en Canoas-RS. Se utilizaron las pruebas *Pile Integrity Test* (PIT) realizadas *in loco*. Por tanto, la metodología empleada incluyó el análisis de perforaciones, informes de pilotes helicoidales continuos, control tecnológico de hormigón y evaluación de ensayos dinámicos no destructivos, con el fin de determinar un comportamiento estándar con respecto a las anomalías, así como explicar las causas de cara de las fallas constructivas identificadas *in loco*, caracterizando al PIT como una estimación sobre las propiedades de los elementos probados.

Palabras clave: Estacas hélice continua; *Pile Integrity Test*; Control de calidad de cimentaciones; Reducción de impedancia; Ensayos dinámicos no destructivos en cimentaciones.

1. INTRODUÇÃO

As fundações são definidas como elementos estruturais cuja função consiste em transmitir as cargas da estrutura ao solo e, assim, compreende-se a sua importância. Logo, o desempenho das fundações se encontra relacionado ao comportamento dos solos, que por obterem ampla distinção de características físicas e químicas, respondem de maneira muito variável, o que legitima a importância das análises em tais elementos. (AZEREDO, 1977)

Diante disso, Velloso e Lopes (2011) ressaltam que a verificação de desempenho em obras de fundação se transfigura a mais difícil de realizar, visto a complexidade e a heterogeneidade dos solos. Soma-se a isso o fato de tais estruturas serem consideradas não manuteníveis em virtude da dificuldade de acesso, conforme classifica a NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Sendo assim, o controle rígido de qualidade durante os processos executivos de fundações deve ser implantado visando a neutralização ou então, a redução de manifestações patológicas decorrentes desta etapa, que independentemente dos carregamentos, índice de esbeltez das estruturas ou finalidade ocupacional, são de suma importância para o bom funcionamento da interação solo-estrutura.

Considerando esse cenário, este trabalho teve como objetivo analisar as causas das possíveis incidências patológicas identificadas na obra de estudo a partir de ensaios de integridade PIT (*Pile Integrity Test*), dispoendo como sustentáculo técnico e metodologia a análise das sondagens SPT (*Standard Penetration Test*), projetos de fundações, relatórios de estacas hélice contínua monitoradas, ensaios de resistência axial de corpos de prova de concreto, bem como os resultados das provas de cargas executadas sobre as estacas, as quais são compostas por estacas hélice contínua.

2. FUNDAÇÕES

O projeto e a execução de fundações demanda por conhecimentos de geotecnia e cálculo estrutural, compreendendo a análise estrutural e o dimensionamento de estruturas em concreto armado, elementos em aço ou estruturas de madeira, os quais se encontram em contato com o solo. (VELLOSO E LOPES, 2010).

De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), os custos dos sistemas de fundação divergem de acordo com as cargas e das condições do subsolo. Entretanto, usualmente, estes estão situados na faixa de 3 a 6% do custo total da obra. Ainda, o custo compreendido na execução de sondagens de reconhecimento do subsolo, normalmente, varia entre 0,2% e 0,5% do custo total de obras convencionais, este podendo ser expandido em casos de obras especiais ou condições adversas do subsolo, visto que, nestes casos, há necessidade de implantação de maiores investigações para o detalhamento das características do solo (SCHNAID E ODEBRECHT; 2012).

Ainda que esse custo de investigação seja reduzido e que ocorra a demanda por um projeto de fundações, Milititsky, Consoli e Schnaid (2008) ressaltam que a investigação e a interpretação de resultados são as causas mais frequentes de problemas encontrados em fundações.

Dessa maneira, o Código Europeu (Eurocode 7, 1997) preconiza que a caracterização geotécnica deve ser precedida de uma classificação preliminar, a qual pode ser dividida em três categorias, respectivamente:

- a) *Categoria I: estruturas simples e de pequeno porte, onde o projeto é baseado em experiência e investigação geotécnica qualitativa.*
- b) *Categoria II: estruturas convencionais que não envolvam riscos excepcionais, em condições geotécnicas normais e cargas dentro de padrões conhecidos.*
- c) *Categoria III: estruturas de grande porte associadas a risco elevado, dificuldades geotécnicas excepcionais, cargas elevadas e eventos sísmicos, entre outros fatores.*

Ademais, Velloso e Lopes (2010) definem as etapas de investigações em três grupos, sendo estes representados pelas etapas preliminares, complementares, de projeto, bem como as etapas provenientes da fase de execução. Perante o exposto, na investigação preliminar o objetivo consiste em obter o conhecimento das principais características do subsolo, sendo, em geral, executados somente ensaios à percussão. É importante ressaltar, por outro lado, que se excedem os casos em que há o conhecimento de que blocos de rocha precisam ser ultrapassados na investigação, quando, assim, solicitam-se sondagens mistas (HACHICH ET. AL., 1998).

A investigação complementar procura esclarecer os aspectos relevantes do subsolo, bem como caracterizar as propriedades do solo de maior importância referente ao comportamento das fundações. Nesta fase, são executadas mais algumas sondagens, fazendo com que o total atenda às normas técnicas vigentes e, eventualmente, realizam-se sondagens mistas ou especiais para a retirada de amostras indeformadas.

Por fim, quanto à investigação para a fase de execução, esta deve ser indicada tanto pelo projetista de fundações como pelo engenheiro executor da obra, de modo a ratificar os dados de projeto. Nessa etapa, podem ser necessários ensaios complementares (VELLOSO E LOPES, 2004).

Sobre os ensaios geotécnicos, Hachich et. al (1998) referem que a obtenção de amostras para ensaios de solo, bem como a identificação e classificação de solos exige a execução de ensaios “*in situ*”. No entanto, a determinação de propriedades de engenharia, tanto pode ser feita através de ensaios de laboratório, quanto em campo. Os autores também destacam que, na prática, há ampla prevalência dos ensaios “*in situ*”, estando a investigação laboratorial restrita à casos especiais em solos coesivos.

Schnaid e Odebrecht (2012) salientam que a análise dos resultados quanto a um projeto geotécnico pode ser realizada através de duas abordagens distintas:

- a) *Métodos diretos: de natureza empírica ou semiempírica. Baseia-se em obras geotécnicas ou dados estatísticos. O SPT se estabelece como o mais conhecido exemplo brasileiro de uso de métodos diretos de previsão, o qual é aplicado tanto para a estimativa de recalques, quanto para prever a capacidade de carga do solo.*
- b) *Métodos indiretos: os resultados de ensaios são aplicados às previsões de propriedades constitutivas do solo. Pode-se exemplificar este método através dos ensaios de palheta e pressiométricos, nos quais algumas simplificações são passíveis de interpretação analítica, uma vez que a cravação de um cone em depósitos argilosos pode ser apurada através de abordagens numéricas.*

Em consideração a isso, verifica-se que a escolha da abordagem (direta ou indireta) depende da técnica de ensaio utilizado, do tipo de solo investigado, de normas e códigos específicos, assim como as práticas regionais. Geralmente, o uso de uma abordagem semiempírica exprime a dificuldade em modelar as complexas condições de contorno decorrentes do processo de penetração e carregamentos oriundos do ensaio (SCHNAID E ODEBRECHT, 2012).

Segundo Hachich et al. (1998) ao se realizar uma sondagem pretende-se conhecer o tipo de solo, sua resistência e o nível da água. No Brasil, a NBR 8036 (ABNT, 1983) define o número mínimo de sondagens, onde a localização em planta no que diz respeito às edificações depende do tipo de estrutura, de suas características especiais, assim como das condições geotécnicas do subsolo. Sendo assim, de acordo com a NBR 8036 (ABNT, 1983), as sondagens devem ser constituídas de,

no mínimo, uma para cada 200m² da área de projeção em planta da edificação, método que se ramifica até 1200m² de área construída. Entre 1200m² e 2400m² de área edificada, incumbe-se realizar uma sondagem para cada 400m² que excederem 1200m². Acima de 2400m², deve-se fixar o número de sondagens de acordo com o plano particular da construção.

No que se refere aos ensaios, o SPT (“ensaio de penetração dinâmica”), regido pela NBR 6484 (ABNT, 2020) mede a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada. De acordo com Velloso e Lopes (2010), este tipo de sondagem é capaz de atravessar solos relativamente compactos ou duros. No entanto, as sondagens à percussão possuem por limitação a presença de rochas e/ou matacões, assim como possuem dificuldade em atravessar solos saprólitos.

Perante o exposto e, conseqüentemente, cessando a análise dos solos, introduz-se os procedimentos executivos. Assim, Velloso e Lopes (2010) definem que um dos problemas frequentemente encontrados na prática de estaqueamentos consiste na verificação da integridade da estaca após sua execução. O PIT corresponde a um teste de integridade não destrutivo para fundações, o qual requer um mínimo impacto decorrente de um martelo posicionado sobre o elemento que será ensaiado, o qual inclui o posicionamento de um acelerômetro de alta sensibilidade. Através deste, são deferidos golpes e verificadas as ondas de deformação no elemento ensaiado, cuja velocidade de propagação é registrada pelo acelerômetro e armazenada em um computador portátil. (RAUSCHE, F.; LIKINS G.; KUNG S. R.; 1992-2016).

No que diz respeito aos resultados, os fatores que impactam diretamente nos mesmos são o concreto (idade, resistência, homogeneidade), o tipo de solo e a interação deste com a estaca. Durante os procedimentos executivos, os fustes podem estar sujeitos à redução de seção, alargamento ou então, a contaminação de seu interior com o próprio solo adjacente. Desta forma, a combinação de dois ou mais fatores destes citados podem influenciar o sinal registrado pelo acelerômetro, acarretado, assim em uma variação de impedância. (RAUSCHE, F.; LIKINS G.; KUNG S. R.; 1992-2016)

Ainda, nesse contexto, há o ensaio PDA (“Prova de Carga Dinâmica”), que calcula a capacidade de carga de uma estaca considerando medições de força e velocidade. A força é obtida por meio de sensores de deformação, cujo sinal é multiplicado pelo módulo de elasticidade do material e pela área de seção avaliada (HACHICH et al. 1998). Alonso (1991), define que a prova de carga é dinâmica, dado que a carga mobilizada em cada golpe é medida pela monitoração do golpe, ou a partir da interpretação da curva deslocamento x tempo.

Hachich et al. (1998) também citam que estes ensaios são utilizados, principalmente, para a verificação do desempenho de fundações no que diz respeito à possíveis rupturas e recalques, o que vai ao encontro com Velloso e Lopes (2010), que frisam que as provas de carga dinâmicas são realizadas em estacas (e tubulões) possuindo os seguintes objetivos: a verificação quanto ao comportamento previsto em projeto (capacidade de carga e recalques) e a definição da carga de serviço em casos em que não se consiga prever o comportamento da estaca quando esta for solicitada.

3. MÉTODOS

3.1 Estudo de caso

A obra analisada realizou uma série de ensaios não destrutivos PIT, através dos quais percebeu-se o acúmulo de reduções de impedância em múltiplas estacas, sendo esta definida, segundo Junior (2017), como a resistência oferecida pelo meio à propagação da onda na medida em que ocorreu, na ocasião, o ensaio de integridade PIT sobre as estacas em concreto armado. Sendo assim, em alguns lotes de testes, o montante de discrepâncias acusados foi superior a 40%, demandando o parecer do projetista ou então, a implementação de novos testes investigativos a fim de ratificar a estabilidade estrutural da obra, em concordância com o projeto concebido.

Diante disso, investiga-se também a possibilidade de manter a sequência executiva (cronograma) dos elementos de fundações da obra em questão ou então, se há necessidade de implementar medidas corretivas, tal qual a execução de reforços estruturais para os elementos que apresentam as possíveis incidências patológicas, estas representadas pelas reduções de impedância no ensaio PIT. Portanto, com base nisso, a figura 1 denota os procedimentos executivos realizados na obra de estudo.

Figura 1: Perfuratriz e caminhão bomba na obra de estudo – compreendendo a execução de fundações em estacas hélice contínua monitorada



Então, referente à obra de estudo, a concepção do projeto de fundações das torres contempla estacas do tipo hélice contínua, cujos diâmetros nominais são de 400, 500 ou 600mm, possuindo uma profundidade média de 18m. Estas estacas estão interligadas em sete tipos de blocos de coroamento, os quais podem possuir entre uma e nove estacas sob eles.

Além disso, na obra de estudo, buscou-se analisar as geometrias dos blocos de coroamento em que as estacas estavam contidas, para que, assim, possa-se buscar possíveis vícios construtivos durante o processo executivo destas, de maneira a aferir, através de uma engenharia reversa e análise estatística, se os limites das distâncias de concretagens (na mesma data) das estacas tipo hélice contínua foram respeitadas.

Logo, diante da situação apresentada, visa-se, neste presente trabalho, analisar as estacas que apresentaram discrepância em testes do PIT ou PDA junto às torres “B” e “D”, estas que, por sua vez, obtiveram os maiores índices de reduções de impedâncias durante os ensaios PIT na obra de estudo

3.2 Ensaio de PIT (*pile integrity test*) e de PDA

O ensaio de PIT foi realizado em todas as estacas da obra, caracterizando, dessa forma, uma amostragem total. Na obra estudo de caso foram realizados os ensaios de PDA em 3% das estacas executadas

4. RESULTADOS

4.1 Redução de impedância em estacas

A torre “B” e periferias (área composta pelos estacionamentos) possuem 337 estacas, enquanto a torre “D” e periferias somam 328 estacas. Entre as torres analisadas, a torre “D” computou o maior número de reduções de impedâncias e, conseqüentemente, maior percentual de incidências no comparativo com a torre “B”. Conforme as tabelas 1 e 2, pode-se verificar as ocorrências supramencionadas, bem como os percentuais em ambas as torres, onde a Tabela 1 representa as ocorrências na torre “B”, enquanto a tabela 2 apresenta as mesmas para a torre “D”.

Tabela 1. Ocorrência de reduções de impedâncias na torre “B” e periferias

REDUÇÕES DE IMPEDÂNCIA DO ENSAIO PIT - TORRE B			
Ø ESTACA (cm)	QUANT. TOTAL DE ELEMENTOS	QUANT. DE INCIDÊNCIAS	(%) DE INCIDÊNCIAS
40,00	147,00	15,00	10,20%
50,00	103,00	20,00	19,42%
60,00	87,00	0,00	0,00%
TOTAL:	337,00	35,00	10,39%

Tabela 2. Ocorrência de reduções de impedâncias na torre “D” e periferias

REDUÇÕES DE IMPEDÂNCIA DO ENSAIO PIT - TORRE D			
Ø ESTACA (cm)	QUANT. TOTAL ELEMENTOS	QUANT. DE INCIDÊNCIAS	(%) DE INCIDÊNCIAS
40,00	135,00	36,00	26,67%
50,00	105,00	31,00	29,52%
60,00	88,00	20,00	22,73%
TOTAL:	328,00	87,00	26,52%

Analisando os resultados, pode-se compreender que houve prevalência de reduções de impedâncias junto aos resultados dos ensaios da Torre “D”. Além disso, há preponderância estatística no que se refere às estacas de diâmetro de 50cm. Contudo, tendo em vista que as diferenças em relação às médias são baixas, pode-se concluir que o diâmetro das estacas não influenciou de modo significativo no que tange aos resultados do ensaio PIT.

4.2 Redução de impedância de acordo com a geometria dos blocos

Na Tabela 3, pode-se verificar as tipologias de blocos que apresentaram reduções de impedância em suas respectivas estacas, onde os mesmos métodos analíticos foram aplicados na torre “D”, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 3. Geometria de blocos de coroamento que apresentaram reduções de impedância na torre "B"

TORRE "B"					
BLOCO	Ø ESTACA (cm)	QUANT. ESTACAS / BLOCO	TOTAL DE ESTACAS	TOTAL DE ESTACAS COM "PROBLEMA"	(%)
BLOCO 1	40,00	1 ESTACA	82	9	10,98%
BLOCO 2	40,00	1 ESTACA	2	0	0,00%
BLOCO 3	40,00	2 ESTACAS	32	7	21,88%
BLOCO 6	50,00	2 ESTACAS	18	7	38,89%
BLOCO 11	60,00	2 ESTACAS	2	0	0,00%
BLOCO 13	40,00	2 ESTACAS	4	0	0,00%
BLOCO 21	40,00	1 ESTACA	3	0	0,00%

Tabela 4. Geometria de blocos de coroamento que apresentaram reduções de impedância na torre "D"

TORRE "D"					
BLOCO	Ø ESTACA (cm)	QUANT. ESTACAS / BLOCO	TOTAL DE ESTACAS	TOTAL DE ESTACAS COM "PROBLEMA"	(%)
BLOCO 1	40,00	1 ESTACA	87	18	20,69%
BLOCO 3	40,00	2 ESTACAS	20	13	65,00%
BLOCO 6	50,00	2 ESTACAS	14	8	57,14%
BLOCO 21	40,00	1 ESTACA	3	1	33,33%

Através destas tabelas, atribui-se que a maior parte das reduções de impedância em estacas ocorre junto aos blocos que possuem duas estacas sob os seus respectivos volumes, de maneira a incitar a análise do distanciamento entre os eixos das estacas existentes e, portanto, averiguar possíveis falhas executivas em virtude disso. Em face ao exposto, após examinar os relatórios das hélices contínuas monitoradas destes referidos elementos, verificou-se que não houve o alargamento ou então, a redução de seção de forma que se configure como perceptível ao ensaio PIT. Logo, em virtude destes dados, torna-se possível elucidar que pode ter sido detectado junto à execução das fundações alguns vícios construtivos, não se respeitando, portanto, a distância de, no mínimo, três vezes o diâmetro da estaca durante os procedimentos executivos na mesma data, de modo a obter maiores possibilidades de contaminação e desmorrimento do fuste no decorrer da realização da concretagem das estacas. Entretanto, não se pode ratificar tal informação, face a ausência de provas consistentes.

4.3 Pontos de sondagem que mais registraram incidências (reduções de impedância)

Através da análise dos resultados dos ensaios PIT, foram sobrepostas as estacas que apresentaram as incidências e os pontos de sondagens, de maneira a apurar, de acordo com a proximidade, os pontos de sondagem com maiores ocorrências na obra de estudo, visando, desta forma, encontrar algum padrão de comportamento do solo, os quais se encontram dispostos na Tabela 5.

Tabela 5. Pontos de sondagem com maior número de ocorrências de reduções de impedância na obra de estudo

PONTOS DE SONDAGEM COM MAIORES NÚMEROS DE REPETIÇÕES EM REDUÇÕES DE IMPEDÂNCIAS
SPT 92 = 16 REPETIÇÕES
SPT 98 = 12 REPETIÇÕES
SPT 97 = 9 REPETIÇÕES

4.4 Perfil do solo

O corte do terreno natural entre a cota de topo do SPT e a cota de arrasamento de estacas atinge uma média de 6,88m. Esse valor, por sua vez, é decorrente de escavações demandadas por garagens previstas no projeto arquitetônico da edificação. Assim, tendo em vista que o nível d'água médio encontrado no terreno, segundo as sondagens fornecidas, atinge 4,26m, verifica-se que foi obtido um nível superior ao corte médio executado no solo da obra. Logo, o nível d'água está acima da face de topo das estacas.

4.4.1 Perfil médio do solo

Obtendo por referência as sondagens da obra de estudo, restringe-se a amostragem para os pontos em que ocorreram o maior índice de reincidências no que diz respeito às reduções de impedância apresentadas no ensaio PIT (segundo a Tabela 5), para que, assim, torne-se possível traçar os perfis médios do solo junto às torres "B" e "D" e então, analisar onde as cotas de redução de impedância média tendem a resultar e, se, eventualmente, atingirão trocas de camadas de solos. Portanto, os perfis traçados podem ser visualizados por meio das Figuras 1 e 2.

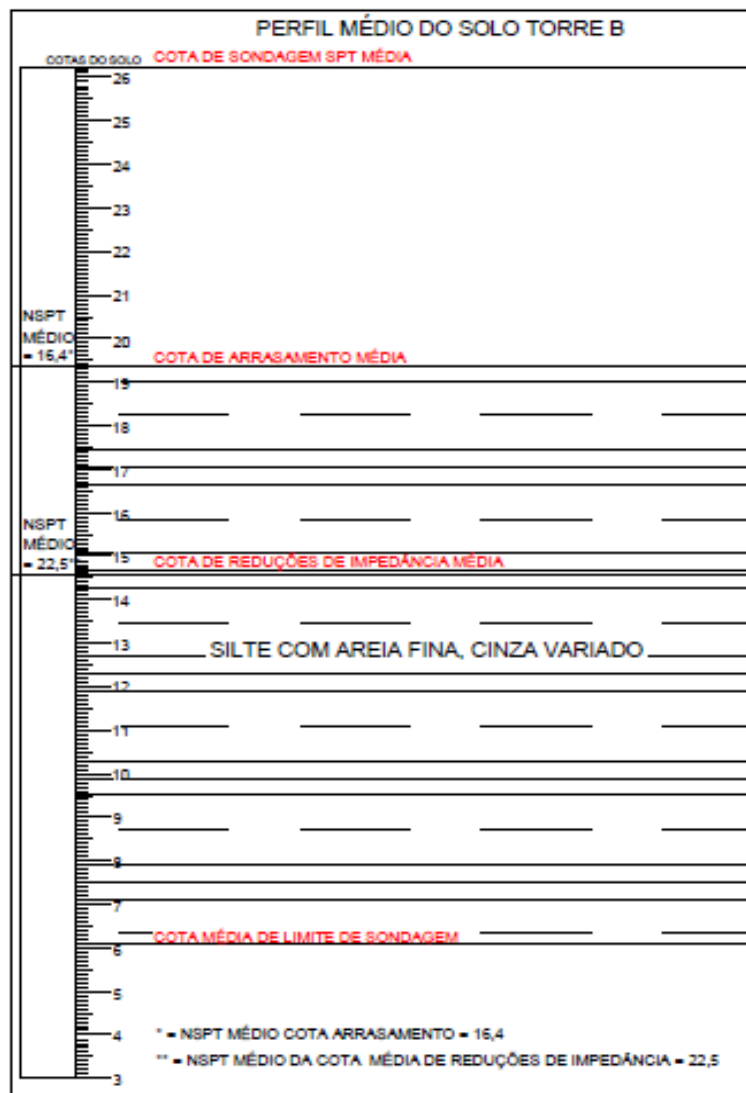


Figura 2. Perfil médio de sondagens da torre “B”

O perfil médio do solo da torre “B” está exposto a partir da cota de arrasamento média das estacas. Consequentemente, é constatável que a cota de reduções de impedâncias médias fornecidas pelos dados do ensaio PIT não está situada em região em que há alterações das camadas de solo. Em concordância com os ensaios SPT, o perfil do solo abrange somente o silte com areia fina. Para mais, as camadas superiores (níveis em que ocorreu o corte) detinham camadas de areia (arenito). Contudo, para o atendimento ao nível estipulado por meio do projeto de fundações, estas camadas foram eliminadas através de corte do terreno natural, dado que este se tornou necessário na medida em que há previsão de estacionamentos junto ao subsolo das torres.

Na figura 3, representa-se o perfil médio de sondagens que compreendem a área da torre “D”.

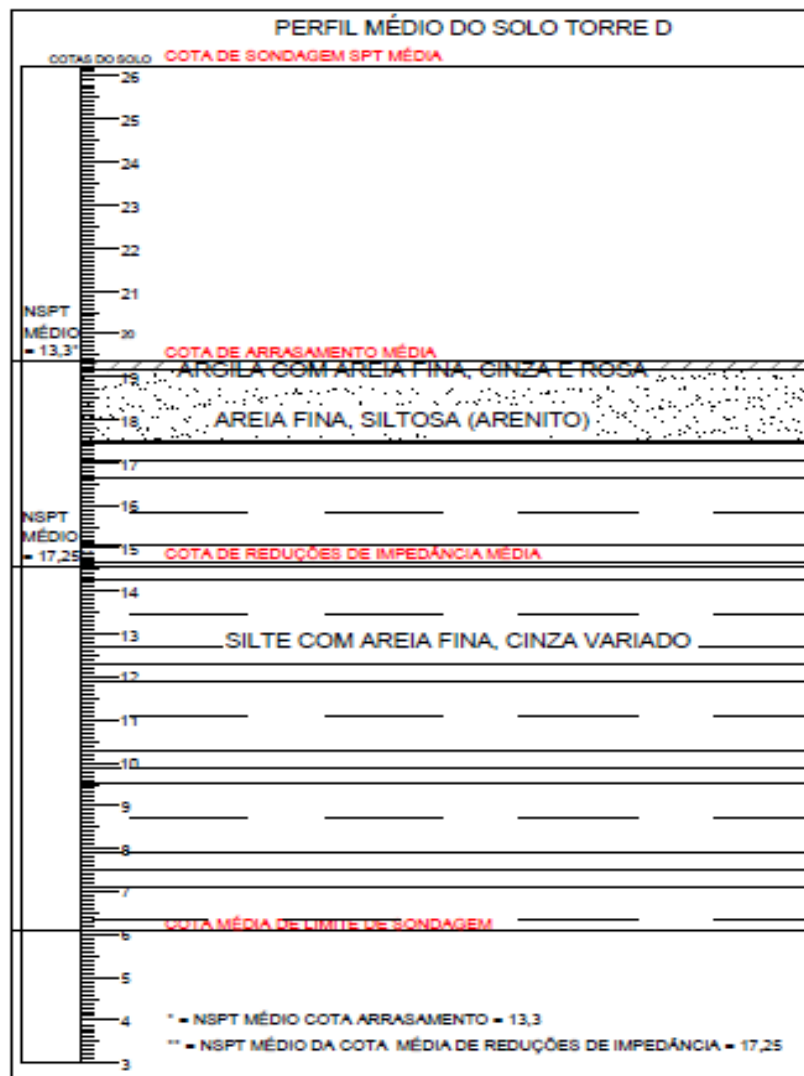


Figura 3. Perfil médio de sondagens da torre “D”

Na figura 3 foram obtidas três camadas de solo nos elementos analisados, iniciando através da camada de argila, passando pela areia fina siltosa (arenito) e findando no solo composto por silte com areia fina, o limite das sondagens que representa o “impenetrável”, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019). O nível d’água, o qual foi aferido durante a realização das sondagens, torna-se inexistente em ambos os perfis médios apresentados, uma vez que se encontram acima da cota média de arrasamento das estacas. Todavia, na prática, houve uma alteração do nível d’água, o qual não se pode aferir após a execução das obras, visto que não foram executados novos ensaios geotécnicos no local.

O perfil médio da torre “B” apresentou menor índice de reduções de impedâncias em comparação com a torre “D”, apontando um NSPT médio na cota 14,59 (cota média de reduções de impedâncias do ensaio PIT). Logo, através deste comparativo, pode-se constatar que o NSPT não fundamenta a discrepância nas reduções de impedância apontadas pelo ensaio PIT, esta que representam uma diferença na ordem de 173,91%, (ou 17 unidades – segundo as tabelas 3 e 4) 248,57% entre as torres “B” e “D”.

4.5 Grau de compactação do solo em níveis em que há reduções de impedâncias apresentadas pelo ensaio PIT

Dispondo por base a cota de arrasamento das estacas, desconta-se a profundidade apontada pelo ensaio PIT na qual há alguma redução ou interferência de sinais, para que, assim, possa-se estipular qual solo estivera contido no nível referido pelo gráfico. Diante disso, a tabela 6 remete o grau de compactação do solo junto ao nível em que se apresentaram as reduções de impedâncias (ou sinais) da obra de estudo.

Tabela 6. Grau de compactação do solo junto aos níveis que apresentaram reduções de impedância nas estacas da obra de estudo

COMPACIDADE DO SOLO JUNTO AO NÍVEL DAS REDUÇÕES DE IMPEDÂNCIA	QT.	(%)
Solo medianamente compacto:	2,00	1,64%
Solo compacto:	57,00	46,72%
Solo muito compacto:	62,00	50,82%

O NSPT médio junto ao nível em que se apresentam as reduções de impedâncias médias na torre “B” foi de 22,5, enquanto na torre “D”, no mesmo nível (profundidade média das reduções de impedância do PIT), obteve-se 17,25. Portanto, o solo encontrado neste nível é definido como predominantemente compacto a muito compacto. Ainda, foi possível visualizar as múltiplas reduções de impedância em regiões em que ocorre a alteração do grau de compactação do solo, de compacto, para muito compacto, respectivamente.

4.5.1 Cor do solo em reduções de impedância

Por meio de técnica utilizada no item anterior, torna-se possível visualizar, através dos ensaios SPT, a cor do solo em nível em que há reduções de impedâncias, podendo-se assimilar a ocorrência de elementos ferrosos em preponderância nestes níveis, cuja presença, de modo geral, se correlaciona com a tendência a saturação deste solo. Na tabela 7 apresentam-se as cores do solo na cota de redução de impedância em cada ensaio individual, bem como seu percentual total.

Tabela 7. Cor do solo junto aos níveis em que há reduções de impedâncias nas estacas da obra de estudo

COR DO SOLO JUNTO AOS NÍVEIS DAS RED. IMP.	QT.	(%)
Amarelo	1,00	0,82%
Cinza	92,00	75,41%
Rosa	12,00	9,84%
Cor variada	17,00	13,93%

4.5.2 Solo em reduções de impedância

O solo da obra de estudo, até certo ponto, pode ser definido como homogêneo, dado que as camadas exprimidas pelo ensaio SPT remetem a uma mistura entre silte e areia. Face ao exposto, apura-se que ocorre a prevalência de um ou outro em determinadas sondagens. Diante disso, as reduções de impedâncias dos ensaios se apresentam de acordo com a tabela 8, a qual define o solo tipo de solo em que as mesmas ocorrem na obra de estudo:

Tabela 8. Solo em nível de reduções de impedância na obra de estudo

SOLO JUNTO AO NÍVEL DAS REDUÇÕES DE IMPEDÂNCIA ENCONTRADAS NO ENSAIO PIT	QT.	(%)
Argila fina, siltosa	1,00	0,82%
Silte com areia fina	63,00	51,64%
Areia fina, siltosa (arenito)	58,00	47,54%

4.6 Armadura dos elementos inspecionados

Através de uma verificação de projeto, foi possível verificar que a armadura calculada se apresentava pertinente em relação às recomendações das normas técnicas brasileiras. Então, buscou-se analisar se as possíveis anomalias apuradas junto aos ensaios PIT poderiam estar relacionadas com alguma falha executiva das armaduras. Dessa maneira, verificou-se que o projeto previa um detalhe executivo nas pontas das estacas, que é composto por um arqueamento das armaduras longitudinais, o qual é de praxe usual em projetos de estacas hélice contínua, uma vez que se motiva em função da armadura ser inserida logo após o concreto ser injetado (por pressão) pela perfuratriz, facilitando, dessa maneira, o processo de execução. Então, no que se refere ao atendimento ao projeto durante a etapa executiva da obra de estudo, pode-se visualizar a deficitária amarração dos estribos destas armações, assim como a diferença geométrica empregue no trecho final destas, correspondendo ao detalhe da ponta das estacas. Além disso, é possível visualizar também que, pelas falhas do acondicionamento dos materiais, há possibilidade de existência de nichos de concretagem em virtude do contato de matérias orgânicas (solo úmido, entre outros) com as armaduras, algo perceptível ao sinal do ensaio PIT durante o ensaio dos prismas em concreto armado. Tais incidências podem motivar, futuramente, na redução da vida útil dos elementos em aço, uma vez que há possibilidade da ocorrência de corrosão das armaduras junto ao solo umedecido.

4.7 Armação realizada em obra e içamento de armaduras

Na obra de estudo, verificou-se que o aço chegava cortado e dobrado diretamente ao canteiro de obras, sendo realizada somente a armação “*in loco*”. No entanto, os procedimentos de montagem (e amarração) aferidos na obra de estudo eram tecnicamente deficitários e, assim, causavam, durante o processo de içamento mecânico das armaduras, o desprendimento de diversos estribos. Por consequência, o concreto fresco e os elementos em aço entravam em contato com o solo próximo ao fuste na medida em que ocorre a inserção das armaduras das estacas parcialmente desintegradas. Diante disso, propicia-se a atribuição de reduções de impedância nos ensaios de integridade PIT.

4.8 Elaboração de curva de gauss – profundidades de reduções de impedância encontradas nos ensaios pit da obra de estudo

Com a finalidade de analisar os parâmetros das distribuições de probabilidade, utilizou-se da distribuição normal, fundamentando-se através da elaboração da Curva de Gauss acerca das reduções de impedâncias da obra de estudo. Assim, calculou-se a média das profundidades, para que, por sua vez, fosse calculado o desvio padrão. Diante disso, resultou-se em uma média de 4,78m no tocante ao nível médio das reduções de impedância, possuindo um desvio padrão de 1,15m.

Através da obtenção do desvio padrão de 1,15m, permite-se o cálculo da Curva de Gauss. Dessa maneira, transfigura-se possível detectar que a região que apresenta 68,2% das reduções de impedâncias está situada entre 3,62m e 5,93m, sendo estes os níveis que representam a profundidade das interferências de sinais detectados junto ao PIT. Esses níveis coincidem com a maior parte das armaduras encontradas em obra (estas com 4m de comprimento – armadura mínima

de estacas hélice contínua). Desse modo, frente aos apontamentos realizados, podemos visualizar a Curva de Gauss na figura 4.

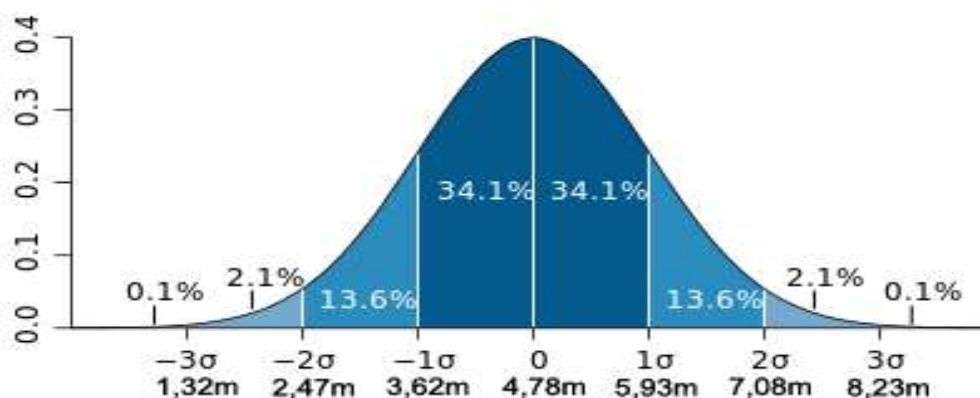


Figura 4. Curva de Gauss de profundidades em que há reduções de impedância, de acordo com os ensaios PIT, na obra de estudo

4.9 Resultados do PDA (Prova de Carga Dinâmica) em estacas que apresentaram reduções de impedância

As estacas que apresentaram divergências nos ensaios PIT foram designadas para o ensaio PDA, conforme as determinações do projetista geotécnico, para que, assim, fosse apurado se as reduções de impedância poderiam ser indícios de manifestações patológicas que pudessem vir a comprometer a segurança das fundações da obra de estudo. Assim, a empresa responsável pelo empreendimento estabeleceu que somente os gráficos que apresentaram maiores picos nos ensaios recebessem o ensaio de Prova de Carga Dinâmica, respaldando-se no aporte técnico do projetista geotécnico, ou seja, estes ensaios não representam a totalidade de estacas que apresentaram resultados desfavoráveis no PIT.

Nesse contexto, os resultados do PDA foram favoráveis, uma vez que, na obra de estudo, não se tornou necessária a realização de reforços estruturais ou qualquer alteração de concepção do projeto de fundações, cuja decisão foi tomada após a análise do projetista. Desse modo, concluiu-se que os resultados do ensaio PIT não identificaram anomalias estruturais, afetando, tão e somente, o cronograma executivo de obras.

4.10 Alterações previstas para a nova fase de obras

De acordo com o responsável técnico pela terceira fase da obra (projeto futuro – torres com projetos similares), devido aos constantes “falsos positivos” dos ensaios PIT da obra de estudo, as novas armaduras das estacas hélice contínua chegarão montadas na obra, de modo que será eliminada a deficitária armação realizada por empresas terceirizadas, dado que ocorrera, durante o processo de içamento mecânico, a dessolidarização dos elementos armados, tal qual os estribos que frequentemente se soltavam das armaduras longitudinais. Além disso, objetiva-se adquiri-las obtendo solda junto aos estribos, minimizando-se, portanto, avarias decorrentes do içamento e da inserção de armaduras em estacas hélice contínua, representando, nesse contexto, a sequência de execução desta tipologia de estacas.

5. CONCLUSÃO

Diante da análise de todos os dados coletados e avaliados, bem como o acompanhamento parcial dos processos executivos da obra de estudo, tornou-se possível verificar que o principal motivo para o acúmulo das reduções de impedâncias apresentados junto ao PIT decorre da influência das armaduras inseridas após a concretagem das estacas. Além disso, as falhas das armações e montagens realizadas “*in loco*” acabavam por fragmentar as armaduras (longitudinais e estribos), separando-as na medida que ocorria o içamento mecânico, propiciando, de tal maneira, o surgimento de reduções de impedância à medida em que o material era inserido ao concreto fresco, visto que os estribos e armaduras longitudinais (ambos desalinhados e com segmentos soltos) entravam em contato com as matérias próximas ao fuste, as quais são originadas pelo solo do terreno, de maneira que o cobrimento previsto em projeto também não seja atendido. Para mais, o acondicionamento destes insumos junto ao canteiro de obras também remete a tal diagnóstico, dado que as armaduras estavam, por vezes, parcialmente imersas ao solo e, portanto, partículas deste acabavam por ficar integradas às armaduras longitudinais e/ou estribos. Ademais, tais incidências favorecem o surgimento de manifestações patológicas ao médio e longo prazo, pois há maior probabilidade da ocorrência de corrosão das armaduras supracitadas em virtude da umidade do solo.

No que diz respeito ao nível d’água (após 24h), de acordo com as sondagens SPT, ele é praticamente onipresente em todas as estacas executadas, amparando-se, inclusive, a escolha pela hélice contínua. Aliás, observa-se que o solo, de modo geral, é relativamente homogêneo abaixo das cotas de arrasamento das estacas e, bem como possui certa compacidade, não caracterizando um solo mole em que há uma maior possibilidade do desmoronamento do fuste. Por fim, partiu-se para a verificação dos relatórios das estacas hélice contínua monitoradas e, nos mesmos, não se pode constatar irregularidades. Dessa maneira, descarta-se a possibilidade de que a qualidade do concreto, alargamento ou redução de seção possam estar relacionados às reduções de impedância, uma vez que os dados fornecidos embasam tais ponderações.

Face às considerações supramencionadas, ratifica-se que o PIT corresponde, de certa forma, a um “falso-positivo” ou “falso-negativo” no que se refere à integridade estrutural, pois os resultados dos ensaios de provas de cargas dinâmicas não apresentaram discrepâncias ante ao projeto, estes os métodos mais precisos a fim de apurar o atendimento no que se refere a resistência prescrita junto ao mesmo. Logo, conclui-se que, na obra de estudo, foi verificado o emprego de vícios e falhas construtivas durante o processo de armação, tal qual falhas no acondicionamento das armaduras e a possível contaminação de fuste através do não cumprimento da NBR 6122 (ABNT, 2010) (vigente à época) em relação ao preconizado junto ao item F.7 (p. 53), em que “não se devem executar estacas com espaçamento inferior a cinco diâmetros em intervalo inferior a 12h”. Contudo, apesar do exposto, não se concebe uma anomalia estrutural imediata, demandando-se, apenas, a correta interpretação dos ensaios e o conhecimento geotécnico dos elementos constituintes do sistema.

Mediante a isso, sugere-se como nova possibilidade de investigação o estudo do comportamento padrão das reduções de impedâncias durante a interação solo-armaduras-concreto, de maneira a legitimar que os sedimentos oriundos do solo, estes incorporados às armaduras, tal qual este estudo de caso, e até a camada de oxidação superficial das mesmas, possam inferir em reduções de sinais junto ao ensaio de integridade PIT.

6. REFERÊNCIAS

Alonso, R. (1991), “*Previsão e Controle das Fundações*”. 2. Editora Edgard Blucher LTDA, São Paulo, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1983). *NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 6484: Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010). *NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019). *NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.

Azeredo, A. (1977), “*O Edifício até a Cobertura. Prática de construção civil*”. 2. Ed. Editora Edgard Blucher LTDA, São Paulo, Brasil, p. 178.

Eurocode 7. (1997). *Geotechnical Design. EC7*. Londres.

Hachich, W., et. al. (1998), “*Fundações: Teoria e Prática*”. Fini, São Paulo, Brasil., p. 758.

Junior, C. R.; (2017) “*A impedância e sua importância na manipulação de sinais sonoros*”.

Disponível em:

<http://compmus.ime.ups.br/sites/ime/usp.br.compmus/files/imped%C3%A2ncia%20%281%29.DF>. Acesso em: 19 dez. 2017

Milititsky, J., Consoli, C., Schnaid, F. (2008), “*Patologia das Fundações*”. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil., p. 208.

Rausche, F.; Likins G.; Kung S. R.; 1992-2016. “*Pile integrity and analysis.*” [1992-2016].

Disponível em:

<http://www.pile.com/reference/4thStresswave/PileIntegrityTestingAndAnalysis.pdf/>. Acesso em: 15 out. 2016

Schnaid, F., Odebrecht, E. (2012). “*Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia*”. 2. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil., p. 224.

Velloso, D., Lopes, F. (2011). “*Fundações. Volume 1 - Fundações Superficiais*”. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil., p. 240.

Velloso, D., Lopes, F. (2010). “*Fundações. Volume 2 - Fundações Profundas*”. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil., p. 352.

Experiencias en la aplicación del Pile Integrity Tester en el Control de la integridad de pilotes hormigonados en el lugar (in situ) pertenecientes a la cimentación del Proyecto TP-Sector Oasis, Varadero

ing. H. Rodríguez^{1*}, Dr. C. M. Aguilar^{2*}

Autor de contacto: *henryrc@eniahab.cu *manuelab@eniahab.cu

¹ Departamento de Patología y Diagnóstico de estructuras de hormigón, ENIA-INVESCONS, La Habana, Cuba

² Departamento de Patología y Diagnóstico de estructuras de hormigón, ENIA-INVESCONS, La Habana, Cuba

Resumen

En el presente trabajo se abordan las experiencias en el control de la integridad de pilotes fundidos en el lugar (drilled shaft pile), para la cimentación del Proyecto TP Sector Oasis, Varadero, Cuba, usando el Pile Integrity Tester, de la compañía Pile Dynamics Inc.

Los pilotes fundidos en el lugar brindan estabilidad a estructuras complejas en condiciones geotécnicas especiales, pero, una vez construidos, resulta difícil evaluar su continuidad geométrica, debido a su inaccesibilidad, quedando enterrada en el suelo. Con la finalidad de detectar estos defectos, fallos o discontinuidades, se llevó a cabo una campaña de ensayos PIT al total de los pilotes excavados y fundidos de la cimentación; actividad factible, debido a su rapidez de ejecución y bajo costo.

Palabras claves: Pile Integrity Tester; integridad de pilotes fundidos en el lugar; defectos, fallos o discontinuidades.

Abstract

In the present work are addressed the experiences in the control of the integrity of drilled shaft piles, for the foundation of the TP Sector Oasis Project, Varadero, Cuba, using the Pile Integrity Tester, from the Pile Dynamics Company. Inc.

Drilled shafts piles provide stability to complex structures under special geotechnical conditions, but once built, it is difficult to assess their geometric continuity, due to their inaccessibility, remaining buried in the ground. In order to detect these defects, failures or discontinuities, a PIT test campaign was carried out on all the excavated and cast piles of the foundation, feasible activity, due to its speed of execution and low cost.

Keywords: Pile Integrity Tester; integrity of drilled shaft pile; defects, failures or discontinuities.

Resumo

Neste trabalho, são abordadas experiências no controle da integridade de estacas lançadas no local (estaca furada), para a fundação do Projeto Oásis do Setor TP, Varadero, Cuba, utilizando o testador de integridade de pilha, da empresa Pile Dynamics. Inc.

As estacas moldadas no local proporcionam estabilidade a estruturas complexas em condições geotécnicas especiais, mas uma vez construídas, é difícil avaliar sua continuidade geométrica, devido à sua inacessibilidade, permanecendo enterradas no solo. Para detectar esses defeitos, falhas ou discontinuidades, foi realizada uma campanha de PIT teste em todas as estacas escavadas e lançadas da fundação; atividade viável, devido à sua rapidez de execução e baixo custo.

Palavras-chave: Pile Integrity Tester; integridade das estacas fundidas no local; defeitos, falhas ou discontinuidades.

Introducción

Los ensayos no destructivos o no invasivos se abren paso cada vez más imponente en el ámbito de la exploración ingenieril, como herramientas eficaces en el control de la integridad de estructuras como pilotes, aprovechando el avance de las ciencias informáticas al unísono del acelerado desarrollo de la tecnología, estos ensayos son de rápida aplicación y muy factibles económicamente.

El ensayo de Integridad empleando el Método Sónico o *Sonic Echo* permite determinar la presencia de defectos constructivos en elementos estructurales axiales como pilotes, columnas y vigas. El Pile Integrity Tester (PIT) figura como una de las herramientas más usadas en el mundo de la exploración de estructuras, aunque no brinda información sobre capacidad de los pilotes y no es posible sustituir sus resultados por los obtenidos en una Prueba de Carga.

La metodología y principios del ensayo, se encuentran recogidos en la (ASTM D 5882, 2000. **Standard test method for low strain integrity testing of piles. American Society for Testing and Materials**).

El PIT ha sido aplicado en países como España, México, EUA, Canadá, Colombia, Chile, y otros.

En este trabajo, se muestran los resultados de una campaña de 7 meses de investigación con un promedio de 50 pilotes ensayados diariamente en el Proyecto Sector TP Oasis de la Playa de Varadero, Cuba, (Figura 1) utilizando el PIT en provecho de los principios de la ecuación de onda. En TP Sector Oasis, se proyectaron 1033 pilotes hormigonados in situ que trabajarían en punta y a fricción, como elementos de cimentación, de estos, se le ejecutó el ensayo de integridad a 1007, obteniéndose al menos, 4 registros de ensayo por cada uno. Para la interpretación de los resultados, se tomó en cuenta el estudio geotécnico, la composición geológica del área y las condiciones finales de instalación de los pilotes, información recogida en reportes elaborados por Bauer Fundaciones, corporativa latinoamericana de la Empresa germánica que llevó a cabo la perforación de los pilotes. Además, se incorporó, al análisis del ensayo, toda la información disponible del proyecto de ejecución: el diseño geotécnico, y el proceso de construcción de estos, la excavación, colocación del acero de refuerzo y el hormigonado.

Las modernas técnicas electrónicas e informáticas permitieron un procesamiento y un tratamiento de las señales obtenidas que facilitó la posterior interpretación y presentación de los resultados.

Planteamiento de la Metodología de Investigación Científica

Situación problemática

La geometría de los pilotes de hormigón fundidos in situ que constituyen la cimentación de los edificios proyectados (Dos Hoteles y un Centro Comercial) en TP Sector Oasis, Varadero, ha quedado enterrada en las capas ingenieriles del subsuelo, una vez constituido el nivel de solera, quedando ocultos posibles defectos o discontinuidades en el hormigón que pudieran provocar fallos estructurales o mal funcionamiento de estos, como elementos de entrega de cargas al terreno, por lo que se necesita un método que permita obtener información de toda la longitud de sus cuerpos desde la cabeza hasta la punta, para de esta manera auxiliar el criterio de aceptación o descarte de un alguno de estos elementos para cumplir su función estructural.

Hipótesis

Si es posible utilizar una herramienta fundamentada científicamente, mediante la cual podamos obtener información del volumen de los pilotes en profundidad, será posible:

- 1-Localizar discontinuidades, defectos o cualquier otro signo desfavorable a lo largo del fuste que comprometa el mal funcionamiento de los pilotes como estructuras de transferencia de cargas.
- 2-Corregir el diseño geotécnico de los pilotes
- 3-Comprobar que la geometría de los pilotes cumpla con las tolerancias diseñadas, dicho de otra manera, que no ocurran estrangulamientos o ensanchamientos de sección que influyan en el funcionamiento geotécnico o bien que exista pilote en toda su longitud.

Objetivo del ensayo

Conocer con buen nivel de aproximación el estado contextual del pilote, dígase, su continuidad estructural, longitud y volumen, una vez que han quedado enterrados.

Método

Una campaña de ensayos sónicos de integridad de los pilotes, como método de exploración indirecta, usando el PIT, permitirá entre otras funciones, evaluar la uniformidad y la continuidad del hormigón en profundidad y localizar defectos que pudieran generar fallos o discontinuidades en el hormigón que invaliden a los pilotes como aptos para cumplir su función estructural

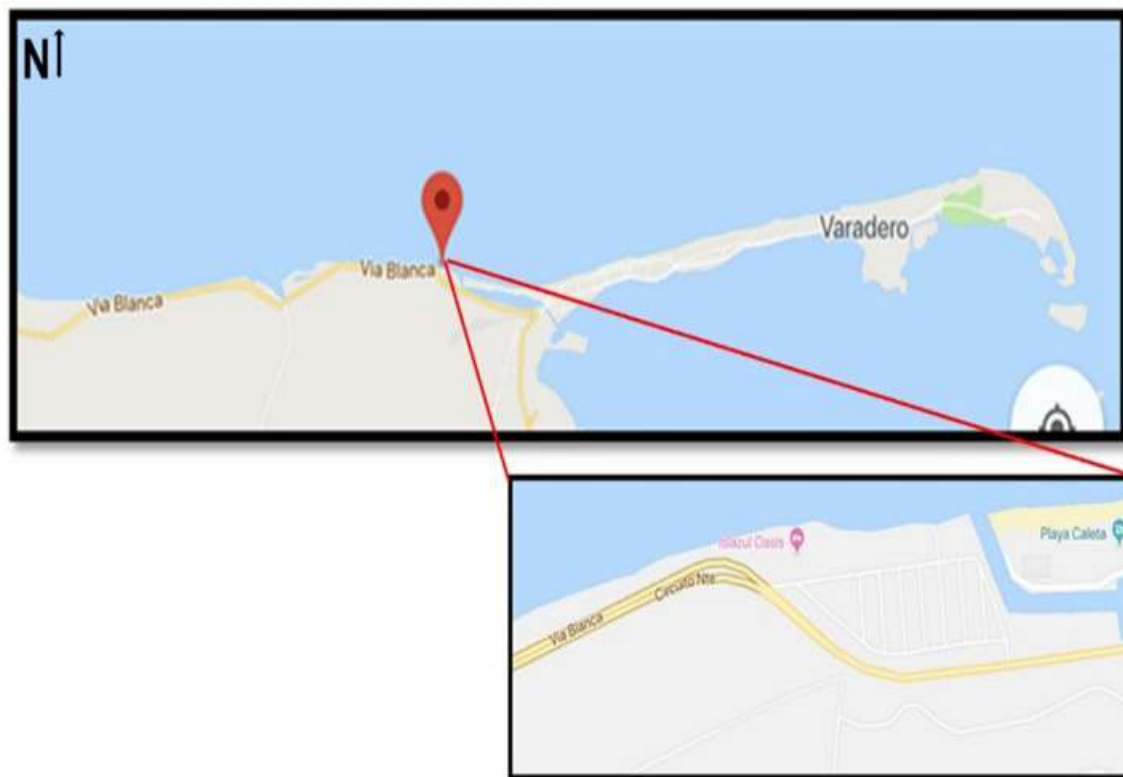


Figura 1. Situación Obra TP-Sector Oasis. Autopista Sur Vía Blanca, Varadero, Matanzas, Cuba. Aplicación de ensayos dinámicos sónicos in situ (PIT) a la integridad del hormigón de cimentaciones profundas (pilotes)

Fundamentos teóricos y principio de aplicación del ensayo de integridad de pilotes

El ensayo de integridad con el PIT se basa en el principio teórico de la propagación de ondas longitudinales de baja deformación que genera efectos de dilatación y compresión a lo largo del fuste del pilote (**Colectivo de Autores Pile Dynamics Inc., 2014**). La velocidad de propagación de la onda es directamente proporcional al módulo de elasticidad e inversamente proporcional a la densidad del material. El frente de onda que se genera en el punto de impacto, se puede considerar como un frente de onda plano que se transmite por el cilindro (forma geométrica del pilote) a una velocidad:

$$c = \sqrt{E/\rho} \quad (1)$$

c: velocidad de propagación de la onda comprimida

E: módulo de elasticidad dinámico del material constituyente del pilote (hormigón)

ρ : densidad de masa del material constituyente del pilote (hormigón)

La onda es reflejada por las discontinuidades del pilote, por la punta del pilote, por cambios de sección o por las características típicas del terreno donde se ha instalado (**Fundaciones, L. d. (s.f.). Protocolo de ensayo de integridad de pilotes**). La cantidad de energía que se transmite al terreno que rodea al pilote dependerá de la relación entre las rigideces del pilote y del terreno. Si el suelo que rodea al pilote es blando o suelto, como suele ocurrir en las condiciones en las que se cimienta con pilotes, una parte importante de la energía del tren de ondas se transmite a lo largo del pilote hasta que se disipa totalmente o encuentra un cambio geométrico o de material en el cilindro.

Cuando hay cambio geométrico o de características del material de que se constituye el pilote o un cambio importante de la rigidez del terreno, parte de la energía se refleja hacia la cabeza de éste. El método de ensayo se basa en el análisis de la onda que es reflejada hacia la cabeza del pilote.

Los cambios en las características geométricas o en las propiedades del material que lo constituyen y que producen reflexiones que permiten diagnosticar el estado del pilote son:

- el área de la sección transversal del pilote,
- densidad del material y/o módulo de elasticidad
- velocidad de transmisión de la onda en el material. (hormigón)

Estos parámetros tributan al *Principio de la Impedancia Acústica* y se relacionan mediante la ecuación:

$$z = \rho \cdot c \cdot A \quad (2)$$

z: impedancia de una sección del pilote

ρ : densidad del material

c: velocidad de propagación de la onda de compresión

A: área de la sección transversal del fuste

La onda es captada por un acelerómetro conectado al equipo PIT, que amplifica y digitaliza la señal mediante un sistema electrónico y se convierte en medida de velocidad (Dominio espacial del tiempo), que se presenta inmediatamente en la pantalla del equipo para comprobar la correcta ejecución del ensayo, quedando registrada, para su posterior interpretación en gabinete.

Accesorios para el Ensayo de Integridad

- Dispositivo Pile Integrity Tester (PIT). (Figura 2 A)
- Martillo convencional cableado de 53.4 kg (Figura 2 B-1) (prueba de fuerza, trabaja en el dominio de la frecuencia mediante transformación matemática por series rápidas de Fourier).

- Martillo convencional portátil de 4.5 kg (Figura 2 B-2) (prueba de velocidad, trabaja en el dominio espacial del tiempo, conocida la velocidad, puede calcularse la longitud del pilote, muy efectivo para pilotes de poca esbeltez).
- Acelerómetro convencional cableado (Figura 2 B-4) (se conecta a la unidad velocidad (V), si evaluamos el dominio tiempo, mientras que, si medimos fuerza sobre la cabeza del pilote, se conecta el martillo de 53,4 kg a la unidad Fuerza (F))
- Otros dispositivos del modelo inalámbrico

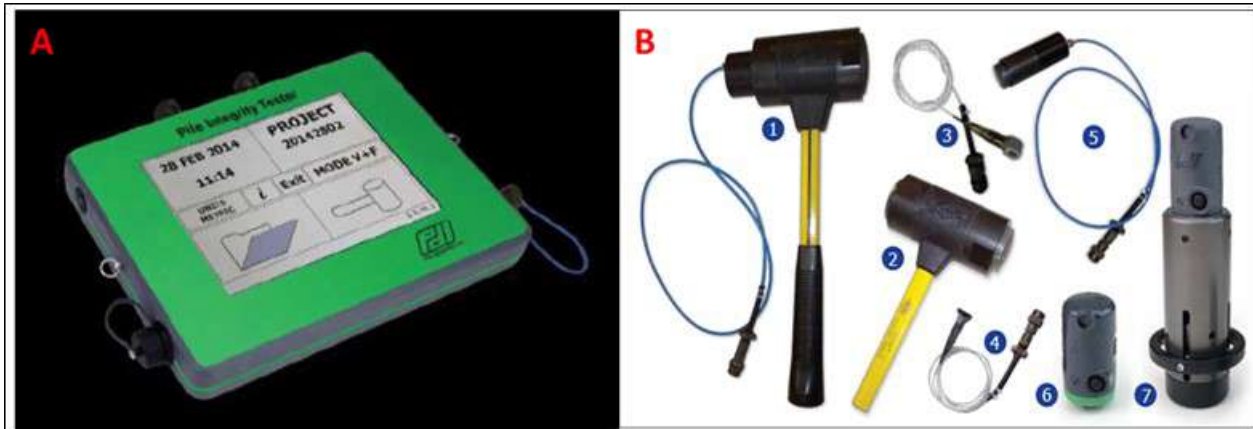


Figura 2. A. Dispositivo PIT e interfaz con menú principal. B. Accesorios para la ejecución de los ensayos. Fuente: Manual PIT.

Preparación de los pilotes para el ensayo PIT

La edad mínima del hormigón en el momento del ensayo es de siete días, para garantizar un grado de endurecimiento y un módulo de elasticidad que permitan que la onda se propague.

Metodología de ejecución del ensayo en el terreno

Para asegurar una correcta ejecución de la prueba se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Asegurar que la edad mínima del concreto de los pilotes a ensayar sea de siete (7) días o cuando el concreto alcance el 75% de la resistencia de diseño.
- b) La superficie superior del pilote debe estar seca, horizontal y lisa, si existe algún "solado" se debe dilatar respecto al concreto del pilote (Santos, Y., 2016). (Figura 3 D)
- c) Si existe en algún elemento concreto de "limpia" para el armado del cabezal, este debe ser dilatado respecto a los pilotes a ensayar.
- d) El equipo de prueba de integridad debe estar expuesta a la menor cantidad de sonidos con el fin de obtener una alta resolución, en las colindancias al ensayo no deben estar funcionando maquinarias o motores que contaminen con señales de ruido el ensayo.
- e) Se solicita el registro de excavación y hormigonado de los pilotes ensayados avalados por la interventoría de la obra, al igual que los datos de geometría, resistencia, volúmenes teóricos y reales de concreto, tiempo de llegada y descarga del hormigón.

Una vez se ha preparado el pilote para ser ensayado, se limpia con una escobilla de mano y se coloca el acelerómetro sobre una superficie horizontal de la cabeza del pilote, procurando que quede lo más vertical posible, y comprobamos con el martillo que sea una zona compacta de

hormigón. Los golpes deben ser suaves y secos, y preferentemente siempre en el mismo lugar. Cada golpe de martillo, nos representa una curva en el reflectograma (*Maestre Mesa y Rodríguez Cárdenas, (2019)*).

Una vez obtenidas graficas válidas, procedemos a la conservación de la información para su posterior interpretación.



Figura 3. *Procesos de preparación de la cabeza del pilote para ensayos de integridad. factores que obstaculizan el proceso de ensayo. A. Descubrimiento del pilote. B. descabezado con martillo hidráulico. C. Planeado de la superficie de la cabeza del pilote. D. Segregación de hormigón en la cabeza del pilote. E. Presencia de agua en la superficie, humedad permanente. F. Irregularidades en la superficie de la cabeza por Planeado incorrecto*

Clasificación del tipo de registro según la morfología del reflectograma

Registros AA: Pilote sano. Los pilotes que presentan reflexiones insignificantes de la onda sónica en puntos del fuste del pilote por encima de la punta. Puede ser identificada una reflexión clara de la punta del pilote correspondiente a la longitud registrada y una velocidad de onda dentro de un rango aceptable. Registros de esta categoría deben indicar normalmente variaciones aceptadas del tamaño y calidad del material.

Registros AB, ABx: Cuando no se aprecia una reflexión clara de la onda sónica en la punta, ni aparecen reflexiones que indiquen una reducción de la sección del pilote o mala calidad del material, aunque tampoco existe una evidencia positiva de que el pilote esté libre de defectos.

Registros ABx: En el caso ABx se establece hasta que profundidad el pilote puede considerarse libre de defecto. Este tipo de registro es frecuente en el caso de pilotes muy esbeltos instalados en suelos de alta resistencia.

Registros Pfx: Existe una anomalía que indica un probable fallo a una profundidad x y existe evidencia de una reflexión correspondiente a la punta del pilote. En aquellos casos en que se apreciaron reflexiones significativas o anomalías de la onda por encima de la punta del pilote, se da una interpretación evaluando los posibles fallos en el pilote.

Registros PDx: El registro muestra una reflexión fuerte correspondiente a una reducción importante de la sección del pilote o la calidad del material y no existe evidencia de la reflexión procedente de la punta del pilote.

Registros IVx: Registros inciertos por debajo de una profundidad x, afectados por vibraciones generadas por maquinaria de construcción o refuerzo muy denso sobre la cabeza del pilote, que no permiten llegar a una conclusión clara sobre la integridad del pilote ensayado.

Registros IR: Registros inciertos; los datos son inciertos, posiblemente por razones tales como:

- Mala calidad del punto de impacto y registro en la cabeza del pilote por baja resistencia del hormigón, discontinuidades, irregularidades, etc.
- Cambios de impedancia planificados por uniones las cuales generan señales que impiden la identificación de la señal de la punta.

Aplicación de ensayos de integridad (PIT) a pilotes del Proyecto TP Sector Oasis, Varadero

Caracterización geológica del subsuelo donde se fundieron los pilotes

La investigación geotécnica fue desarrollada por especialistas de la ENIA, así como la descripción del corte geológico.

Hacia arriba, en el corte de la parcela, se presenta una roca carbonatada organógena, con abundante aparición de corales, de alta compacidad y resistencia, con desarrollo de carso, perteneciente posiblemente a la Fm Canímar (Capa E). El techo de esta capa se encuentra a profundidades variables, pero queda bien esclarecido que hacia el área que ocupa la cimentación del hotel H2, aparece a una menor profundidad con respecto al área que ocupa la cimentación del hotel H1, por lo que un gran número de pilotes de H2 quedaron apoyados en esta capa, no así en H1. Así pues, en H2, los pilotes superiores a 15 metros se apoyan todos en esta secuencia, mientras que en H1 los pilotes de similar longitud generalmente no llegan hasta ella en varias zonas.

Sobre esta secuencia, aparece, con mayor presencia hacia H2, un horizonte de material arcillo-arenoso del orden desde algunos centímetros hasta el metro e incluso 2 metros, esporádicamente. Esta delgada capa proviene de la acumulación de los materiales de la erosión de la citada Fm Canímar. El comportamiento de este horizonte parece ser inestable, poco compacto y afectado por la alteración físico-química.

La Capa D se encuentra sobreyaciendo discordantemente a este horizonte; Se describen como rocas terrígeno-carbonatadas, posiblemente, calcarenitas, muy alteradas, con alternancias de capas areno-arcillosas, perteneciente a la Formación Jaimanitas, constituyendo su base. El contacto de la capa D con el material areno arcilloso descrito anteriormente, como promedio a unos 14 metros de profundidad con respecto al nivel de terreno, en el caso de H2. En H1 se encuentra a una mayor profundidad.

En H2 por encima de este paquete terrígeno-carbonatado aparece siempre la capa C que es un bloque carbonatado de poco espesor y alta estabilidad y dureza.

Perforación y hormigonado de los pilotes

El servicio de construcción de los pilotes lo ejecutó la empresa Bauer Fundaciones América Latina S.A., con un equipo compuesto por dos máquinas perforadoras Bauer BG-28, dos ingenieros civiles, dos operarios, dos jefes de cuadrilla y ayudantes.

Las incidencias y detalles del proceso de perforación y hormigonado de los pilotes se registraron en detallados reportes donde se encuentra información necesaria para verificar las condiciones de instalación de cada pilote.

Durante todo el proceso de construcción se registraron importantes sobreconsumos de hormigón con respecto al previsto en el proyecto preliminar de Bauer. En los reportes se registran dichos sobreconsumos y de las curvas de hormigonado se puede diferenciar el hormigón empleado en rellenar cavernas y oquedades del hormigón empleado en rellenar e incrementar la sección de los pilotes (sobredimensionamiento).

En pilotes donde ocurrió estrangulamiento de una sección del fuste, debido a la interacción suelo-pilote, se consideró el sobrediseño de estos elementos, no comprometiendo nunca su función estructural.

Ensayo Sónico de Integridad de Pilotes (PIT). Resultados e Interpretación

Se ejecutaron ensayos a 1017 pilotes (Figura 4). A cada pilote se le tomó un mínimo de 4 puntos de ensayo para obtener información representativa de todo el volumen de hormigón del pilote (Figura 5).

El descabezado del pilote se ejecutó usando el método llamado recipieaux o demolición con martillo hidráulico, neumático y eléctrico. El recipieaux consiste en verter en la sección del pilote seleccionada un líquido expansivo que al fraguar y expandirse crea una superficie de falla de la cual puede desprenderse la sección del pilote prevista. Dicho método se les aplicó a todos los pilotes, pero sólo se obtuvo resultados en una pequeña parte de ellos. En los registros PIT generalmente, se podían establecer diferencias entre los pilotes descabezados manualmente y los descabezados por recipieaux.

El descabezado por demolición con martillo fue el más utilizado y generalmente produjo agrietamiento en la cabeza del pilote, que en muchos casos afectó la calidad de los registros PIT.

A continuación, se presentan a manera de ejemplo algunos registros representativos con los comentarios correspondientes:

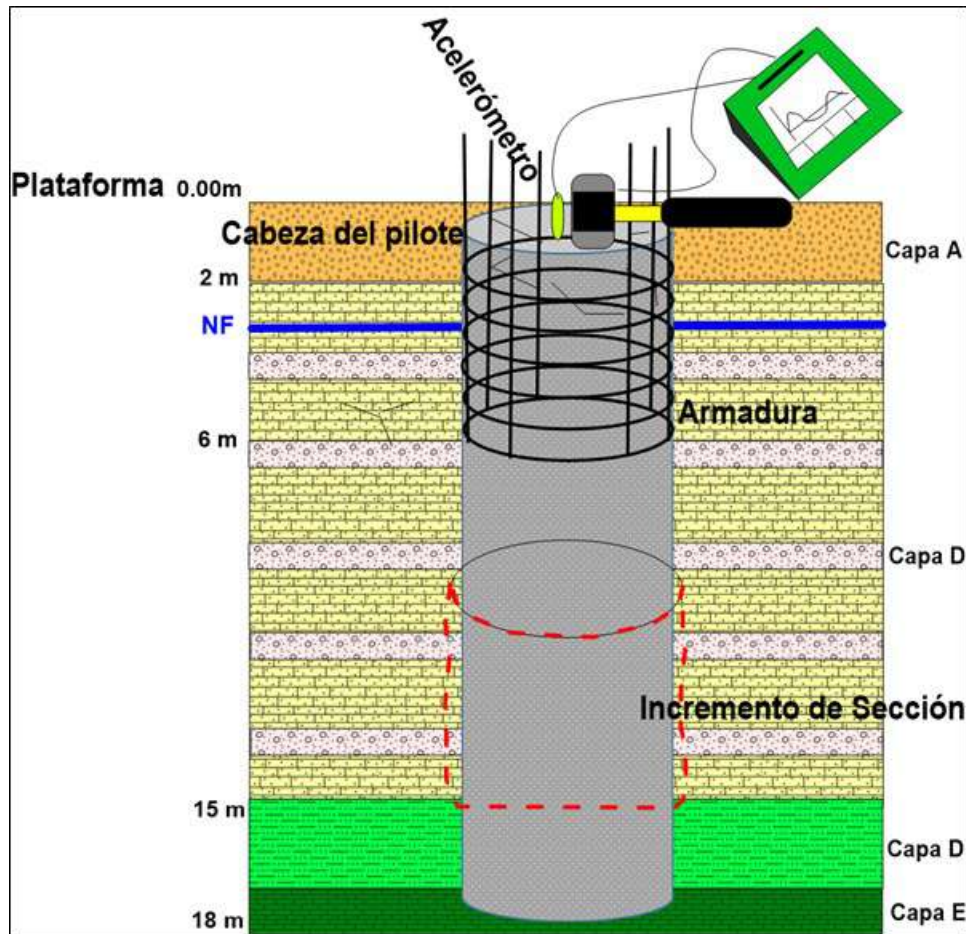


Figura 4. Representación esquemática real de las condiciones de aplicación del ensayo de integridad con el PIT en TP Sector Oasis

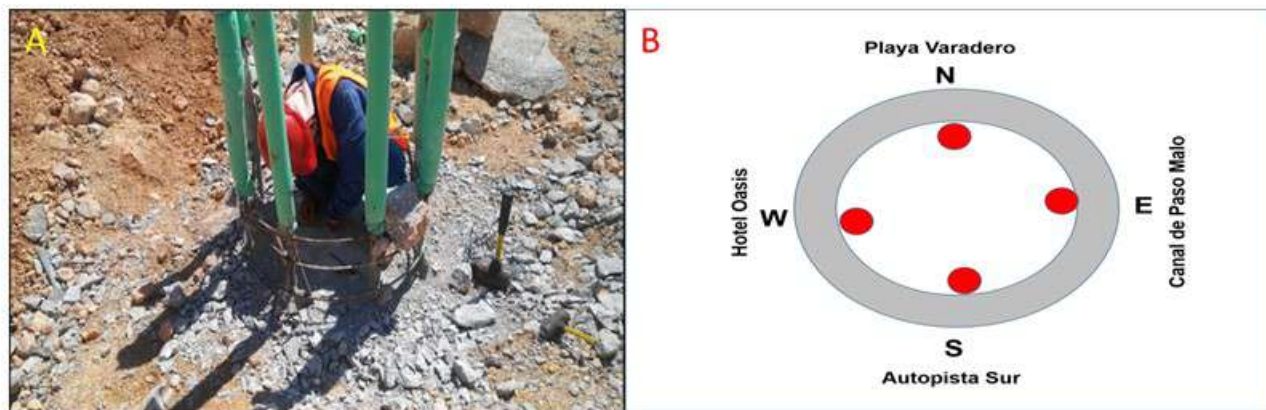


Figura 5. Aplicación del ensayo de integridad con el PIT. B. Referencia asumida para indicar en los ensayos las zonas de aplicación del golpe e instalación del acelerómetro. La zona de investigación en el ensayo de PIT se corresponde al área del círculo blanco al borde interior de la armadura del pilote.

Tratamiento de las curvas en los softwares de procesamiento PIT-S Profile y PIT-W

Los reflectogramas obtenidos en los ensayos de campo fueron almacenados en una memoria externa que se conecta al dispositivo PIT y que luego pudo descargarse como archivos a los softwares PIT-S Profile y PIT-W (Figura 6), con la intención de analizar, con la información disponible el comportamiento de la sección transversal de los pilotes, algunas de las señales tratadas se muestran a continuación acompañadas de una síntesis analítica sobre el criterio final de aceptación de los pilotes (Figuras 7, 8 y 9).

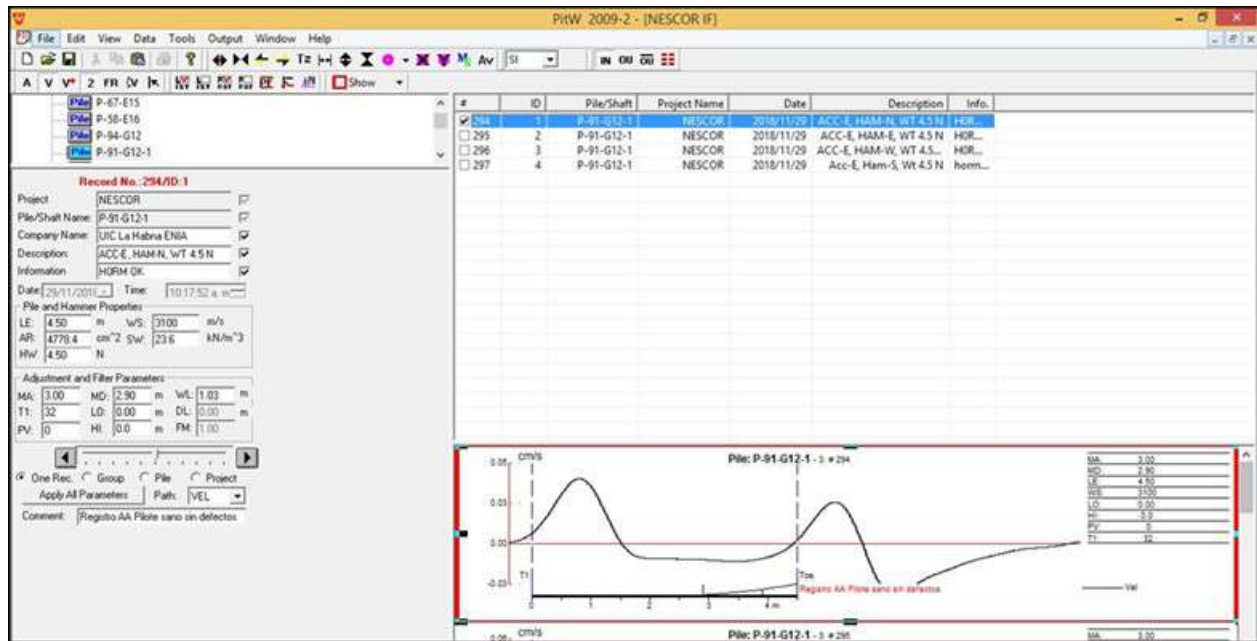


Figura 6. Interfaz del software PIT-W con campos de tratamiento de curvas

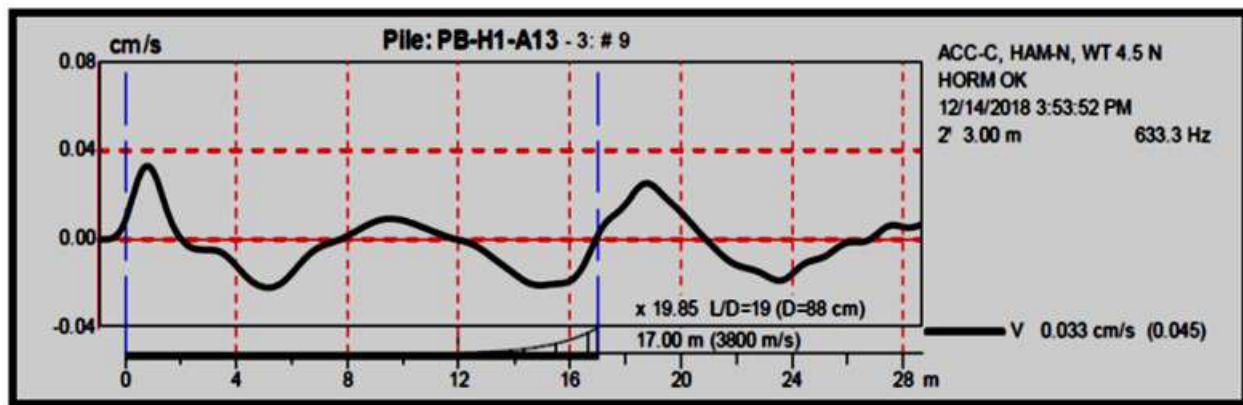


Figura.7. Curva correspondiente al pilote PB-H1-A13, TP Sector Oasis, Varadero

Del registro anterior se puede concluir:

- El pilote tiene continuidad estructural, pues se evidencia de forma clara la reflexión en la punta del pilote a los 17 metros de profundidad. La reflexión de la punta confirma que para la velocidad estimada la longitud del pilote medida coincide con la del reporte Bauer

- Entre la señal de la cabeza del pilote y la señal de la punta se aprecias cambios (reflexiones) positivos (a 7 metros de profundidad disminución de impedancia) y negativos (aumento de impedancia), dichos cambios representan cambios en la resistencia del hormigón o cambios en la sección del pilote, también los cambios negativos pueden deberse a la interacción suelo-pilote. No tenemos posibilidades de identificar cuál de estos factores es el que predomina.

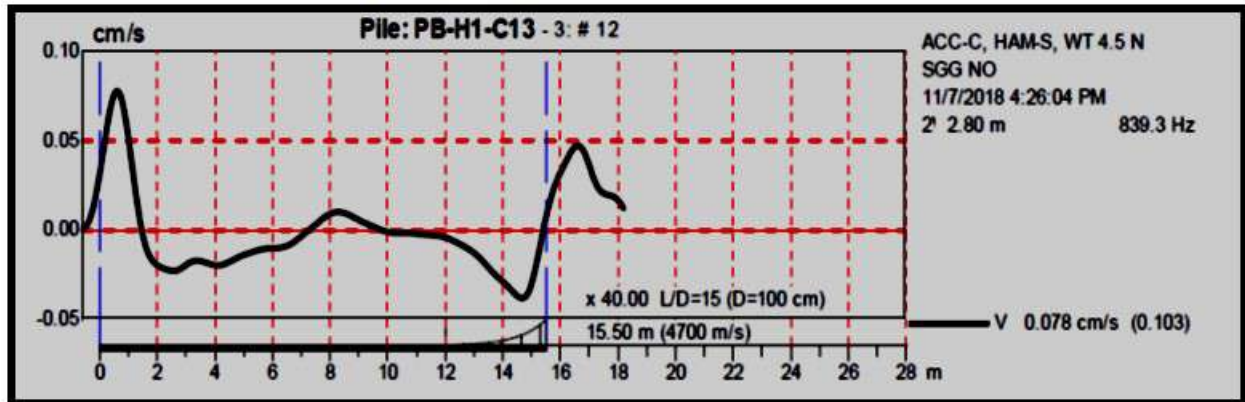


Figura 8. Curva correspondiente al pilote PB-H1-C13, TP Sector Oasis, Varadero

En la imagen anterior se evidencia la curva de un pilote, el cual al igual que la muestra anterior, presenta continuidad estructural, se obtiene la reflexión de la punta del pilote a los 15.5 metros de profundidad. Además, se evidencia cambios de impedancia positivos, este asociado al estrechamiento producto al cambio de sección establecido por proyecto (camisa con diámetro diferente al de diseño). Luego como es común en casi todos los cimientos estudiados, se manifiesta una disminución de impedancia, generalmente en la punta del pilote o cerca de esta, lo que indica en muchos casos el aumento de geometría por el relleno con hormigón de las cavidades de la roca.

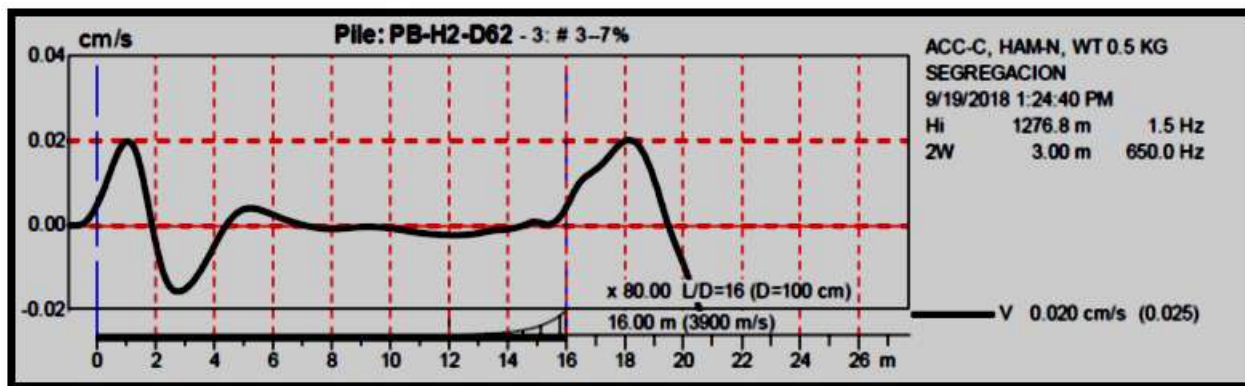


Figura 9. Curva correspondiente al pilote PB-H2-D62, TP Sector Oasis, Varadero

En este caso se puede observar, al igual que todos lo demás, la longitud real del cimiento (16 metros). En el pilote no se aprecia ningún cambio de impedancia positivo lo que indica que a lo largo del cimiento no ocurrió ningún caso de disminución de resistencia o de disminución de la sección.

De manera general, se da por cumplido el objetivo perseguido en la campaña de investigación consistente en localizar defectos o discontinuidades que pudieran provocar fallos o daños estructurales en los pilotes. La totalidad de los pilotes se consideran aptos para cumplir su función estructural, no estando exentos de presentar daños o defectos provocados durante su construcción pero que, debido al detalle de sobrediseño de estos, fue descartada la posibilidad de fallo ante las sollicitaciones que tributarán los edificios a construir.

Conclusiones del Ensayo Sónico de Integridad (PIT)

1. El ensayo de integridad resulta de suma utilidad en grandes obras por su rapidez de ejecución y factibilidad económica, aun así, al ser una prueba dinámica indirecta, no sustituye la prueba de carga y no se puede determinar capacidad de carga de elementos estructurales.
2. Para analizar la integridad de pilotes, se debe tener en cuenta los problemas encontrados durante su excavación y vertido, debido a que los ensanchamientos de la sección, juntas frías, entre otras patologías constructivas causan rebotes tempranos de la onda que deben ser descartados durante el proceso de interpretación, por lo que una experta interpretación de las curvas de reflexión, debe ir acompañado de la mayor cantidad de información disponible de la construcción de los pilotes.
3. Los ensayos sónicos de integridad representaron también un elemento importante para el control de la calidad considerando que:
 - Exploraron los pilotes de manera no invasiva y se detectaron cambios ocultos relacionados con la colocación del hormigón y la construcción del pilote que no aparecen en el reporte Bauer.
 - Confirmaron los datos más importantes del reporte Bauer en cuanto a la longitud y continuidad del pilote como elemento estructural.
4. A pesar de la aplicación de los ensayos, los objetivos perseguidos no se cumplieron puesto que la ejecución tardía de estos no pudo impedir el sobrediseño de estos elementos estructurales y un sobreconsumo excesivo en el volumen de hormigón vertido para conformarlo.
5. EL desarrollo del carso en determinados sitios y a determinadas profundidades fue la causa del consumo adicional de hormigón, excusado en el relleno de cavidades y grietas y consecuentemente el factor que originó ensanchamientos de sección en varios pilotes, evidenciados en las crestas negativas obtenidas en los reflectogramas.

Agradecimientos:

A Unidad de Investigaciones Aplicadas para la Construcción UIC La Habana

A Miguel Ángel Maestre Mesa

A Manuel Aguilar Balbuena

Referencias Bibliográficas

- ASTM D5882-00. (s.f.). `` ASTM D 5882, 2000. *Standard test method for low strain integrity testing of piles. American Society for Testing and Materials.*'' .
- Colectivo de Autores Pile Dynamics Inc. (2014). *Manual PIT*.
- Fundaciones, L. d. (s.f.). *Protocolo de ensayo de integridad de pilotes*.
- Maestre Mesa, M Á., Rodríguez Cárdenas, H. (2019). *Informe Final del grupo de Patología y Restauración ENIA UIC-La Habana. Aplicación de ensayos PIT a pilotes hormigonados in situ en TP-Sector Oasis. Varadero, Cuba*.
- Santos, Y. (2016). *Aplicación de la Prueba de Integridad de Pilotes en puentes de Cayo*. Santa Clara.

Análise da influência do método de cura na evolução da resistência à compressão do concreto com o tempo

C.S. de Faria^{1*}, J.V.F. Altoé¹, C.L. Pereira¹, G.S. Veríssimo¹, M.C. Petruski².

*Autor de Contato: camila.spagnol@ufv.br

¹Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil;

²Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a influência do método de cura sobre a evolução da resistência à compressão do concreto. Um total de 72 corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm foram moldados de dois concretos com diferentes relações água/cimento, divididos em 3 processos de cura: cura em saco plástico, cura ao ar e cura imersa em solução saturada de hidróxido de cálcio de acordo com a ABNT NBR 5738:2015. Os resultados demonstraram que a cura imersa e a cura em saco plástico promovem uma evolução da resistência à compressão do concreto com valores próximos, ao passo que as amostras curadas ao ar apresentaram resistência bem inferior.

Palavras-Chave: concreto; resistência à compressão do concreto; método de cura do concreto.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the influence of the curing method on the evolution of the compressive strength of concrete. A total of 72 cylindrical specimens measuring 10x20 cm were cast from two concretes with different water/cement ratios, divided into 3 curing processes: curing in a plastic bag, curing in air and immersed curing in a saturated solution of calcium hydroxide, according to ABNT NBR 5738:2015. The results showed that immersed curing and curing in plastic bags promote an evolution of the compressive strength of concrete with similar values, while the samples cured in air showed much lower strength.

Keywords: concrete; concrete compressive strength; concrete curing method.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar la influencia del método de curado en la evolución de la resistencia a la compresión del hormigón. Se moldearon un total de 72 probetas cilíndricas de 10x20 cm a partir de dos hormigones con diferente relación agua / cemento, divididos en 3 procesos de curado: curado en bolsa plástica, curado al aire y curado sumergido en una solución saturada de hidróxido de calcio, de acuerdo con ABNT NBR 5738:2015. Los resultados mostraron que el curado sumergido y el curado en bolsas plásticas promueven una evolución de la resistencia a la compresión del hormigón con valores similares, mientras que las muestras curadas al aire presentan una resistencia mucho menor.

Palabras clave: hormigón; resistencia a la compresión del hormigón; método de curado de hormigón.

1. INTRODUÇÃO

Para efeito da verificação da resistência à compressão do concreto utilizado na construção de estruturas, o método de cura úmida é consagrado, universalmente aceito e prescrito nas principais normas técnicas em diversos países. Entretanto, no contexto da pesquisa experimental, eventualmente são tomadas amostras de um concreto utilizado na confecção de alguma peça e essas amostras são deixadas no laboratório, geralmente no mesmo ambiente, de modo que fiquem expostas às mesmas condições de temperatura e umidade das peças principais.

No âmbito da pesquisa experimental, com frequência os valores da resistência média à compressão e do módulo de elasticidade tangente inicial são de grande interesse, pois são dados de entrada fundamentais para o modelo constitutivo do concreto empregado em simulações numéricas. E, evidentemente, é desejável que os valores medidos desses dois parâmetros sejam representativos do material na estrutura real.

Recentemente, durante um programa experimental no Laboratório de Estruturas da UFV foi realizada a concretagem de dois blocos de concreto, cada um com um volume de aproximadamente 1,0 m³, e foram tomadas amostras do concreto em cilindros de 10x20 cm para medição da resistência à compressão com 1, 3, 7, 14, 21, 28 e 63 dias, que foram curadas ao ar. Porém ocorreu um fato inusitado: os resultados dos ensaios de compressão simples revelaram que entre os 7 e os 14 dias de idade a resistência do concreto se manteve inalterada. O concreto fora produzido com cimento CP-V e durante o período entre os 7 e os 14 dias de idade a temperatura média no laboratório foi de 16,2°C e a umidade relativa média foi de 79%. Este fenômeno chamou a atenção dos pesquisadores para a possibilidade de que a cura ao ar estivesse prejudicando severamente a evolução da resistência do concreto, em relação à cura úmida, haja vista que a superfície específica dos cilindros de 10x20 cm era muito diferente da dos blocos maiores.

Em função do exposto, em duas concretagens subsequentes foram moldados 72 cilindros de 10x20 cm com o objetivo de se fazer uma avaliação extensiva da evolução da resistência do concreto ao longo do tempo para três métodos de cura distintos, a saber: cura ao ar, cura em sacos plásticos e cura imersa em solução saturada de hidróxido de cálcio de acordo com a ABNT NBR 5738:2015. Concomitantemente, foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de levantar resultados e conclusões obtidos por outros autores.

Ferreira Junior (2003) submeteu amostras de concreto a cinco diferentes tipos de cura: cura ao ar, cura úmida de acordo com a ABNT NBR 5738:1994, cura por imersão por um período de 7 dias e cura térmica a vapor sob pressão atmosférica em temperatura de 60 °C e 80 °C. O autor concluiu que os métodos de cura empregados produziram variações nas propriedades mecânicas e na durabilidade dos concretos, principalmente no que diz respeito à sua estrutura porosa, havendo uma grande dependência da cura em água. A resistência à compressão medida para as amostras curadas ao ar se mostrou bem inferior à das amostras submetidas a cura úmida. Esse efeito foi mais pronunciado para os concretos com CP III do que para os com CP V-ARI. Nos concretos com CP III, nas primeiras idades, a formação dos compostos hidratados foi muito lenta e o ganho de resistência muito pequeno. A cura térmica proporcionou um aumento substancial da resistência mecânica nas primeiras idades. As amostras curadas na temperatura de 80 °C apresentaram melhores resultados, tanto mecânico, quanto de durabilidade, do que as amostras curadas na temperatura de 60 °C, demonstrando que a hidratação da escória é dependente de um ativador, que, no caso do cimento com elevado teor de escória (CP III), pode ser a cura térmica. O CP V-ARI, por outro lado, possui alta quantidade de clínquer e as reações são ativadas pelo próprio calor de hidratação do clínquer, não sendo necessária a cura térmica como ativador dessas reações. Dessa forma, a cura térmica não se mostrou eficaz para concretos com CP V-ARI. Além disso, a aceleração da hidratação na cura térmica foi mais prejudicial do que benéfica ao concreto, já que provocou um desarranjo microestrutural, afetando as propriedades relacionadas à durabilidade.

Bardella (2005) investigou a influência de diferentes métodos de cura no comportamento mecânico e na durabilidade de amostras de concreto produzidas com CP III 40 E e CP V-ARI – PLUS com adição de sílica ativa em substituição ao CP na proporção de 10%. O autor experimentou três tipos de cura: cura ao ar (ambiente de laboratório – $T_{\text{aprox}} = 25 \text{ °C}$ e $U_{\text{rel}} = 65\%$), cura térmica a 60 °C e cura em água por um período de 7 dias (cura por imersão). A sílica ativa melhorou a resistência à compressão dos concretos em todas as condições de cura utilizadas. Os resultados de resistência dos concretos aos 90 dias com sílica ativa foram cerca de 10% superiores aos dos concretos sem sílica. O autor também observou que a cura térmica é efetiva principalmente nas primeiras idades dos concretos, porém acarreta menor ganho de resistência a partir dos 28 dias (menor, inclusive, que os CPs curados ao ar). Esse menor ganho de resistência pode ser atribuído a uma distribuição não uniforme dos produtos de hidratação, devido a rápida hidratação inicial dos compostos, ocasionando uma evolução menos acentuada da resistência e aumento da porosidade. Os concretos com CP V-ARI não necessitam de cura térmica, já que este material apresenta uma maior finura e uma quantidade maior de clínquer do que o CP III, desenvolvendo resistências iniciais elevadas sem a aplicação deste método de cura. Os melhores resultados de resistência mecânica e durabilidade foram encontrados nos concretos submetidos à cura imersa. Os piores resultados foram obtidos para os concretos submetidos à cura ambiente.

Silva *et al.* (2011) moldaram 104 corpos de prova de concreto, sendo 52 de uma dosagem com relação $a/c = 0,53$ e os outros 52 com $a/c = 0,61$. Metade de cada um desses conjuntos foi submetida a cura imersa em um tanque com água em temperatura ambiente e as demais amostras foram deixadas expostas ao ar livre. Na Tabela 1 são apresentados os percentuais de redução da resistência à compressão das amostras curadas ao ar em relação às amostras que tiveram cura imersa.

Tabela 1 – Relação entre as resistências à compressão do concreto para cura ao ar e cura imersa.

Dias	concreto com $a/c = 0,53$			concreto com $a/c = 0,61$		
	7	28	91	7	28	91
$1 - \frac{f_{c(ar)}}{f_{c(imersa)}}$	21,1%	34,6%	41,5%	30,9%	42,7%	44,6%

Silva *et al.* (2011) analisaram a evolução da resistência de concretos confeccionados com CP V-ARI, com duas relações a/c distintas (0,35 e 0,55). Os corpos de prova foram submetidos a 5 tipos de cura: cura em câmara úmida, cura em solução saturada de cal, cura a 10°C em câmara climatizada (para simular baixas temperaturas), cura a 40°C em estufa e cura a 40°C em estufa com os corpos de prova encapados com filme de PVC, de forma a evitar perda de umidade. Os processos de cura nos quais havia saturação do concreto com água geraram os melhores resultados de resistência à compressão (cura úmida e imersa). Em geral, a solução saturada com cal propiciou um ganho de resistência mais elevado. As curas térmicas apresentaram, predominantemente, as menores resistências. Em alguns casos, verificou-se retrocesso de resistência. A cura térmica a 40°C acarretou redução do ganho de resistência ao longo do tempo para ambos os concretos.

Szeremeta e Silva (2013) analisaram dois concretos com traços distintos, cujos corpos de prova foram submetidos a cura imersa em solução saturada de cal, a cura química e a cura ao ar livre. Os corpos de prova submetidos a cura imersa ou química apresentaram maiores resistências aos 3, 7 e 28 dias em comparação às amostras curadas ao ar. Os CPs curados ao ar apresentaram resistência à compressão cerca de 52% inferior aos CPs submersos. As amostras submetidas a cura química apresentaram um ganho de resistência acelerado nos primeiros dias, com maiores resistências aos 3 dias. Porém não apresentaram uma elevada taxa de ganho de resistência até os 28 dias, apresentando, nesta data, resistência 21% inferior à resistência dos corpos de prova submersos.

Ribeiro *et al.* (2014) submeteu amostras de um concreto a três tipos de cura: 8 corpos de prova envolvidos em lona plástica; 8 CPs curados ao ar; e 8 CPs curados com imersão total em água. As amostras foram ensaiadas aos 7 e aos 28 dias. O concreto curado ao ar apresentou as menores resistências. O concreto submetido à cura com lona plástica apresentou resistências intermediárias e o sujeito a cura imersa as maiores resistências (o mesmo foi observado nos ensaios de módulo de elasticidade). A taxa de ganho de resistência dos concretos curado ao ar e em lona plástica, dos 7 aos 28 dias, foi da ordem de 10% e para o concreto com cura imersa essa taxa foi da ordem de 30%. As resistências à compressão aos 28 dias dos concretos curados ao ar e em lona plástica foram 28% e 20% menores, respectivamente, em comparação ao concreto submetido a cura imersa. Os ensaios de absorção e índice de vazios apresentaram maiores valores para o concreto curado ao ar, isto é, este concreto apresenta maior porosidade, sendo, portanto, mais susceptível a patologias e menos durável. O desempenho do concreto envolvido em lona plástica não foi tão bom quanto do concreto submerso, entretanto foi classificado como “durável”, seguindo a classificação de Helene (1983). Os resultados evidenciam a influência do procedimento de cura nas propriedades mecânicas e na durabilidade do concreto.

Andrade (2015) submeteu amostras de concretos de pós reativos (CPR) a três diferentes tipos de cura: cura úmida, cura térmica a 90 °C e cura em autoclave sob temperatura de 150 °C e pressão de 150 kPa. Os três tipos de curas empregados nos CPR influenciam em suas propriedades mecânicas. Os resultados demonstraram que a cura térmica acelera as reações químicas de hidratação do cimento e as reações pozolânicas das adições minerais, devido à elevada temperatura, apresentando, portanto, os maiores valores de resistência à compressão axial. A cura em autoclave

combina temperatura elevada e pressão, entretanto, não foram observados ganhos significativos de resistência.

Lansini (2016) verificou a influência da temperatura de cura sobre a resistência à compressão de um determinado concreto. As curas foram realizadas em banhos térmicos com temperaturas de 60°C (usual na indústria de pré-moldados), 25°C (temperatura ambiente média) e 5°C (frequente no inverno da região sul do Brasil) sem e com uma manta térmica, utilizada apenas em temperaturas baixas, com objetivo de manter o calor de hidratação. Os resultados mostraram que o concreto curado em temperaturas baixas apresentou baixa resistência à compressão tanto nas primeiras idades quanto aos 28 dias (50% a 60% da resistência do concreto sob 25°C aos 28 dias). A manta térmica se mostrou pouco eficaz nas primeiras idades (até 7 dias), porém aos 28 dias houve um acréscimo de 10% na resistência, em relação ao concreto 5°C sem manta. Para a cura à temperatura de 60°C observou-se um grande crescimento de resistência nas primeiras idades, porém, aos 28 dias, uma resistência menor que para a temperatura intermediária (25°C), que apresentou a maior taxa de crescimento no intervalo de 7 a 28 dias. O concreto sob temperaturas mais altas tem a hidratação inicial mais rápida; portanto não há tempo para a difusão dos produtos da hidratação para posições mais distantes das partículas de cimento, formando grandes cristais que, posteriormente, não conseguem preencher os espaços intersticiais, aumentando o número de poros na matriz e reduzindo a resistência.

Melo (2017) estudou a influência do tempo e do tipo de cura em 4 dosagens distintas de concreto. As amostras foram divididas em 3 processos de cura: cura imersa em solução saturada de hidróxido de cálcio durante 28 dias, cura ao ar livre pelo método de molhagem (a cada 3 horas) durante 7 dias e durante 3 dias. As diferenças de resistência observadas foram consideráveis. Os corpos de prova de concreto tiveram, em média, uma perda de resistência à compressão de 15,8%. Os corpos de prova submetidos a cura ao ar livre por molhagem com 3 e 7 dias não apresentaram resultados com diferenças significativas entre si, mas seus valores de resistência à compressão foram cerca de 15,8% inferiores aos obtidos para as amostras com cura imersa.

Marques (2017) submeteu um concreto com relação $a/c = 0,65$ a três tipos de cura: cura ao ar, cura úmida e cura térmica. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão mostraram que o concreto curado ao ar apresentou menores resistências aos 3, 7 e 28 dias em comparação à cura úmida e à cura térmica (maiores resistências iniciais). Aos 28 dias, os CPs curados ao ar apresentaram 15% a menos de resistência que o concreto com cura úmida.

Figueiredo *et al.* (2019) analisaram a evolução da resistência à compressão de um concreto usinado, cujos corpos de prova foram submetidos a três métodos de cura: cura ao ar (abrigados em local fechado), cura submersa saturada e simulando as condições de cura em obra (molhados durante 3 dias – 1x ao dia). A partir dos resultados dos ensaios de compressão axial, verificou-se que: nos primeiros dias os concretos curados ao ar e curados nas condições de obra apresentaram maiores resistências, provavelmente devido às altas temperaturas registradas no período, acelerando o processo de hidratação do cimento. A partir dos 7 dias, observou-se um aumento considerável da taxa de ganho de resistência do concreto submerso, que atingiu a maior resistência aos 28 dias.

Assunção *et al.* (2021) moldaram amostras de concreto com CP II E 32 e as submeteram a 4 tipos de curas: imersão em água saturada de cal (ASHC), imersão em água (AG), ao ar livre (AL) e acondicionada em saco plástico (ASP). As amostras foram ensaiadas aos 7, 14 e 28 dias. As resistências à compressão obtidas para os concretos ASHC e AG foram muito semelhantes e apresentaram os melhores resultados. Aos 28 dias, a diferença foi de 1,73% com os maiores valores para as amostras na imersão saturada. Os piores resultados observados foram das amostras curadas ao ar livre, que foram cerca de 25% inferiores aos obtidos para as amostras com cura imersa. O concreto ASP apresentou, em média, resistência à compressão 8,9% inferior à do ASHC.

Estudos realizados por Mehta e Monteiro (2006) indicam que concretos curados sob condições continuamente úmidas, que permitam a adequada hidratação do cimento e o controle de

temperatura e umidade do concreto, podem apresentar, após 180 dias, resistência à compressão até três vezes superior à de concretos curados ao ar. Esses autores afirmam, ainda, que é possível ocorrer um pequeno retrocesso da resistência ao longo do tempo em peças esbeltas de concreto submetidas à secagem ao ar.

Neste trabalho, 72 amostras de dois concretos com cimento CP-III-40 RS e relação água/cimento diferentes foram submetidas a três métodos de cura e os valores de resistência à compressão medidos foram analisados em comparação com a resposta de modelos estruturais de vigas mistas de aço e concreto ensaiadas à flexão, e a correspondente resposta numérica obtida com um modelo de elementos finitos.

2. METODOLOGIA

2.1 Generalidades e descrição dos corpos de prova

Para avaliar quantitativamente a influência do tipo de cura na evolução da resistência do concreto ao longo do tempo, determinou-se a resistência à compressão de corpos de prova submetidos a três diferentes tipos de cura: ao ar, em saco plástico e cura imersa em solução saturada de hidróxido de cálcio, segundo as recomendações normativas da ABNT NBR 5738:2015, todos em ambiente interno.

Foram moldados 72 corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10x20 cm, a partir de dois concretos produzidos no Laboratório de Estruturas da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Esses concretos foram empregados na fabricação de 6 exemplares de vigas mistas que seriam ensaiadas à flexão com vistas à validação de um modelo numérico de elementos finitos. Os ensaios ocorreram entre os meses de setembro e dezembro de 2020.

Os concretos produzidos tiveram a seguinte composição: cimento Portland CP-III-40 RS, areia natural quartzosa, brita gnáissica 3/4", água, sílica ativa e aditivos superplastificante (aditivo 01) e retardador de pega (aditivo 02). As propriedades físicas dos materiais estão apresentadas na Tabela 2. A determinação da massa unitária dos agregados foi realizada de acordo com a ABNT NBR NM 45:2006. A massa específica e a absorção dos agregados miúdos foram definidas segundo as especificações da ABNT NBR NM 52:2009 e da ABNT NBR NM 30:2001 e a massa específica dos agregados graúdos, segundo a ABNT NBR NM 53:2009. A determinação da massa específica do cimento Portland e da sílica ativa foi realizada segundo a metodologia prescrita pela ABNT NBR 16605:2017.

Tabela 2 – Propriedades físicas dos materiais.

Material	Descrição / procedência	Massa específica (kg/m ³)	Absorção (%)	Massa unitária (kg/m ³)	D_{max} (mm)	Módulo finura	Material pulverulento (%)
Cimento	CP III 40 RS	3000	-	-	-	-	-
Sílica	Sílica ativa	2200	-	-	-	-	-
Areia	Natural Quartzosa	2610	0,9	1433	4,8	2,74	0,6
Brita	Gnáissica	2800	0,4	1440	19,0	6,59	1,9

Foi realizada a análise granulométrica dos agregados miúdos e graúdos, utilizados na produção do concreto, segundo as especificações da ABNT NBR 7211:2019 e de acordo com a metodologia estabelecida pela ABNT NBR NM 248:2003.

Os dois concretos produzidos diferiram apenas pela relação água/cimento (a/c). Para um dos concretos, denominado concreto A, adotou-se uma relação $a/c = 0,55$. Para o outro concreto, foi

utilizada uma relação $a/c = 0,60$. Os dois concretos foram dosados para $f_{ck} = 40$ MPa e um abatimento do tronco de cone de 18 ± 3 cm (ver Tabela 3).

Tabela 3 – Traço, relação água/cimento e *Slump test* dos concretos A e B (frações em massa).

Traço	CP III-40 RS	Sílica	Areia	Brita	Água	Aditivo 01 (%)	Aditivo 02 (%)	Fator a/c	Slump Test
A	1,0	0,09	2,66	3,19	0,49	0,43	0,43	0,55	19
B	1,0	0,09	3,03	3,48	0,50	0,43	0,43	0,60	21

A determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone foi realizada conforme as diretrizes da ABNT NBR NM 67:1998. A moldagem, o adensamento, a identificação e a retificação dos corpos de prova foram realizadas seguindo os procedimentos especificados pela ABNT NBR 5738:2015.

Após a desforma das amostras, com 24 horas decorridas após a concretagem, os corpos de prova foram armazenados de acordo com as três metodologias de curas estudadas. Observa-se, na Figura 1, a maneira como os corpos de prova foram moldados e armazenados.

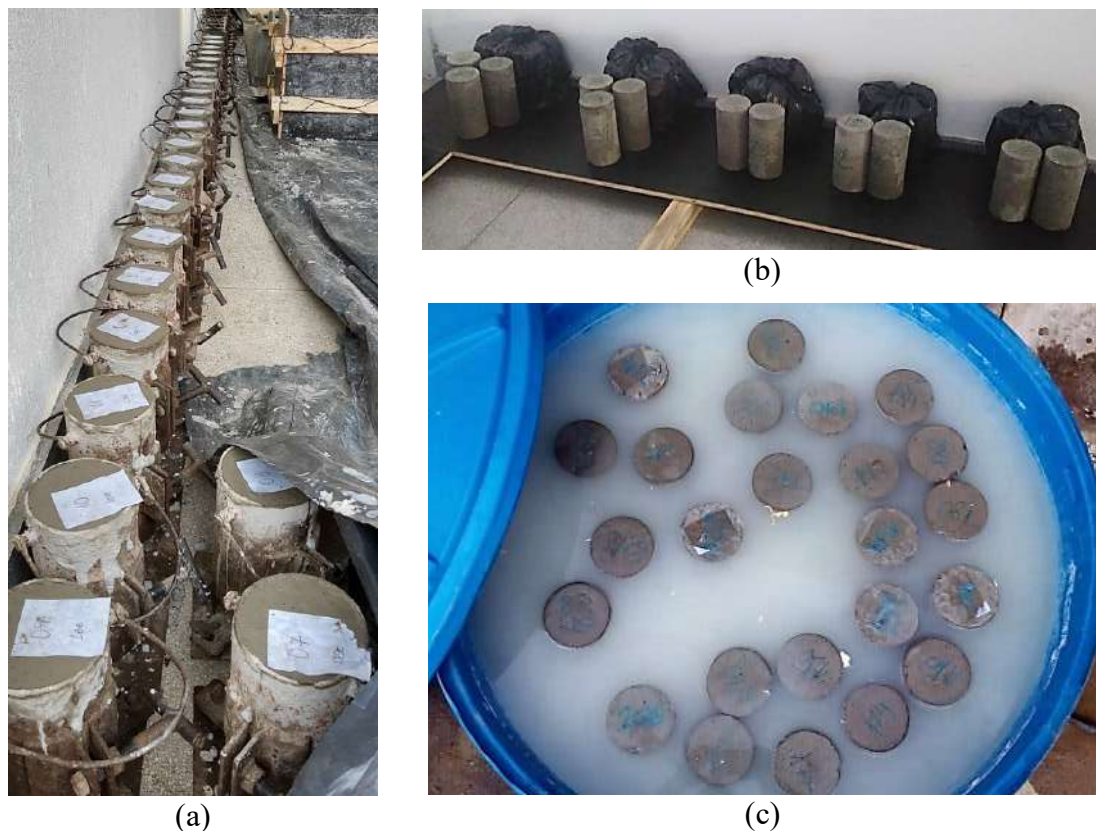


Figura 1 – Amostragem do concreto. (a) Moldagem dos corpos de prova. (b) Cura em saco plástico e cura ao ar, em ambiente interno. (c) Cura imersa em solução saturada de hidróxido de cálcio.

2.2 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência a compressão foram realizados segundo a ABNT NBR 5739:2018. As amostras foram ensaiadas aos 3, 7, 14, 28 e 63 dias. Observa-se, na Figura 2 (b), os exemplares dos

corpos de prova após a ruptura, sendo o corpo de prova superior curado ao ar e o inferior curado imerso em solução saturada de hidróxido de cálcio.



Figura 2 – (a) máquina universal de ensaios;
(b) exemplares dos corpos de prova de concreto após a ruptura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 estão apresentados os dados dos corpos de prova, bem como os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial das amostras dos concretos A e B, respectivamente. As siglas CI, SP e AR referem-se aos procedimentos de cura imersa, cura em saco plástico e cura ao ar, respectivamente.

A partir dos dados apresentados na Tabela 4, foram calculadas as resistências médias à compressão f_{cm} , agrupando os resultados obtidos para as amostras de mesmas idade, relação a/c e tipo de cura. Esses valores estão apresentados nos gráficos da Figura 3 e da Figura 4.

Tabela 4 – Dados dos corpos de prova.

Concreto A ($a/c = 0,55$)					Concreto B ($a/c = 0,60$)				
ID	Tipo de cura	Idade (dias)	Massa específica (kg/m^3)	f_c (MPa)	ID	Tipo de cura	Idade (dias)	Massa específica (kg/m^3)	f_c (MPa)
1	CI	3	2344,6	14,23	37	CI	3	2258,5	11,37
2	CI	7	2366,2	27,88	38	CI	7	2279,9	21,56
3	CI	14	2369,1	36,87	39	CI	14	2284,8	30,08
4	CI	28	2375,5	42,35	40	CI	28	2278,2	36,11
5	SP	3	2333,3	16,26	41	SP	3	2292,6	11,59
6	SP	7	2356,7	26,11	42	SP	7	2281,1	20,74
7	SP	14	2345,7	34,73	43	SP	14	2274,5	27,52
8	SP	28	2372,3	38,81	44	SP	28	2292,5	31,92
9	AR	3	2324,3	14,48	45	AR	3	2295,1	9,90
10	AR	7	2348,7	24,82	46	AR	7	2268,4	17,09
11	AR	14	2318,0	29,55	47	AR	14	2281,0	24,68
12	AR	28	2339,8	33,29	48	AR	28	2313,8	28,48
13	CI	3	2334,4	12,05	49	CI	3	2231,1	9,54
14	CI	7	2357,2	23,78	50	CI	7	2245,8	18,79
15	CI	14	2341,6	36,95	51	CI	14	2282,6	27,37
16	CI	28	2355,5	41,53	52	CI	28	2305,2	32,20
17	SP	3	2339,5	15,24	53	SP	3	2269,9	9,65
18	SP	7	2352,3	27,55	54	SP	7	2326,2	20,78
19	SP	14	2315,5	32,50	55	SP	14	2302,9	24,94
20	SP	28	2318,3	34,69	56	SP	28	2279,1	32,07
21	AR	3	2266,3	12,66	57	AR	3	2288,9	9,40
22	AR	7	2255,4	21,39	58	AR	7	2254,8	17,58
23	AR	14	2246,4	24,60	59	AR	14	2256,1	22,85
24	AR	28	2262,0	27,83	60	AR	28	2287,5	26,84
25	CI	3	2333,9	16,34	61	CI	3	2348,6	13,35
26	CI	7	2343,8	30,64	62	CI	7	2370,8	26,77
27	CI	63	2343,6	50,83	63	CI	63	2273,4	42,98
28	CI	63	2351,8	52,37	64	CI	63	2301,8	45,97
29	SP	3	2323,7	16,55	65	SP	3	2332,3	14,50
30	SP	7	2339,0	30,38	66	SP	7	2346,6	26,91
31	SP	63	2323,0	50,50	67	SP	63	2333,4	45,02
32	SP	63	2375,6	48,20	68	SP	63	2277,2	38,69
33	AR	3	2303,2	13,70	69	AR	3	2234,9	12,92
34	AR	7	2304,8	26,95	70	AR	7	2250,5	21,24
35	AR	63	2314,9	41,84	71	AR	63	2301,0	29,15
36	AR	63	2309,6	41,75	72	AR	63	2381,3	29,17

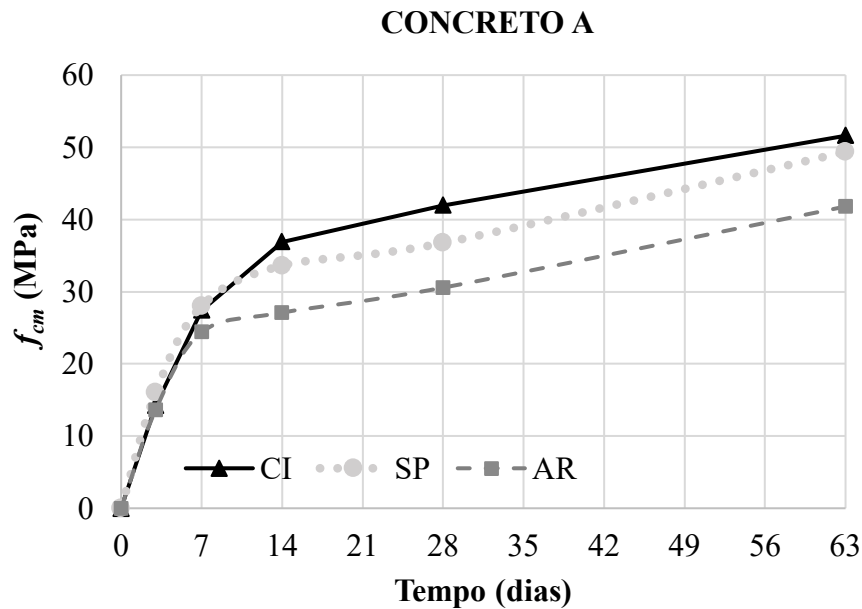


Figura 3 - Resistência média à compressão do concreto A com a idade, por tipo de cura.

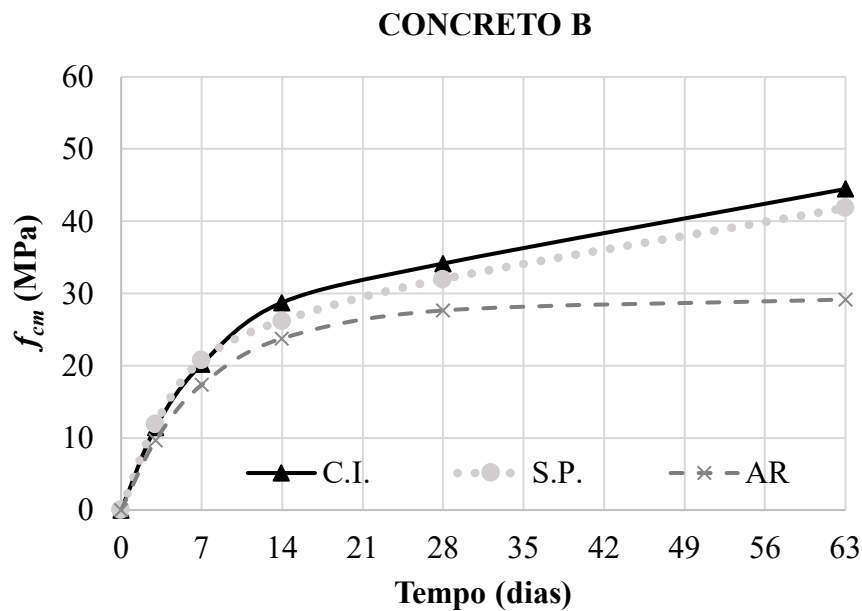


Figura 4 - Resistência média à compressão do concreto B com a idade, por tipo de cura.

As diferenças percentuais entre o procedimento de cura imersa, normatizado pela ABNT NBR 5738:2015, e as curas em saco plástico e ao ar, para cada idade e dosagem do concreto, estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Diferenças percentuais entre a cura imersa e as demais curas estudadas.

Concreto A ($a/c = 0,55$)			Concreto B ($a/c = 0,60$)		
Idade (dias)	$\frac{SP}{CI}$	$\frac{AR}{CI}$	Idade (dias)	$\frac{SP}{CI}$	$\frac{AR}{CI}$
3	13%	-4%	3	4%	-16%
7	2%	-11%	7	3%	-14%
14	-9%	-27%	14	-9%	-17%
28	-12%	-27%	28	-6%	-19%
63	-4%	-19%	63	-6%	-34%

Comparando-se os resultados apresentados nas Figuras 5 e 6, percebe-se, como previsto pela Curva de Abrams, que os corpos de prova produzidos a partir do traço A, com relação $a/c = 0,55$, apresentaram maiores resistências à compressão, quando comparados às amostras do concreto B, com $a/c = 0,60$. Verificou-se que, aos 28 dias, o concreto A atingiu 23%, 15% e 11% a mais de resistência em relação ao concreto B, para cura imersa, cura em saco plástico e cura ao ar, respectivamente.

Os resultados demonstram que as amostras submetidas à cura imersa em solução saturada de hidróxido de cálcio apresentaram as maiores resistências aos 28 dias, seguidas pelas que foram curadas em saco plástico e cura ao ar, independentemente da relação água/cimento utilizada nas dosagens. No caso do concreto A, as amostras curadas em saco plástico e ao ar apresentaram resistência 12% e 27% a menos do que as que sofreram cura imersa. Para o concreto B, esses percentuais foram de 6% e 19%, respectivamente.

Ao analisar o comportamento da curva de resistência do concreto B submetido a cura ao ar (Figura 4), nota-se um arrefecimento da taxa de ganho de resistência entre os 28 e 63 dias, diferente do observado nas demais curvas. Aos 28 dias, a resistência média do concreto foi de 27,66 MPa e, até aos 63 dias, evoluiu para somente 29,16 MPa.

Ao analisar as resistências aos 3 e 7 dias dos concretos de ambas dosagens, percebe-se que as maiores resistências foram obtidas para os corpos de prova submetidos à cura em saco plástico. Além disso, nessas idades, observam-se as menores diferenças percentuais entre as resistências do concreto curado ao ar e imerso. Em contrapartida, a partir dos 14 dias, as maiores resistências médias foram observadas nos corpos de prova submetidos a cura imersa.

Observando a Tabela 5, nota-se que as diferenças percentuais entre as resistências dos corpos de prova submetidos a cura ao ar e à cura imersa, a partir dos 14 dias, foram significativamente elevadas. No concreto A, essa diferença alcançou 27% aos 14 e 28 dias e, no concreto B, a diferença percentual foi de 34% aos 63 dias. Já as amostras curadas em saco plástico, por sua vez, apresentaram pouca redução de resistência nas idades avançadas, se comparadas com aquelas submetidas à cura imersa. Para as amostras curadas em saco plástico, a maior diferença percentual em relação à cura imersa foi de 13%, aos 3 dias, para o concreto A, e de 9% aos 14 dias, para o concreto B.

Para avaliar o desempenho dos ensaios de resistência à compressão, realizou-se uma análise estatística, conforme o método do Anexo B da ABNT NBR 5739:2018. Os resultados mostram que a maioria dos grupos apresentou desempenho positivo (Tabela 6). Ressalta-se que os grupos avaliados como “deficiente” devem ser tratados com cuidado.

Tabela 6 – Análise estatística dos resultados – ABNT NBR 5739:2018 (Anexo B).

ID	Idade (dias)	CI			SP			AR		
		f_{cm} (MPa)	cv_e	Avaliação	f_{cm} (MPa)	cv_e	Avaliação	f_{cm} (MPa)	cv_e	Avaliação
Concreto A	3	14,21	5,9%	Razoável	16,02	1,6%	Excelente	13,61	2,6%	Excelente
	7	27,43	4,9%	Bom	28,01	3,0%	Excelente	24,39	4,5%	Bom
	14	36,91	0,1%	Excelente	33,62	2,9%	Excelente	27,08	8,0%	Deficiente
	28	41,94	0,9%	Excelente	36,75	5,0%	Bom	30,56	7,9%	Deficiente
	63	51,60	1,3%	Excelente	49,35	2,1%	Excelente	41,80	0,1%	Excelente
Concreto B	3	11,42	6,6%	Deficiente	11,91	7,8%	Deficiente	10,74	2,3%	Excelente
	7	22,37	5,9%	Razoável	22,81	0,1%	Excelente	18,64	1,3%	Excelente
	14	28,73	4,0%	Muito bom	26,23	4,4%	Bom	23,77	3,4%	Muito bom
	28	34,16	4,9%	Bom	32,00	0,2%	Excelente	27,66	2,6%	Excelente
	63	44,48	3,0%	Excelente	41,86	6,7%	Deficiente	29,16	0,0%	Excelente

Para efeito de análise, tomou-se o resultado experimental de carga última obtida de um ensaio de flexão com uma viga de 5 m de comprimento, confeccionada com um dos concretos analisados. Na data do ensaio, o concreto estava com 33 dias de idade e a viga atingiu a carga última $P_{max} = 722,9$ kN. Foram realizadas três simulações numéricas da viga referida, sendo que em cada uma o modelo constitutivo do concreto foi definido com o f_{cm} obtido para cada método de cura considerado, de acordo com a EN 1992-1-1 (2010). Os resultados estão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Avaliação experimental da influência do tipo de cura na resistência à compressão do concreto numa estrutura real.

Tipo de cura	f_c 33 dias (MPa)	P_{max_num} (kN)	$\frac{P_{max_num}}{P_{max,CI}} - 1$	$\frac{f_c}{f_{c,CI}} - 1$	$\frac{P_{max_num}}{P_{max,exp}} - 1$
AR	29,7	594,0	-8,7%	-18,9%	-18%
SP	34,5	637,6	-2,0%	-5,7%	-12%
CI	36,6	650,3	0%	0%	-10%

$P_{max,exp} = 722,9$ kN (carga máxima atingida no ensaio experimental)

Observa-se, da Tabela 7, que a simulação numérica estimou a carga última com melhor aproximação do ensaio experimental com o f_c medido das amostras com cura imersa. A pior aproximação numérica se deu para o f_c das amostras com cura ao ar. E a simulação com o f_c das amostras curadas em saco plástico chegou num resultado bom, próximo do obtido com o f_c das amostras com cura imersa. A mesma tendência foi observada para outras 5 vigas ensaiadas à flexão no mesmo programa experimental (Petrauski, 2021).

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho avaliou-se a influência de três diferentes métodos de cura na evolução da resistência à compressão do concreto: cura ao ar, cura em saco plástico e cura imersa. Um total de 72 amostras

foram analisadas. Um dos objetivos era avaliar a prática comum em laboratórios de pesquisa de deixar amostras de concreto curarem ao ar, nas mesmas condições dos espécimes para experimentação.

Os resultados obtidos revelaram que a taxa de crescimento da resistência à compressão é consideravelmente menor para concretos curados ao ar, em relação à observada para cura imersa ou cura em saco plástico, confirmando as observações de Ferreira Junior (2003), Bardella (2005), Mehta e Monteiro (2006), Silva *et al.* (2011), Szeremeta e Silva (2013), Ribeiro *et al.* (2014), Marques (2017), Melo (2017), Figueiredo *et al.* (2019) e Assunção *et al.* (2021).

O f_{cm} medido aos 28 dias para amostras curadas ao ar foi de 19% a 27% inferior ao de amostras que sofreram cura imersa. O f_{cm} medido aos 28 dias para amostras curadas em saco plástico ao ar foi de 6% a 12% inferior ao de amostras que sofreram cura imersa.

Uma comparação de resultados numéricos com resultados experimentais de ensaios de flexão com vigas mistas com vãos de 4 a 6 m demonstrou que o resultado da simulação numérica se aproxima mais do resultado experimental quando o modelo constitutivo do concreto é definido com o f_c oriundo do concreto submetido a cura imersa.

As análises demonstraram que a cura em saco plástico conduz a uma evolução da resistência à compressão do concreto um pouco inferior mas muito próxima da observada quando o concreto é submetido a cura imersa, confirmando as observações de Assunção *et al.* (2021), de modo que, na falta de condições para realização de uma cura imersa, este método de cura é uma alternativa aceitável.

Os resultados também evidenciaram que a cura ao ar não conduz a bons resultados em relação ao concreto na estrutura real, mesmo em ambientes internos de laboratórios, indicando que as melhores estimativas da resistência do concreto são obtidas quando se considera a resistência à compressão medida de amostras curadas em ambiente saturado de água.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, T. C. C. S. de. Avaliação do tipo de cura nas propriedades de concretos de pós reativos. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Versão Corrigida: 2016: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 9p.

_____. NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 9p.

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 9p.

_____. NBR 7211: Versão Corrigida: 2019: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 9 p.

_____. NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 4 p.

_____. NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 3 p

_____. NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 8 p.

_____. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 6 p.

_____. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 8 p.

_____. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8 p.

_____. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

ASSUNÇÃO, W. R. de; ALMEIDA, G. M. de; GOMES, L. G. Análise Estatística da Influência do Tipo de Cura na Resistência Mecânica do Concreto de Cimento Portland. RCT - Revista de Ciência e Tecnologia, [S.l.], v. 7, 2021.

BARDELLA, P. S. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com os cimentos Portland de alta resistência inicial e de alto-forno aditivados com sílica ativa curados termicamente. 2005. 222 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Edificações, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

EN 1992-1-1:2010. Design of concrete structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. European Committee for Standardization. 2010.

FERREIRA JUNIOR, E. L. Avaliação de propriedades de concretos de cimento Portland de alto-forno e cimento Portland de alta resistência inicial submetidos a diferentes condições de cura. 2003. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FIGUEIREDO, C. DO M.; ARAUJO, M. A.; BARBOZA, L. DA S.; SARTORTI, A. L. Análise da influência do método de aplicação da cura na resistência do concreto. Revista Tecnológica, v. 27, n. 1, p. 71-81, 2019.

HELENE, P. R. L. La Agresividad del Medio y Durabilidad del Hormigón. Hormigón, AATH, n. 10, p. 25-35, 1983.

LANSINI, B. Influência da temperatura de cura na resistência à compressão do concreto. 2016. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MARQUES, M. B. de O. Cura seca, cura úmida, cura térmica: avaliação da eficiência na resistência à compressão do concreto. 2017. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties and materials. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006. 684 p.

MELO, F. G. de S. Análise da influência do tempo de cura na resistência à compressão do concreto. 2017. 60 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Desenvolvimento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sergipe (Campus Aracajú), Aracajú, 2017.

PETRAUSKI, M. Avaliação numérico-experimental do comportamento de vigas mistas pré-moldadas tipo crestbeam sujeitas a flexão simples. 2021. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

RIBEIRO, G. D.; GOMES, M. V.; VALIN JR, M. O. Influência da cura do concreto com e sem a utilização de lona plástica na resistência mecânica e absorção de água. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 56, 2014, Natal - RN. Anais [...]. São Paulo: Ibracon, 2014.

SILVA, S. da; BIAZETTO, B. R.; CHIES, J. A.; SILVA, L. C. S. da. Análise da influência de diferentes processos de cura na resistência à compressão. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53, 2011, Florianópolis - SC. Anais [...]. São Paulo: Ibracon, 2011.

SILVA, E. S. da; MIRANDA, P. S. T.; SILVA, S. A. da; RODRIGUES, H. A. C.; ALCÂNTARA, P. B., BEZERRA, A. J. V. Influência da cura na resistência do concreto à compressão. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53, 2011, Florianópolis - SC. Anais [...]. São Paulo: Ibracon, 2011.

SZEREMETA, A.; Silva, N. L. da. Estudo da variação na resistência a compressão de concretos convencionais devido aos diferentes tipos de cura. 2013. 57 f. TCC (Graduação) - Curso Superior de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

Análise de Não Conformidades em Edifícios Novos

V.S.A. Pasin¹, A. Lorenzi^{2*}, L.S. Lorenzi²

*Autor de Contacto: alexandre.lorenzi@ufrgs.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

² Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Instituto de Desempenho da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

A construção civil, comparada às outras indústrias, apresenta um elevado índice de não conformidades, que podem acarretar na redução da vida útil, do valor da edificação e da satisfação dos clientes. A garantia, na indústria da construção civil, é um item questionado quanto a sua aplicabilidade, por tratar de bens duráveis com longa vida útil e que, devido a um enorme número de variáveis que o compõem, são produtos únicos. As construtoras possuem um setor específico de Assistência Técnica para atendimento das obras prontas, ou seja, no período pós-venda que analisa a não conformidade no local. O objetivo deste trabalho é um estudo de caso de levantamento e categorização das não conformidades o posterior estudo das possíveis causas.

Palabras clave: Assistência Técnica; Custos; Manifestações Patológicas.

Citar como: V.S.A. Pasin, A. Lorenzi, L.S. Lorenzi (2021), “Análise de não conformidades em edifícios novos”, CONPAT 2021, XVI, pp. xxx-xxx, DOI: <http://dx.doi.org/xxxxxxxxxx>

RESUMEN

La construcción civil, en comparación con otras industrias, tiene un alto índice de no conformidades. Este hecho puede conducir a una reducción de la vida útil, el valor de la edificación

y la satisfacción del cliente. La garantía, en la industria de la construcción civil, es un rubro cuestionado en cuanto a su aplicabilidad, ya que se trata de bienes duraderos con una larga vida útil y que, debido a la gran cantidad de variables que la integran, son productos únicos. Las empresas constructoras cuentan con un sector de Asistencia Técnica específico para atender las obras terminadas, es decir, en el período de postventa, que analiza los incumplimientos en el sitio. El objetivo de este trabajo es un estudio de caso de relevamiento y categorización de no conformidades y el posterior estudio de las posibles.

Palabras clave: Asistencia técnica; Costos; Manifestaciones patológicas.

ABSTRACT

Civil construction, compared to other industries, has a high rate of non-conformities. This fact can lead to a reduction in the useful life, building value and customer satisfaction. Warranty, in the civil construction industry, is questioned as to its applicability, as it deals with durable goods with a long useful life and which, due to a huge number of variables that make up, are unique products. The construction companies have a specific Technical Assistance Sector to attend to the finished works, that is, in the post-sale period, which analyzes non-compliance at the site. The objective of this work is a case study of survey and categorization of non-conformities for further study of possible ones.

Keywords: Technical Assistance; Costs; Pathological Manifestations.

1. INTRODUÇÃO

A ANBT NBR 15575 (ABNT, 2013), ao estabelecer critérios e parâmetros para que os requisitos dos usuários sejam atendidos, constituiu uma grande inovação tecnológica para o setor da construção civil, auxiliando na organização do processo construtivo imobiliário, por meio da definição de competências e funções para projetistas, incorporadores, fornecedores de produto e usuários, contribuindo com a ordenação do mercado de consumo no âmbito da construção civil e também cooperando com o meio jurídico, (MOREIRA, 2019).

A visão sistêmica compreende os edifícios como complexos (sistemas) funcionais maiores, constituídos de vários subsistemas componíveis de formas diversas, ou seja, pode ser utilizado como critério de classificação das não conformidades. As falhas construtivas podem surgir pelos seguintes fatores: a) inobservância a normas técnicas; b) inobservância à legislação; c) falhas intrínsecas, de qualidade do trabalho, decorrentes de dimensionamento ou especificações inadequadas ou equivocadas; d) incompatibilidade de materiais; e) má utilização ou manutenção inadequada, (DEL MAR, 2015)

A garantia, na indústria da construção civil, é um item questionado quanto a sua aplicabilidade, por tratar de bens duráveis com longa vida útil e que, devido a um enorme número de variáveis que o compõem, são produtos únicos. A garantia consiste num mecanismo de defesa do usuário das edificações e é baseada no Código Civil e Código de Defesa do Consumidor, estando presente também na Norma de Desempenho (NBR 15575:2013). Destaca-se que o assunto é tão importante que a Associação Brasileira de Normas Técnicas criou a Comissão de Estudo de Garantias das Edificações, no dia 26 de fevereiro de 2021, e tem como âmbito de atuação a normalização no campo de garantias das edificações, compreendendo a aplicação das condições de garantias a serem

atendidas nas fases de concepção, construção, entrega, uso, operação e manutenção das edificações, no que concerne à requisitos, diretrizes, procedimentos e generalidades, (CBIC, 2021).

No Brasil, com exceção de alguns levantamentos preliminares efetuados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) em conjuntos habitacionais construídos no interior, não se tem notícia da compilação de dados sobre as origens dos problemas patológicos nos edifícios e sobre as suas formas mais típicas de manifestação. Apesar de tratar de manifestações patológicas, pode-se estender esta colocação para as não conformidades em geral, Thomaz *apud* Del Mar (2015). Hoje, as construtoras possuem um setor específico de Assistência Técnica para atendimento das obras prontas, ou seja, no período pós-venda. Após um usuário informar à construtora que há uma não conformidade, é designado um técnico para verificação da não conformidade no local. Deste modo, cabe ao responsável o diagnóstico da causa da não conformidade, se está abrangida pela garantia, se está ou não dentro do prazo para aplicação da garantia e definição da solução a ser adotada.

O objeto deste trabalho é um estudo de caso de levantamento e categorização das não conformidades o posterior estudo das possíveis causas. O trabalho possui foco nos dados de assistência técnica da empresa que construí os edifícios em estudo e será utilizada documentação disponibilizada pela empresa. O presente trabalho tem como objetivo principal levantar e categorizar as não conformidades em edifícios novos visando verificar quais sistemas ou subsistemas apresentam o maior número de ocorrências de não conformidades e analisar quais são suas principais causas. O levantamento e análise dos dados fornecerão informações que acarretam aperfeiçoamento de processos, melhoria de projetos e redução de custos em futuras construções.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Projetar é também levar em conta alguns outros aspectos tais como: custo de manutenção e durabilidade. Ambos diretamente relacionados com o maior ou menor conhecimento que o projetista tem das propriedades tecnológicas dos materiais de construção a serem empregados (THOMAZ, 2001). A qualidade na construção civil principalmente em obras residenciais está apoiada em alguns fundamentos como desempenho, confiabilidade, conformidade, durabilidade e assistência técnica do produto final. Quando se consegue que estes elementos se inter-relacionem, com certeza se garantirá um produto conforme (a unidade residencial) e o cliente satisfeito. Para que isto aconteça é necessário um estudo aprofundado sobre as não-conformidades, como elas ocorrem, como evitar seu surgimento, pois essas patologias envolvem custos diretos e indiretos nem sempre previstos, onerando a empresa. O importante é não deixar que os desvios aconteçam, e se acontecerem, serem identificados e corrigidos o mais breve possível, (ADAMI, 2008).

O desempenho de uma edificação e dos sistemas construtivos que a compõem consiste no comportamento que apresentam diante das condições de uso a que estarão sujeitos ao longo de toda a vida útil e das condições de exposição, como as climáticas da região, sendo chuva, umidade, temperaturas e variação térmica, ventos, descargas atmosféricas e outras, a saber, como vibrações causadas pela proximidade de uma via férrea, exposição aos ruídos do tráfego normal nas vias, (COVELO SILVA e FROLINI, 2019).

A gestão da qualidade consiste no conjunto de atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização em relação à qualidade dos serviços prestados ou dos seus produtos, englobando o planejamento, o controle, a garantia e a melhoria da qualidade. Esses quatro conceitos não são partes de uma empresa, mas pertencem à função qualidade. A melhoria da qualidade ocorre também nas outras três atividades, portanto, há a melhoria da qualidade no planejamento, controle e garantia (MIGUEL, 2005). A figura 1 demonstra a inter-relação entre o conceito de qualidade, gestão da qualidade e os elementos que a compõem.

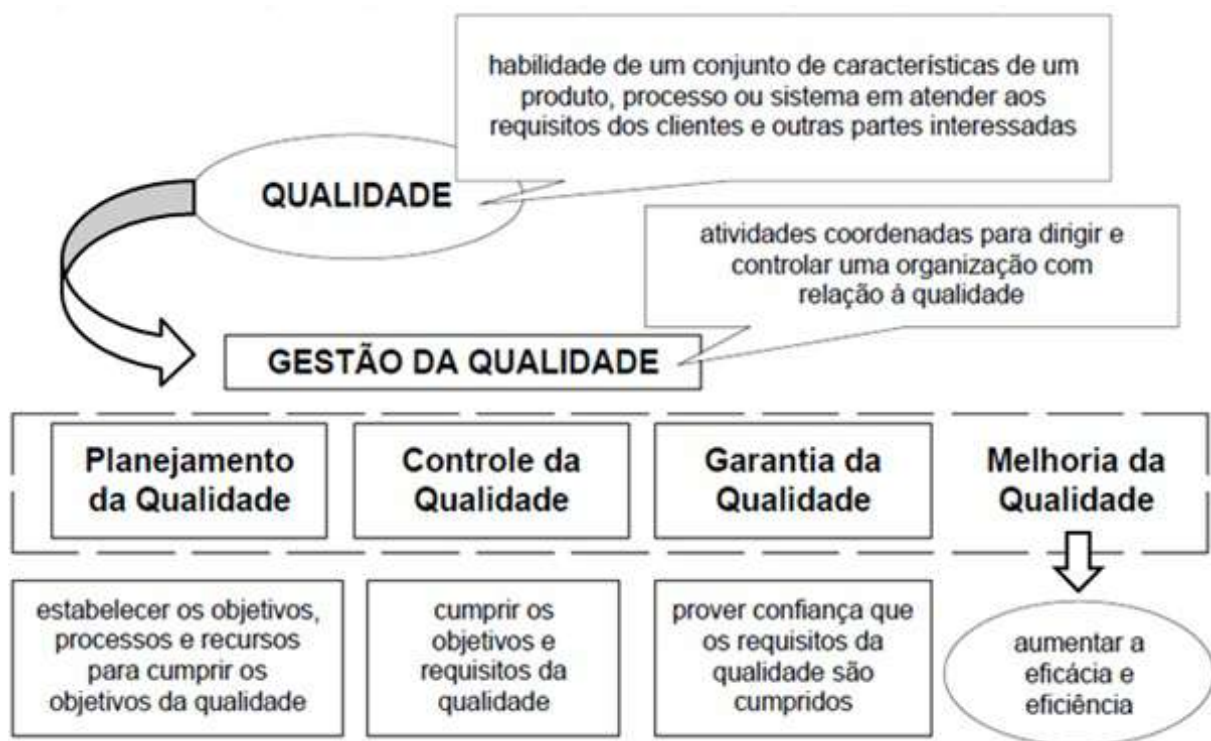


Figura 1: Inter-relação entre o conceito de qualidade, Gestão da Qualidade e elementos que a compõem, Miguel (2005)

O Gerenciamento da Qualidade Total atinge todas as áreas funcionais de uma organização em cada nível operacional, visando à melhoria contínua da produtividade em cada nível de operação. As melhorias são voltadas para satisfazer custo, qualidade, visão de mercado, planejamento e crescimento da empresa, combinando técnicas fundamentais de administração, inovação e técnicas especiais para melhoria contínua de processos. Por sua vez, devem-se utilizar todos os recursos financeiros e humanos disponíveis, demandando comprometimento, disciplina e um esforço crescente (BROCKA, BROCKA, 1994).

Segundo Del Mar (2015), a garantia contratual é complementar à garantia legal, ampliando e concedendo maiores condições de garantia ao produto ou serviço, não apenas no prazo, mas podendo ser condicionadas a determinadas hipóteses, sendo total ou parcial. Essa garantia não pode excluir ou diminuir nada que é obrigatório e assegurado pela lei. É concedida ao consumidor pelo fornecedor quando há vontade entre as partes, possuindo caráter voluntário, deixando ao critério do fornecedor ou àquilo que se estabelecer em cláusula ou contrato específico.

Os custos gerados pela ausência da qualidade é também gerencial, pois um sistema eficiente deve planejar, controlar, possui indicadores e verifica a eficácia de todos os procedimentos e setores envolvidos. A qualidade na construção civil principalmente em obras residenciais está apoiada em alguns fundamentos como desempenho, confiabilidade, conformidade, durabilidade e assistência técnica do produto final. Quando se consegue que estes elementos se inter-relacionem, com certeza se garantirá um produto conforme (a unidade residencial) e o cliente satisfeito. Para que isto aconteça é necessário um estudo aprofundado sobre as não-conformidades, como elas ocorrem, como evitar seu surgimento, pois essas patologias envolvem custos diretos e indiretos nem sempre previstos, onerando a empresa. O importante é não deixar que os desvios aconteçam, e se acontecerem, serem identificados e corrigidos o mais breve possível, (ADAMI, 2008).

A ABNT NBR 15575-1:2013 fornece a orientação para serem estabelecidos os prazos mínimos de garantia para as edificações para o qual elementos, componentes e sistemas atendam condições de funcionalidade.

3. METODOLOGIA

Todas as não conformidades presentes na construção civil tem uma origem. O processo de atendimento para serviços de assistência técnica inicia-se com a solicitação do proprietário, no caso de unidades privativas, ou do síndico, no caso de áreas condominiais. Esta é considerada a data de início da não conformidade, pois é o momento no qual fica registrado para o construtor.

Por sua vez, após a abertura da solicitação, é realizada uma análise inicial, onde é verificado que se trata de uma não conformidade ou não, classificando em vício ou defeito construtivo e, logo a seguir, é agendada a vistoria. Durante a atividade de vistoria, visita-se o local e faz-se uma verificação da não conformidade, determinando em qual sistema construtivo está ocorrendo e as quais elementos ou componentes pertencem. Assim, pode-se determinar se é de responsabilidade da construtora, ou trata-se de responsabilidade do proprietário, seja por esgotamento do prazo de garantia ou culpa exclusiva do usuário. Se for responsabilidade da construtora, procede-se com o reparo, caso contrário, informa-se o proprietário ou síndico e encerra-se a solicitação.

Na atividade de reparo, deve-se definir o procedimento de correção que será empregado. Programa-se a realização do serviço, procedendo com a compra de materiais e alocando a mão de obra para execução.

Quando o reparo está finalizado, é realizada a entrega para a pessoa que fez a solicitação. Se o serviço é aprovado, o proprietário ou síndico assina o recebimento do reparo e a solicitação é encerrada e arquivada pela empresa. Se o serviço não for aprovado, tomam-se ações corretivas de modo a que se aceite os serviços e seja assinado o termo de aceitação.

4. LEVANTAMENTO DE DADOS

O presente trabalho foi desenvolvido com base no levantamento das ocorrências geradas pelos usuários em dois empreendimentos localizados na cidade de Porto Alegre, após a sua entrega pela construtora. Esta etapa destina-se à apresentação desse levantamento e sua análise com o objetivo de encontrar quais são as não conformidades mais relevantes a fim de estudar suas possíveis causas.

4.1 Ocorrências Totais

Coletaram-se os dados no registro presente no sistema do setor de Assistência Técnica da construtora para os dois empreendimentos em estudo para o período de 1 (um) ano. Ao todo, foram analisadas 471 (quatrocentas e setenta e uma) ocorrências entre 1º de Agosto de 2017 e 31 de Julho de 2018. Primeiramente, calculou-se a média de ocorrências em relação à área de cada empreendimento. Este parâmetro forneceu um parâmetro comparativo preliminar entre os locais estudados, pois resulta uma grandeza qualitativa, não ficando somente com a grandeza quantitativa de ocorrências. A tabela 1 mostra a média citada acima para cada empreendimento.

Tabela 1. Ocorrências – média por área

	Empreendimento A	Empreendimento B
Período	1 ano	1 ano
Ocorrências	352	119
Área do empreendimento (m ²)	17.898,31	16.446,61
Média (Ocorrências/1000 m ²)	19,67	7,24

Verificou-se que, no empreendimento A, há uma taxa de 19,67 ocorrências por mil metros quadrados de área total. Já, no empreendimento B, a taxa é menor, sendo de 7,24 ocorrências por mil metros quadrados de área total. Embora os empreendimentos possuam área total semelhante e serem estudados no mesmo período, há uma diferença relevante no número de ocorrências. Esta diferença, porém, não se pode atribuir pelos empreendimentos possuírem finalidades diferentes, pois, para chegar à conclusão que as diferentes finalidades dos empreendimentos influem no número de ocorrências, deve-se realizar uma análise com uma amostra maior de empreendimentos. Realizou-se a avaliação de cada ocorrência quanto a sua procedência. Isto acontece porque a empresa, por procedimento, registra todas as solicitações, deixando o sistema alimentado de informações sobre os empreendimentos e usuários. Utilizando a descrição do solicitante e o relato do técnico que há em cada ocorrência, foi realizada a divisão em dois grandes grupos: conforme e não conforme. As ocorrências não conformes são aquelas onde há uma não conformidade de fato. Já as ocorrências conforme são separadas nos seguintes tipos:

- a) Em conformidade: após verificação no local, não há problemas, considerando como improcedente a solicitação;
- b) Solicitação de retorno: a ocorrência já está aberta, porém, por falta de comunicação, o solicitante pede informações sobre o andamento dos serviços;
- c) Dúvida técnica: o solicitante pede informações sobre o imóvel, quanto a projetos, execução, garantias, entre outros.

Observa-se também que a proporção de ocorrências nas quais existem não conformidades em relação às totais é praticamente igual nos dois empreendimentos (Tabela 2).

Tabela 2. Proporção de ocorrências não conformes em relação às totais para cada empreendimento

	Empreendimento A	Empreendimento B
Ocorrências Totais	352	119
Ocorrências Não Conformes	265	91
Proporção (Não Conformes/Totais)	75%	76%

4.2 Categorias da Ocorrências

Após a separação dos grupos de ocorrências em conforme e não conformes, iniciou-se a análise das não conformidades. Separou-se cada item dentro de seis diferentes sistemas ou subsistemas construtivos, são eles:

- a) Sistemas de Instalações;
- b) Subsistemas de Esquadrias;
- c) Subsistemas de Revestimentos;

- d) Subsistemas de Acabamentos;
- e) Subsistemas de Paredes;
- f) Subsistemas de Tratamentos.

A classificação em categorias foi feita levando-se em conta a solicitação e descrição do técnico, além de levar em conta a classificação colocada no sistema da construtora. Logo, montou-se um diagrama de Pareto para cada empreendimento a fim de verificar qual a relevância de cada categoria analisada (Figuras 2 e 3).

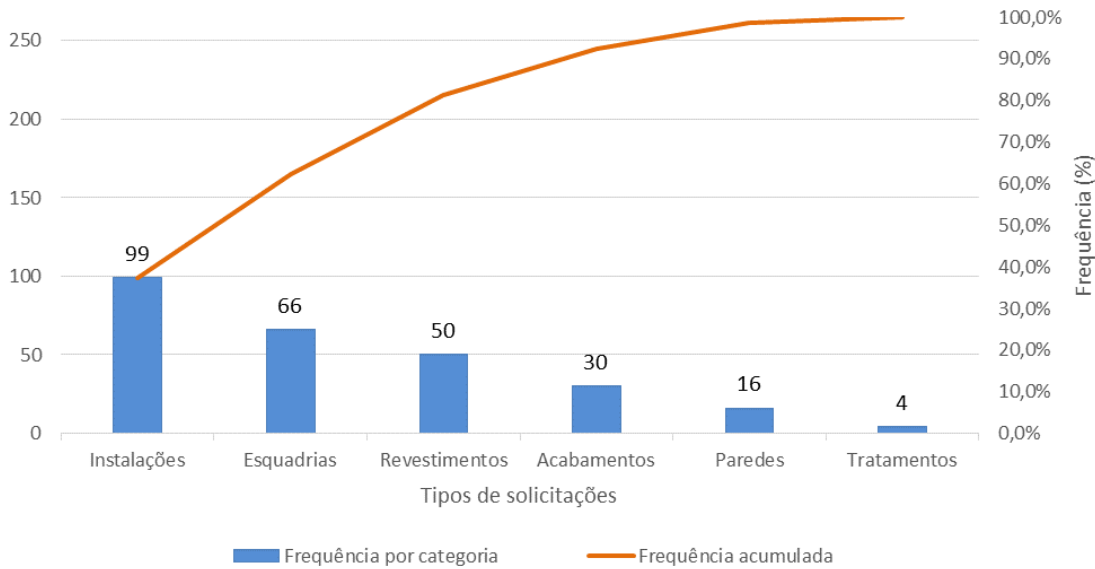


Figura 1: Frequência por categoria - Empreendimento A

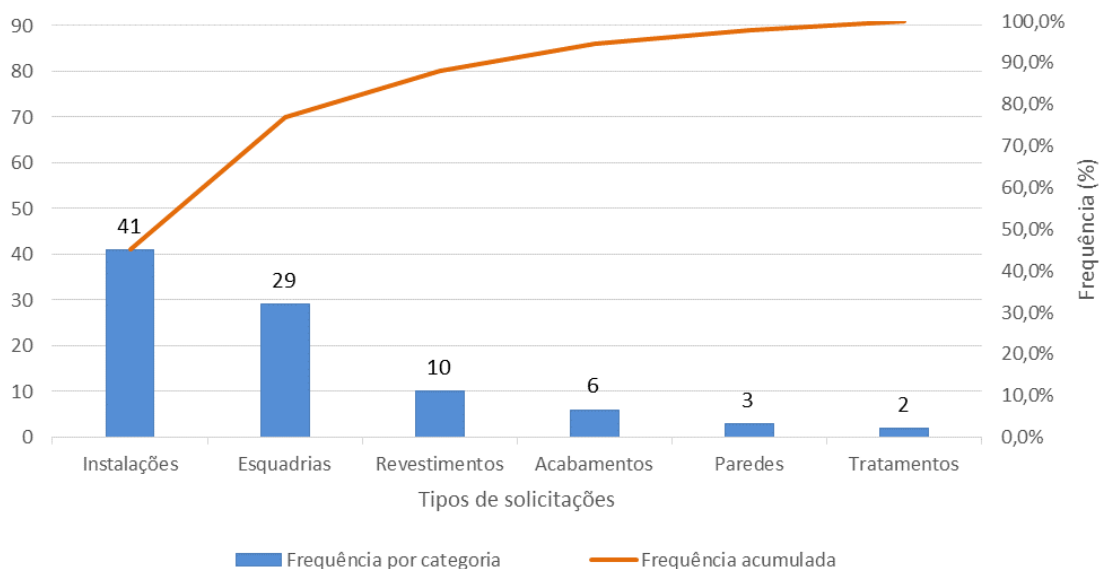


Figura 2: Frequência por categoria - Empreendimento B

Ressalta-se que há um padrão na proporção de não conformidades para cada categoria quando se comparam os empreendimentos A e B. Pode-se observar que as três categorias com maior frequência concentram 81% das ocorrências não conformes no empreendimento A e 88% no empreendimento B. Deste modo, o estudo focou nestas três categorias para localizar quais são os tipos de não conformidades com maior repetição.

5. ANÁLISE DAS NÃO CONFORMIDADES

A inspeção predial baseia-se em analisar as anomalias e falhas identificadas nas edificações, levando em consideração o grau de risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio. Podem-se relacionar fatores de manutenção, depreciação, saúde, segurança, funcionalidade, comprometimento de vida útil e perda de desempenho. A análise dos dados será realizada conforme recomendações que constam na Norma de Inspeção Predial (2012) do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE).

O IBAPE (2012) define os graus de risco em três tipos:

- a) Crítico: Risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralisações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível de vida útil;
- b) Médio: Risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação sem prejuízo à operação direta de sistemas, e deterioração precoce;
- c) Mínimo: Risco de causar pequenos prejuízos à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou sem a probabilidade de ocorrência dos riscos críticos e regulares, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor imobiliário.

5.1 Empreendimento A

As não conformidades selecionadas para serem analisadas foram as seguintes:

- a) Vazamentos em instalações hidráulicas, sanitárias, pluviais;
- b) Descascamentos de pintura em esquadrias de madeira;
- c) Fissuras em revestimentos de argamassa. Coletaram

Os vazamentos são as não conformidades com maior frequência em Instalações hidráulicas, sanitárias, pluviais e de gás. Nota-se que são três locais com maior relevância: conexões de esgoto sanitário, caixa sifonada e conexão do vaso junto à tubulação. A Figura 3 exemplifica o dano secundário em um forro de gesso que havia em seu interior uma tubulação de esgoto sanitário com vazamento.

Quanto ao aspecto jurídico, trata-se de um vício oculto conforme o Código de Defesa do Consumidor, pois somente se manifesta durante a utilização do imóvel. O prazo recomendado pela NBR 15575:2013 é de três anos após o auto de conclusão do empreendimento, portanto, este tipo de não conformidade está em garantia pela construtora, salvo modificações que podem intervir no funcionamento destas instalações.

Como ponto de partida, foram relacionadas todas as possíveis causas para o vazamento nas instalações sanitárias e organizadas em um diagrama de causa-efeito. Foi considerado que a causa pode estar desde a fabricação até o momento no qual foi realizada a solicitação de abertura de ocorrência junto ao setor de assistência técnica da empresa, ou seja, inclui-se a parte de transporte, estocagem, instalação e utilização da instalação. A figura 4 ilustra o diagrama de causa-efeito gerado para este estudo.



Figura 3: Danos secundários provocados por vazamento em instalações sanitárias

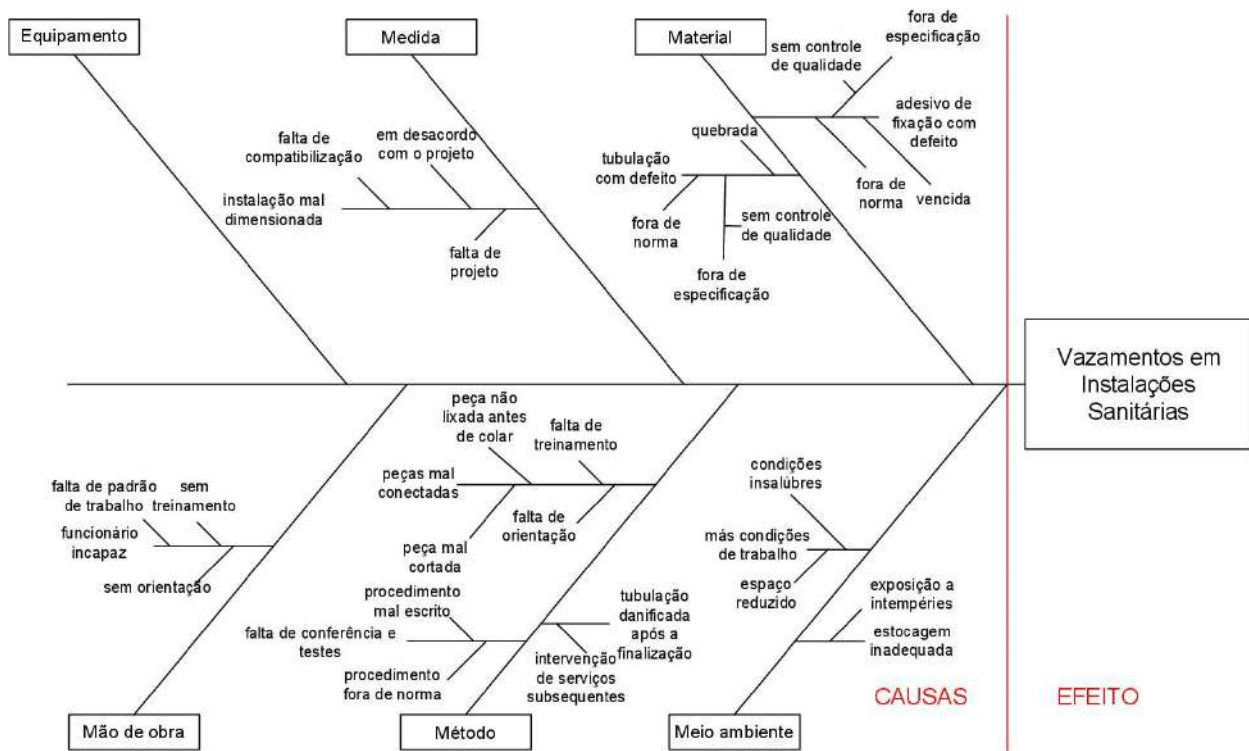


Figura 4: Diagrama de causa-efeito: vazamento em instalações sanitárias

Para a montagem da tubulação, é instruído que seja conforme a orientação do fabricante, o que deixa uma lacuna porque podem não ter sido treinados pelo fabricante, mas apenas pelo procedimento da construtora. O teste final deve ocorrer após a colocação dos metais e louças, simulando a utilização dos mesmos, incluindo o ponto de chuveiro, onde devem ser observados possíveis pontos de vazamentos. Esta última medida deveria extinguir a não conformidade em questão, logo pode estar não sendo aplicado em todos os locais, sendo que o serviço pode ter sido aceito sem realizar os testes solicitados em procedimento.

Pode-se dizer é que há procedimentos quanto ao recebimento e estocagem do material, além de haver para a execução das instalações, que, se foram seguidos conforme o recomendado e foram conferidos conforme é solicitado, não há como surgir esta não conformidade. Ocorre que não há um controle de rastreabilidade dos materiais utilizados, nem um controle de datas de estocagem, não há como verificar se os locais com a não conformidade possuem materiais do mesmo lote ou o mesmo funcionário executou.

Descascamentos de pintura são as não conformidades que mais se manifestaram em esquadrias de madeira, subcategoria com maior número de ocorrências no sistema de esquadrias do empreendimento A. O descascamento de pintura não teve uma grande predominância, representando 25% das não conformidades em esquadrias de madeira, ou seja, são 10 casos para esta não conformidade de um total de 39 em esquadrias de madeira e de 66 para o sistema de esquadrias. A Figura 5 ilustra a não conformidade.



Figura 5: Descascamento de pintura em esquadrias de madeira

Para iniciar a análise, foram relacionadas todas as possíveis causas para o descascamento de tinta das esquadrias de madeira e organizadas em um diagrama de causa-efeito. Foi considerado que a causa pode estar desde a fabricação até o momento no qual foi realizada a solicitação de abertura de ocorrência junto ao setor de assistência técnica da empresa, ou seja, inclui-se a parte de transporte, estocagem, instalação e uso da esquadria. A Figura 6 ilustra o diagrama de causa-efeito gerado para este estudo.

Através de uma inspeção visual nota-se que a tinta não está aderida ao substrato onde descascou, porém, isto ocorre em partes pontuais da esquadria, sem uma localização específica. Quando o substrato foi exposto, notou-se que é liso, sem presença de rugosidade aparente, porém não pode ser colocada uma relação de causa e efeito.

Existem procedimentos por parte da construtora quanto ao recebimento e estocagem do material, além de haver para a instalação das esquadrias, que, se foram seguidos conforme o recomendado e foram conferidos conforme é solicitado, não há como surgir esta não conformidade. Ocorre que não há um controle de rastreabilidade das esquadrias, por mais que tenha identificação desde a fabricação até a estocagem, não há como verificar se todas as ocorrências são de esquadrias do

mesmo lote. Ainda, não há uma preocupação de como a esquadria é fabricada, ou seja, tem grandes chances da causa ser uma falha durante a fabricação do item.

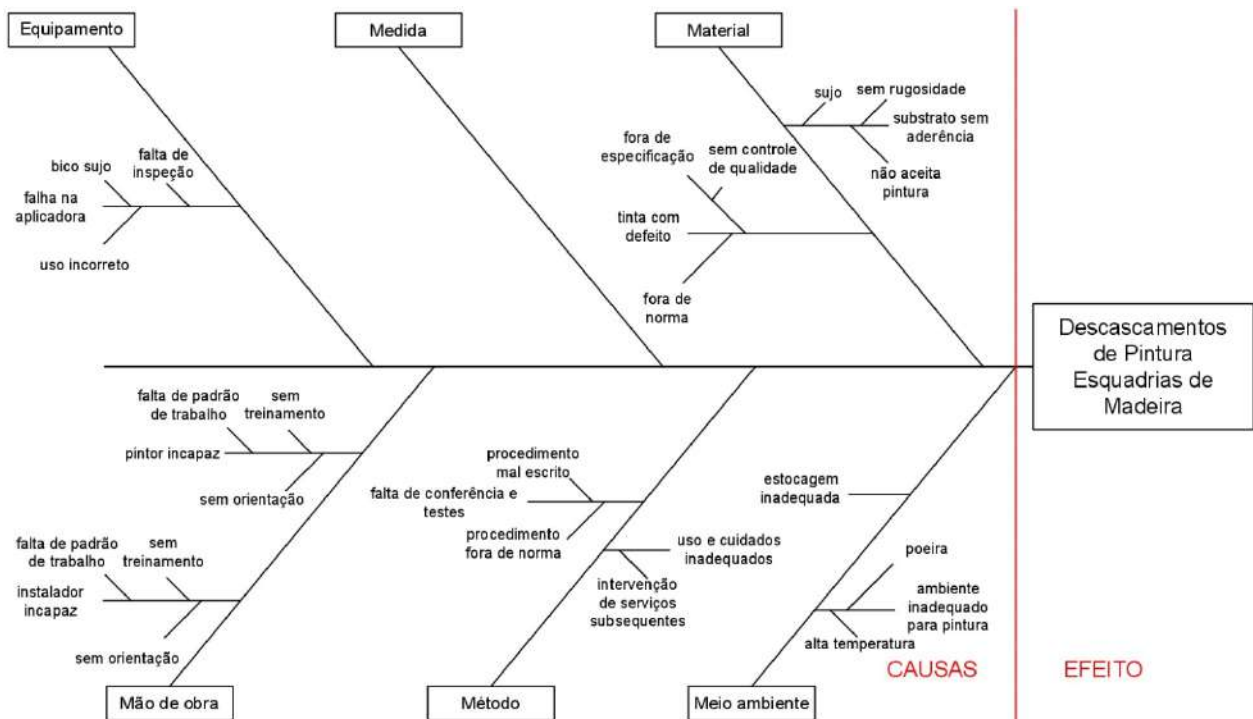


Figura 4: Diagrama de causa-efeito: descascamento de pintura em esquadrias de madeira

Não há rastreabilidade de esquadrias de madeira após a instalação, logo, a identificação dos lotes das portas durante a estocagem não teve continuidade, impossibilitando a verificar se todos os casos que houve esta não conformidade são de materiais do mesmo lote.

As fissuras são as não conformidades que mais se manifestaram em revestimentos de argamassa, subcategoria com maior número de ocorrências no sistema de revestimentos do empreendimento A. As fissuras representam 96% das não conformidades em revestimentos de argamassa, ou seja, para esta não conformidade, são 22 casos de um total de 23 em revestimento de argamassa e de 50 para o sistema de revestimentos. Todas as fissuras são de ordem estética, pois tem a característica de fissuras de retração de argamassa,

As fissuras de retração argamassa tem natureza passiva, são de pequena espessura e estão predominantemente em ambientes internos (em ambientes externos permite a infiltração de água), mostrando que é um indício que há problema quanto à composição, execução ou ambiente de aplicação da argamassa. Pode-se verificar que a tendência de todas é baixa, ficando a classificação pendente da exposição visual ao usuário, por isso, foi selecionado o caso que ocorreu no hall de entrada do empreendimento A que está ilustrado na Figura 5.



Figura 5: Caso analisado de fissuras em revestimentos de argamassa

O material utilizado para o revestimento argamassado interno deste empreendimento é a argamassa estabilizada. Como vantagens, pode-se destacar a eliminação de estoque e o manuseio das matérias-primas, diminuição do desperdício de material, eliminação do tempo de espera e a mão de obra para preparação da argamassa, além de aumentar a produtividade e a racionalização da mão de obra. Já como desvantagens, destacam-se a redução ou perda de fluidez da argamassa ao longo do tempo e maior tempo de espera para realizar o desempenho da argamassa.

A Figura 6 ilustra um caso de não conformidade semelhante a que está em estudo, apontando que são problemas de traço de argamassa utilizada.



Figura 6: Caso analisado de fissuras em revestimentos de argamassa

5.2 Empreendimento B

As não conformidades selecionadas para serem analisadas foram as seguintes:

- a) Falhas em luminárias em instalações elétricas e telefônicas;
- b) Infiltrações em fachadas de vidro unitizadas.

As falhas em luminárias são as não conformidades que mais se manifestaram em instalações elétricas e telefônicas, subcategoria com maior número de ocorrências no sistema de instalações do empreendimento B. As falhas em luminárias representam 40% das não conformidades em instalações elétricas e telefônicas. Procedendo com uma análise mais detalhada, percebe-se que o grau de risco de todas é mínimo, como também a relevância, porém um caso destoa-se por se tratar da iluminação de emergência do condomínio, que é imprescindível para a segurança das pessoas que estão no empreendimento.

No empreendimento analisado as luminárias de emergência ficam constantemente ligadas à tomada, ou seja, somente acenderão quando faltar luz, porém, foi relatado que durante uma falta de energia, elas não ligaram e que isto pode trazer problemas em caso de evacuação do condomínio, especialmente durante a noite, pois o hall de entrada faz parte de umas das rotas de saída do edifício. Para verificação deste problema, foram realizados dois testes. O primeiro consistiu em pressionar o botão de teste das luminárias de emergência do hall de entrada para verificar se estão funcionando, logo de imediato todas as luminárias acenderam. O segundo foi desligar o disjuntor que alimenta as luminárias, que também alimentam o portão de acesso de veículos do empreendimento, houve a mesma resposta que o teste anterior.

Com estes dois testes, conclui-se que luminárias de emergência não estão com vício de fabricação, uma vez que todas ligaram ao serem desligadas da tomada. Também conclui-se que há energia passando no circuito que alimenta essas luminárias, uma vez que desligando o disjuntor, as luminárias ligaram. Durante o teste do disjuntor, constatou-se que o motor do portão de garagem também parou de funcionar.

Realizando uma verificação no projeto elétrico do térreo, o portão, que foi instalado pela construtora durante a obra, estava previsto apenas como uma espera com a fiação passando, sem previsão no quadro de cargas. Esta falta de informação no projeto deve ter levado a conexão da fiação ao circuito das luminárias e, conseqüentemente, ligada ao gerador. Quando falta energia no empreendimento, o gerador é acionado, alimentando os circuitos que nele estão ligados, como o portão de acesso de veículos é ligado ao gerador, às luminárias de emergência também, impedindo o acionamento dessas luminárias.

As infiltrações representam 64% das não conformidades em esquadrias de alumínio, sendo as não conformidades que mais se manifestaram em esquadrias de alumínio. Uma vez que durante intempéries, as salas comerciais ou áreas condominiais tem estragos pela água que entra, o grau de risco é médio, assim como o grau de relevância. Nota-se que a maior frequência ocorreu na parte superior da esquadria, não dos montantes nem das folhas, por isso, foi selecionado um caso ocorrido numa sala comercial no 12º andar, último andar antes da laje de cobertura. A Figura 7 demonstra o local que ocorreu esta não conformidade.



Figura 7: Mancha de infiltração da esquadria

Quanto ao aspecto jurídico, trata-se de um vício oculto conforme o Código de Defesa do Consumidor, pois é um item que apenas surge em chuvas, sendo que os danos secundários, que são o maior indício que há esta não conformidade, podem ser dissimulados. Este tipo de não conformidade não está explícito nos prazos recomendados na NBR 15575:2013, porém pode ser adotado o prazo de três anos após o auto de conclusão do empreendimento, referente a estanqueidade de fachadas e pisos molháveis, portanto este tipo de não conformidade está em garantia pela construtora salvo modificações que podem intervir no funcionamento destas instalações.

O diagrama de causa-efeito foi montado relacionando todas as possíveis causas para a infiltração na pele de vidro. Como já mencionado, considerou-se que a causa pode estar desde a fabricação até o momento no qual foi realizada a solicitação de abertura de ocorrência junto ao setor de assistência técnica da empresa, ou seja, inclui-se a parte de transporte, estocagem e etapas de execução e utilização (Figura 8).

A fachada de vidro unitizada é composta por módulos ancorados em ganchos presentes em um suporte metálico que está fixado junto à estrutura de concreto do edifício. Os módulos da fachada do empreendimento são em vidro laminado e, em adornos e módulos que não estão visíveis do lado de dentro, por placas de ACM (alumínio composto).

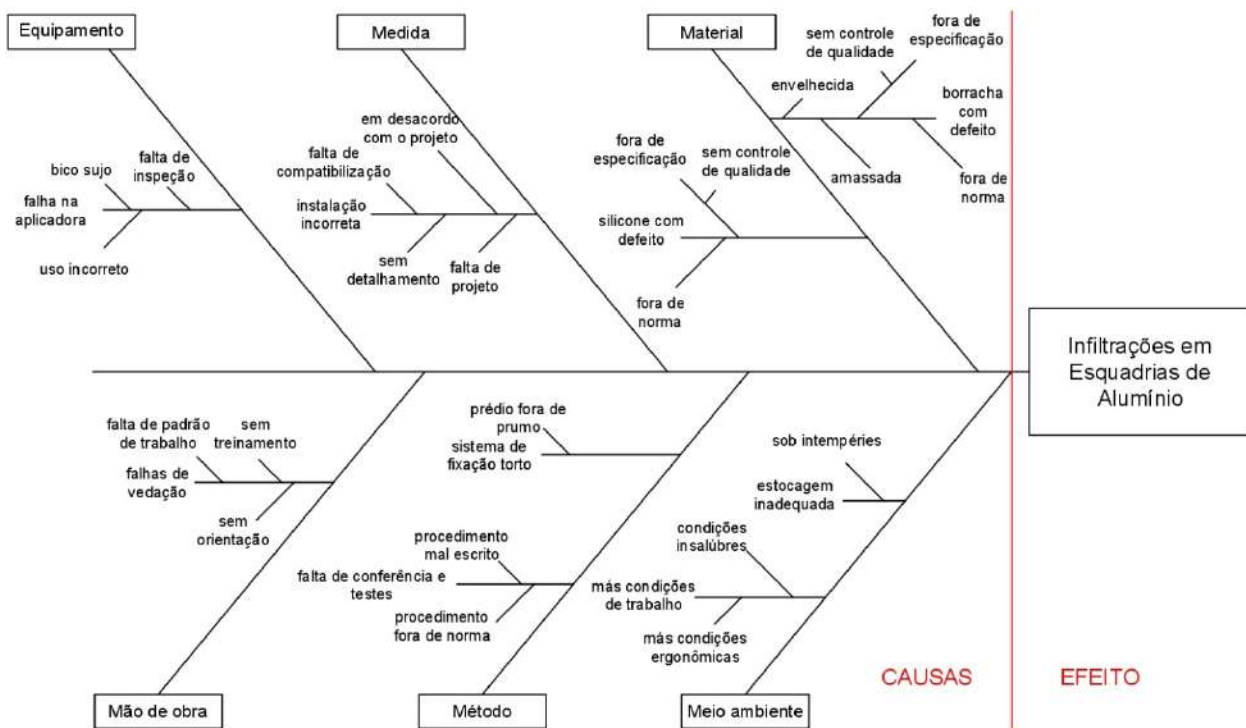


Figura 8: Diagrama de Causa-Efeito: Infiltrações em Fachadas de Vidro Unitizadas

Quando uma infiltração manifesta-se na fachada de vidro unitizada, deve-se localizar o ponto de infiltração, isso ocorre devido ao fato que este a fachada de vidro unitizada é composta por um número de células que compõem um sistema maior. Para se chegar ao ponto de infiltração da sala comercial, a empresa que foi responsável pela fachada de vidro unitizada instalou andaimes suspensos para realizar a inspeção do ponto onde está entrando água. Como está evidenciado na figura 9, trata-se de uma falha na vedação das placas de ACM.



Figura 9: Falha na vedação das placas de ACM

O sistema de fachada de vidro unitizada possui um tratamento diferente na empresa. No âmbito da contratação, geralmente existe fornecedores de mão de obra e de material, porém, para fachada de vidro unitizada, é contratado um fornecedor apenas, tanto para material e mão de obra. As placas de ACM não aceitam a aderência do silicone de vedação, portanto, a vedação deve ser realizada não somente na junta entre placas, mas fazer uma sobreposição de 3 centímetros para cada lado da junta, pois, como o silicone não está aderido, ele tende a soltar-se após períodos longos de exposição a intempéries. Este procedimento não foi realizado, não constando no procedimento de execução da fachada, ou seja, trata-se de um problema no método de realização.

6. CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi fazer um levantamento das não conformidades em dois empreendimentos com idade até dois anos e analisar as não conformidades que mais se destacam. Isto foi realizado na tentativa de encontrar padrões tanto em quais sistemas possuem maior frequência e quanto nas possíveis causas das não conformidades estudadas.

Foram analisadas um total de 471 ocorrências, sendo que 356 apresentavam alguma não conformidade. Durante o levantamento de dados e análise por diagrama de Pareto, notou-se que as mesmas três categorias possuíram as três maiores frequências para os dois empreendimentos. Apesar das categorias com maior frequência apresentarem-se as mesmas nos dois empreendimentos, as subcategorias foram diferentes para os sistemas de instalações e subsistemas de esquadrias. Isto ocorre pelo fato dos sistemas construtivos utilizados nos empreendimentos não serem exatamente os mesmos.

Ao analisar os casos selecionados para cada não conformidade, deparou-se com uma dificuldade em todos os casos: a falta de rastreabilidade, tanto de materiais como de mão de obra. Este tipo de controle facilita muito para identificar as causas relacionadas a mão de obra, equipamento e material, pois abre um horizonte para estudar todos os fatores que resultam na atividade de execução do serviço.

A garantia da qualidade é primordial para alcançar a total satisfação do cliente, e para isto ocorrer, todos os processos e colaboradores devem estar alinhados. Este artigo evidencia a necessidade de existir um controle da qualidade em todos os níveis da obra, de forma a atingir uma melhor satisfação do usuário.

7. REFERENCIAS

- Adami, L. H. P. (2008), *Análise das Não-Conformidades em Edifícios no Período de Assistência Técnica*. Monografia em Engenharia Civil (Universidade Católica do Salvador), 2008.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR15575: Edificações habitacionais – desempenho – parte 1: requisitos gerais*.
- Brocka, B., Brocka, M. S. (1994), *“Gerenciamento de qualidade”*. Makron Books, São Paulo, Brasil.
- CBIC (2021), *ABNT cria Comissão de Estudo de Garantias das Edificações*. Disponível em: <https://cbic.org.br/inovacao/2021/03/10/abnt-cria-comissao-de-estudo-de-garantias-das-edificacoes/>.
- Carvalho, M. M. (2005), *“Histórico da Gestão da Qualidade”* in: Carvalho, M. M., Paladini, E. P. (Org.). *Gestão da qualidade: teoria e casos*. Elsevier, Rio de Janeiro, Brasil, 2005. p. 01-24.
- Covelo Silva, M. A., Frohini, C. B. (2019), *“Manual de Desempenho do Sistema de Alvenaria de Blocos Cerâmicos City”*. Ceramica City, Cesário Lange, So Paulo, Brasil.
- Del Mar, C. P. (2015), *Direito na construção civil*. PINI, São Paulo, Brasil.
- Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. (2012). *Norma de Inspeção Predial Nacional*.
- Miguel, P. A. C. (2005), *“Gestão da Qualidade: TQM e Modelos de excelência”* in: Carvalho, M. M., Paladini, E. P. (Org.). *Gestão da qualidade: teoria e casos*. Elsevier, Rio de Janeiro, Brasil, 2005. p. 85-124.
- Moreira, L. C. (2019), *Vida útil e prazos de garantia sob a ótica da norma de desempenho - NBR 15.575*. Disponível em: <https://www.creago.org.br/noticia/view/171/vida-util-e-prazos-de-garantia-sob-a-otica-da-norma-de-desempenho-nbr-15575>.
- Souza, R. et al. (1995), *Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras*. Editora PINI, São Paulo, Brasil.
- Thomaz, E. (2001), *Tecnologia gerenciamento e qualidade na construção*. Editora PINI, São Paulo, Brasil.

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE ALUMINATO DE ESTRÔNCIO EM MICROCONCRETOS

Ítalo Ribeiro Gonçalves Lima^{1*} Yuri Sotero Bomfim Fraga²

E-mail : italo.engvil@gmail.com * yurisotero.engcivil@gmail.com

¹ Departamento de engenharia civil, Instituto de ensino superior planalto, Brasília, Brasil

² Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

RESUMO

Os materiais luminescentes tornaram-se porção restrita do mercado, proporcionando novas oportunidades de pesquisa, geralmente são utilizados para produção de sinalizações de segurança, interruptores, entre outras aplicações. O presente trabalho tem como objetivo analisar o efeito de adições de diferentes teores de aluminato de estrôncio em microconcretos, por meio de dosagens experimentais e estudos teóricos. Foram realizadas quatro incorporações, sendo elas de 25%, 50% e 100% de aluminato de estrôncio em relação à massa de cimento em argamassa de concreto, com uso de cimento branco em sua composição. A partir disso, foram realizados ensaios de caracterização, fluorescência de raio X e luminosidade. Os ensaios indicam que a dosagem de 50% de aluminato de estrôncio possui melhor desempenho de luminosidade.

Palavras chave: Concreto; microconcretos; materiais luminescentes; fluorescência; Aluminato de estrôncio.

ABSTRACT

Luminescent materials have become a restricted portion of the market, providing new research opportunities, they are generally used for the production of safety signs, switches, among others. The present work aims to analyze the effect of additions of different contents of strontium aluminate in microconcrete, through experimental dosages and theoretical studies, four incorporations of 25%, 50% and 100% of strontium aluminate were carried out in relation to cement mass in concrete mortar using white cement in its composition, characterization, X-ray fluorescence and luminosity tests were carried out. Tests indicate that the dosage of 50% strontium aluminate has better luminosity performance.

Keywords: Concrete; microconcrete; luminescent materials; fluorescence; Strontium Aluminate.

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico, os materiais fosforescentes, ou também chamados de materiais com resistência prolongada de luminescência, apresentam-se como uma inovação para construção civil. Devido suas inúmeras aplicações, são usados principalmente em tintas

luminescentes, sinalização de segurança pública, cerâmicas, relógios e brinquedos fosforescentes. Recentemente pesquisadores vem estudando a adição do aluminato de estrôncio em concretos. Segundo Gonzalez (2018), o concreto fotoluminescente tem como principal característica permitir a absorção de energia solar ou artificial durante o dia e reemiti-la à noite.

Pesquisadores, como Rojas-Hernandez et al. (2018), estudaram as diferentes características dos materiais luminescentes, bem como técnicas para aumentar a sua intensidade e duração de brilho. Além disso, Getz et al. (2017) também verificaram as variáveis que afetam as propriedades luminosas desses materiais, tais como calor, contato direto com água e interação com outros materiais.

Em concretos e microconcretos, é estudada adição do aluminato de estrôncio com objetivo de armazenar energia externa e converter em radiação eletromagnética, usualmente na região do UV – Visível-Infravermelho. Esses materiais podem ser excitados por diversas fontes de energias, como por exemplo, a eletromagnética (fotoluminescência), a de radiação ionizante (radioluminescência) e o feixe de elétrons de alta energia. É vasta a aplicação de concretos/argamassas luminescentes, tais como: iluminação de emergência de baixa luminosidade, indicações luminosas, paisagismo decorativo, paver, pavimentações e concretos com fins estruturais.

A Pro-Teq, empresa de origem britânica, desenvolveu uma calçada que emite luz no escuro, sem fontes de energia. O material, denominado Starpath, absorve energia do sol durante o dia e ilumina à noite. O Starpath pode ser usado em qualquer superfície (estradas, passagens de zebra, bordas de piscinas) e possui propriedades de durabilidade importantes, como resistência à chuva e vento, além de ser antiderrapante. Em razão dessa criação, a empresa recebeu o Prêmio Global de Excelência Empresarial de 2013. Trata-se de uma grande invenção que economiza grandes quantias no que diz respeito à iluminação e evita inúmeros acidentes rodoviários (QUIENLOINVENTO, 2014). Para obter transparência e brilho, o grande desafio dos empresários para produzir a calçada de concreto brilhante foi conseguir a transparência, durante o processo de cura, não afetando o produto. Como é bem conhecido, o concreto, ao não permitir que a luz penetre no material, torna-se um dos fatores para superar a soluções fotoluminescentes, criando espaços significativos que exigem maior qualidade para utilização final. As novas tecnologias tornaram possíveis o desenvolvimento e produção do presente brilhante especial, otimizando a entrada ao máximo para obter o efeito fotoluminescente, sem alterar propriedades químicas e mecânicas. O brilho no efeito escuro, ou "brilho noite", perde apenas 10% de sua potência ao longo de um período de mais de dez anos (RAQUEL OCHOA, 2013).

Por definição, um material luminescente é um material que possui a capacidade de absorver energia e reemiti-la na forma de luz visível. Segundo Callister e Rethwisch (2016), a luminescência possui diferentes classificações dependendo do tempo entre os eventos de absorção e a reemissão, sendo considerado fluorescente o material que consegue reemitir luz visível por menos de 1 segundo, e fosforescente para tempos mais longos. O fenômeno da absorção de energia ocorre quando um elétron passa para um estado de energia chamado excitado, ou seja, de maior energia. Quando esse elétron retorna para um estado de menor energia, ocorre a emissão da luz visível.

Dessa forma, esse artigo tem como objetivo avaliar o efeito da adição de diferentes percentuais de aluminato de estrôncio em microconcretos, analisar o tempo de luminosidade, bem como, definir a relação de dosagem ideal dentre os percentuais analisados.

2. PROCEDIMIENTO

2.1 Materiais

Para produção dos microconcretos e pastas cimentícias desta pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais: Cimento CPB-40 Branco Estrutural – Axton, Aluminato de estrôncio dopado

com európio e disprósio (SrAl₂O₃) – Luminstant, Areia normal Brasileira – Instituto de pesquisas tecnológicas e Aditivo MC-PowerFlow 1180 - MC-Bauchemie.

2.2 Métodos

Foram realizados ensaios de caracterizações dos materiais utilizados para fabricação dos microconcretos em laboratório, conforme resultados presentes na tabela 1.

Tabela 1: Caracterização do cimento Portland da areia normal e do aluminato de estrôncio

Material	Propriedade		Resultados		
Cimento CPB-40 Branco	Tempo de pega (min)	Início	1h40		
		Fim	2h30		
	Índice de Brancura (%)		90%		
	Área Específica – Blaine (cm ² /g)		4594		
	Massa específica (g/cm ³)		3,02		
	Resistência à compressão		3 dias	27,25	
	(MPa)		7 dias	33,37	
		28 dias	43,81		
Areia Normal	Fração	Abertura (mm)	Grossa	2,4 e 1,2	
			Média grossa	1,2 e 0,6	
			Média fina	0,6 e 0,3	
			Fina	0,3 e 0,15	
Aluminato de estrôncio	Coloração		Amarelo esverdeado		
	Granulometria		25 a 35 µm		

O estudo da composição química do aluminato de estrôncio foi realizado através do ensaio de fluorescência de raios-X, de acordo com a análise é possível observar que os elementos (Al₂O₃ 44,08%) e (SrO 50,92%) são responsáveis por promover as propriedades fosforescentes nas pastas de cimento deste estudo, exposto na tabela 2.

Tabela 2: Composição química do aluminato de estrôncio – Ensaio de Fluorescência de raio X

Material	Composição química (%)									
	Al ₂ O ₃	CaO	Rb ₂ O	SrO	Ag ₂ O	SnO ₂	BaO	Eu ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	CO ₂
Aluminato de estrôncio	44,08	0,854	0,081	50,92	0,179	0,017	0,337	0,597	0,775	2,1

Para confecção das argamassas foram observados os parâmetros da NBR7215:2019, os corpos de prova são dimensionados para uma parte de cimento e três partes de areia normalizada, com relação água/cimento de 0,48. Para realização do teste comparativo foram dosados quatro traços de argamassa variando a quantidade de aluminato de estrôncio em relação a massa de cimento, sendo uma argamassa referência, somente com utilização do cimento Portland – Branco e para os demais traços foram adicionados em 25%, 50% e 100% do aluminato de estrôncio, conforme tabela 3.

Tabela 3: Microconcretos

Microconcreto		Areia normal (g)				Água (g)	(aluminato de estrôncio) (g)
Dosagem	CP-Branco (g)	Fina	Média fina	Média grossa	Grossa		
REF	624	468	468	468	468	300	-
AE 25	624	468	468	468	468	300	156
AE 50	624	468	468	468	468	300	312
AE 100	624	468	468	468	468	300	624

Para análise de luminosidade dos microconcretos, foram moldados corpos de prova conforme parâmetros da NBR 7215 (ABNT, 2019). Para tal fim, a mistura dos materiais foi realizada em um misturador planetário com capacidade de 5 L por 1 min na velocidade baixa (140 rpm) e depois 30 segundos na velocidade alta (285 rpm), após este procedimento a mistura ficou em repouso durante 1 minuto e logo em seguida misturada novamente em velocidade alta por mais 1 minuto. Os corpos de prova foram moldados conforme parâmetro da NBR 7215 (ABNT, 2019), 4 camadas sendo distribuídos 30 golpes em cada. Para cada dosagem foram moldados 7 corpos de prova, nos quais foram utilizados moldes cilíndricos com 50 mm de diâmetro x 100 mm. Os corpos de prova foram armazenados em cura submersa em água saturada de cal.

2.4 Pastas de cimento

A preparação das pastas seguiu as recomendações da NBR 16606 (ABNT, 2017), com algumas adaptações. Em função da quantidade de aluminato de estrôncio disponível para confecção das pastas, foi reduzido o quantitativo de material estabelecido na norma, contudo, foi preservado a relação água/aglomerante. Foram realizadas as confecções de quatro pastas, sendo uma referência, e nas outras adicionados os teores de 25%, 50% e 100% de aluminato de estrôncio. Para manter a consistência da mistura, foi adicionado aditivo superplastificante. Em relação à pasta de referência e a pasta AE25, foi adicionado 0,001% de aditivo em relação a massa de cimento, para as pastas AE50 e AE100 foram adicionados 0,003%.

Em uma cuba de aço inox foram adicionados todos os materiais líquidos (água e aditivo superplastificante) e posteriormente foi inserido o Cimento Portland Branco. Após o contato do cimento com a mistura, foram contabilizados 30 segundos em repouso. Depois foi realizada a mistura com o auxílio do misturador planetário durante 30 segundos na velocidade lenta. O misturador foi desligado por 60 segundos, sendo realizada a raspagem das paredes internas da cuba durante os primeiros 30 segundos. Por fim, o misturador planetário foi ligado na velocidade alta por 60 segundos. A partir do desenvolvimento dessas pastas, foram moldados quatro corpos de prova. Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida por 24 horas e depois em cura submersa em água saturada com cal até a idade de ensaio.

Após os 28 dias de cura foi realizada a fragmentação das pastas com objetivo de paralisar a hidratação das pastas, utilizando uma das metodologias de Scrivener; Snellings; Lothenbach (2016). O procedimento consistiu na imersão dos fragmentos em isopropanol por 6 horas e secagem em estufa à $40 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em um recipiente contendo sílica gel, para evitar a hidratação, e cal sodada, para evitar a carbonatação, até o dia de realização dos ensaios microestruturais. Esses fragmentos das pastas foram moídos com auxílio do almofariz de ágata, e peneirados na peneira de abertura de 0,075mm. Estes foram

utilizados posteriormente para os ensaios de fluorescência de raios X (FRX). O processo de paralisação da hidratação das pastas é mostrado na figura 1.

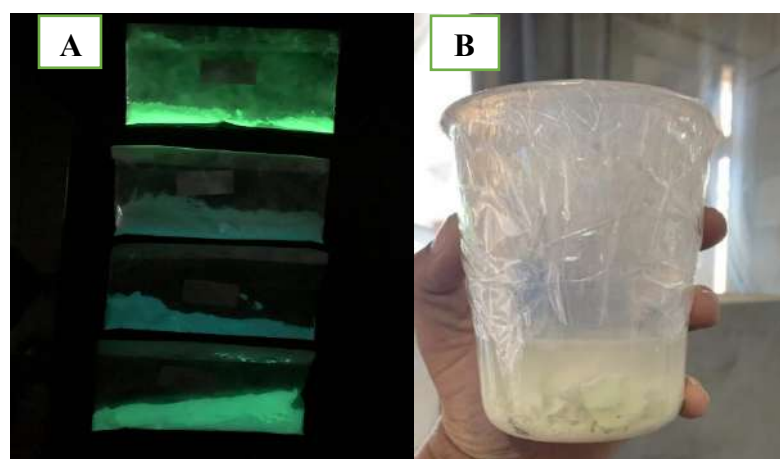


Figura 1: Pastas de cimento moídas (a), processo de paralisação da hidratação (b)

Não foram realizadas medições de luminosidade nas pastas de cimentos com adição do aluminato de estrôncio, contudo, as pastas foram expostas durante 30 minutos a uma lâmpada fluorescente ultravioleta. Conforme figura 1, é possível observar o fenômeno de absorção de energia ocorre quando um elétron passa para um estado de energia chamado excitado, ou seja, de maior energia. Quando esse elétron retorna para um estado de menor energia, ocorre a emissão da luz visível. Na tabela 4 é possível verificar a composição química das pastas de cimento, realizadas através do ensaio de fluorescência de raio X (FRX), bem como a presença do aluminato de estrôncio.

Tabela 4: Fluorescência de raio X das pastas

Pastas	% Al ₂ O ₃	% Ca O	% Fe ₂ O ₃	% K ₂ O	% Na ₂ O	% Mg O	% SiO ₂	% SO ₃	% P ₂ O ₅	% Cl	% TiO ₂	% NiO	% SrO	% Fluor
REF	2,51	75,6	0,34	0,15	0,11	1,47	16,1	2,7 8	0,07	0,0 4	0,19	0,02	0,15	0,53
AE 25	12,5	58,5	0,22	0,16	0,08	1,02	11,5	2,2 9	0,07	0,0 4	0,1	0	13,4	0
AE 50	20,2	47,4	0,19	0,05	0	1,05	7,63	2,1 1	0,12	0,0 3	0,08	0,04	20,9	0
AE 100	26,2	35,4	0,17	0,08	0	0,79	6,23	1,5 5	0,13	0,0 4	0,07	0	29,1	0

Em função dos dados analisados na tabela 4 destaca-se a presença do aluminato de estrôncio nas pastas AE25, AE50 e AE100 em relação à pasta REF, o que evidencia que o fenômeno de fosforescência se resulta através da presença destes componentes químicos que foram adicionadas às pastas.

Segundo Hu et. al (2018), a luminescência intensa dos aluminatos de estrôncio se deve pela ocorrência de uma transição dos íons Eu⁺² de 4f⁶5d para 4f⁷. Para realização da análise de luminosidade dos corpos de prova, foi utilizada uma lâmpada fluorescente ultravioleta, onde os corpos de prova foram expostos a uma dose de excitação de 8h. Após o tempo transcorrido foram observados o tempo de remissão de luz visível.

3. RESULTADOS

Análise de luminosidade

Foi observado que nos primeiros 30 minutos após a excitação de 8 horas de exposição à lâmpada fluorescente ultravioleta, não houve diminuição da intensidade de luminosidade que os corpos de prova reemitiam. Após os 30 minutos a dosagem de AE25 apresentou decaimento mais abrupto dentre os materiais, cessando a reemissão de luminosidade visível logo após uma hora e trinta minutos. Para as dosagens de AE50 e AE100, foi observado que somente depois de três horas de reemissão de luminosidade o material começou apresentar vagaroso decaimento cessando sua luminosidade quatro horas e trinta minutos após a retirada da fonte de excitação, conforme tabela 5.

Tabela 5: Tempo de exposição lâmpada fluorescente ultravioleta

Dosagem	Tempo de exposição	Tempo de reemissão de luz
AE 25	8h	1h30
AE 50	8h	4h30
AE 100	8h	4h30

De acordo com Lisensky, Patel e Reich (1996), os materiais luminescentes podem apresentar diferentes comportamentos de decaimento luminoso. Conforme a tabela 5 distingue a reemissão de luminosidade entre adição de menores teores de aluminato de estrôncio e maiores adições. Conforme gráfico apresentado na figura 2 é possível observar o tempo de reemissão e decaimento de cada material.

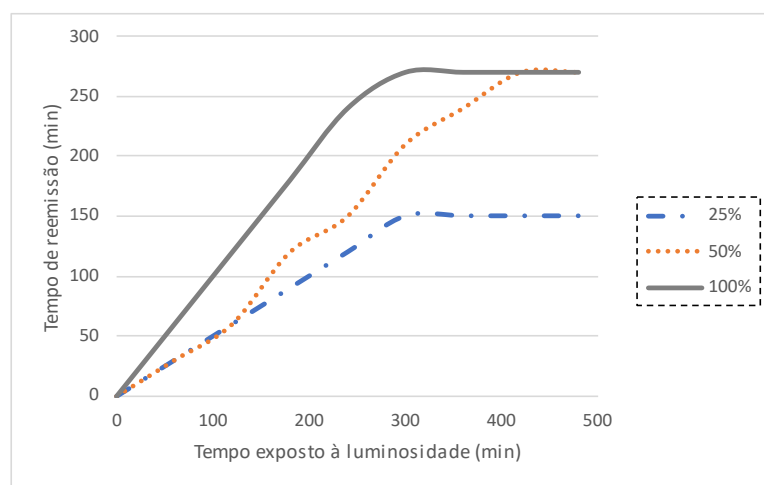


Figura 2: Gráfico de tempo de reemissão de luminosidade

Zhao, Li e Wang (2013) testaram a adição de 3 pós luminescentes distintos diretamente à mistura de cimento, água, areia e brita, variando a concentração de 2, 4, 6 e 8% da massa de cimento em gramas de material luminescente. Os resultados obtidos demonstram que a fosforescência foi possível e obteve decaimento exponencial. Os materiais apresentaram diferentes comportamentos de luminosidade, em concordância com gráfico apresentado na figura 2. Destaca-se que ao cessar

a fonte de excitação nos 30 minutos iniciais, os microconcretos apresentaram pico máximo de luminosidade visível conforme figura 3.

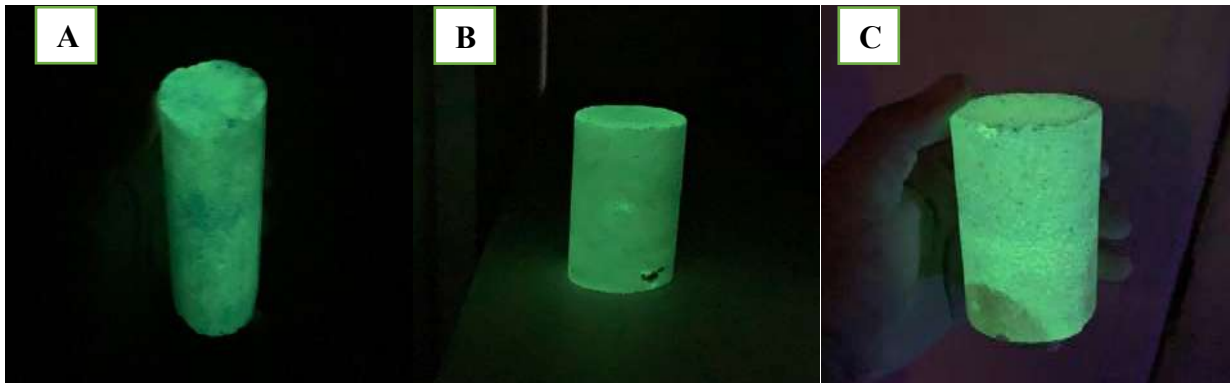


Figura 3: Microconcretos (a) AE25, (b) AE50 e (c) AE100 pico máximo de reemissão de luminosidade

É possível observar, conforme figura 3, que os microconcretos não apresentaram diferença de intensidade luminosidade visível em até 30 minutos. Na figura 4 é possível observar o decaimento de luminosidade.

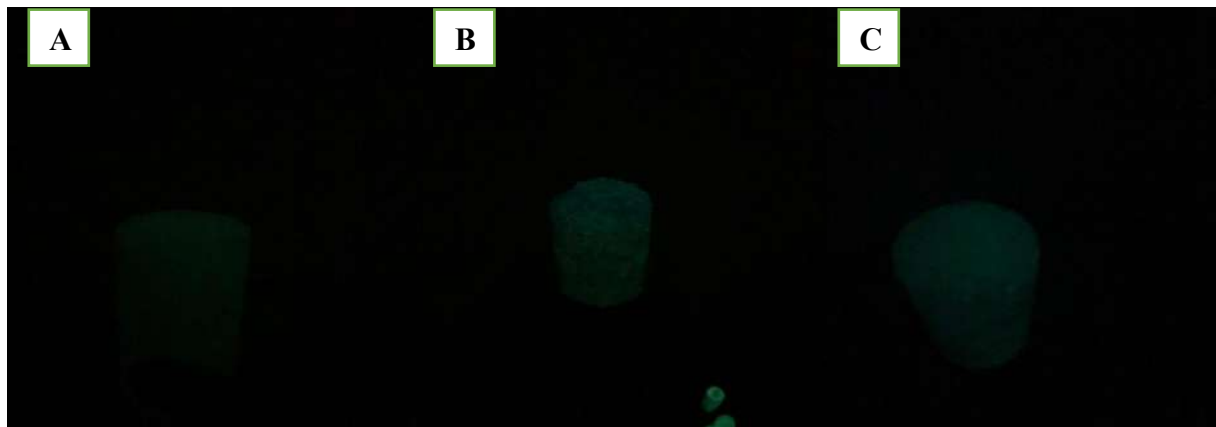


Figura 4: Microconcretos (a) AE25, (b) AE50 e (c) AE100 decaimento de reemissão de luminosidade

Após 30 minutos de reemissão de luz os microconcretos apresentaram diferentes intensidade de brilho e tempo de reemissão. A AE25 apresentou abrupto decaimento em relação a AE50 e AE100, apresentando tempo de reemissão de 1h30min. Dentre todos as proporções testadas, o aluminato de estrôncio de AE50 e AE100 apresentaram o mesmo desempenho nos aspectos de tempo de luminosidade, portanto, a quantidade de (Al_2O_3) 20,20% e (SrO) 20,93% presente na pasta de cimento e observado pelo ensaio de fluorescência de raio X (FRX), se enquadra como a dosagem com melhor performance.

4. CONCLUSÃO

Em função do ensaio de fluorescência de raio X (FRX), foi possível identificar a composição química das pastas dos microconcretos, evidenciando que o $(\text{SrAl}_2\text{O}_3)$ e (SrO) são os elementos responsáveis por produzir a propriedade de fosforescência nas pastas e microconcretos. Também é possível afirmar, a partir dos estudos de luminosidade realizados, que a dosagem de AE50 de aluminato de estrôncio obteve melhor performance de luminosidade em relação às demais dosagens, uma vez que a dosagem de AE25 obteve desempenho de 1h30min de reemissão de luminosidade, e para as dosagens de AE50 e AE100, o desempenho foi de 4h30min de reemissão de luminosidade.

Dessa forma, é possível inferir que o aluminato de estrôncio possui influência direta no desempenho luminoso de compostos cimentícios.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas Supermix Concreto S/a e Votorantim Cimentos S/a pelo fornecimento do laboratório para realização de ensaios de caracterização das pastas e microconcretos deste estudo.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). *NBR13276: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e teto – Determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR13279: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e teto – Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). *NBR16541: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e teto – Preparo da mistura para realização de ensaios*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019). *NBR7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018) *NBR 16697: cimento Portland: requisitos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1993) *NBR NM. 12989: Cimento Portland branco*. Rio de Janeiro.

Braschemical. (2019), “*Aluminato de Estrôncio dopado com Európio*” Literatura Técnica. São Paulo.

Callister Jr., W. D.; rethwisch, d. g. (2016) “*Ciência e engenharia dos materiais. LTC, 9º ed*”. p.912

Getz, William A. et al. (2017) *Erasing the glow in the dark: controlling the trap and release of electrons in phosphorescent materials*. Journal of Chemical Education, [s.l.], v. 95, n. 2, p.295-299 <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.7b00744> _Acesso em: 18 maio. 2021

Gonzalez, J.a.m.; J.l.m. (2018) “*Influência de pedras fotoluminescentes em iluminação e propriedades mecânica do concreto*”. Trujillo, Peru.

HU, Xiaowu et al. (2018) “*Preparation and properties of Eu and Dy co-doped strontium aluminate long afterglow nanomaterials*. *Ceramics International*” Ceramics International, [s.l.], v. 44, n. 7, p.7535-7544 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.01.157> Acesso em: 29 maio. 2021

Kirchheim, A. P. (2003) “*Concreto de cimento Portland branco estrutural: avaliação de carbonatação e absorção capilar. Dissertação*” (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Lisensky, George C.; Patel, Manish N.; Reich, Megan L. “*Experiments with glowin-the-dark toys: kinetics of doped zns phosphorescence*” Journal of Chemical

Moreira, D. Cimento que emite luz. FNE Federação nacional dos engenheiros. Disponível em <https://www.fne.org.br/index.php/comunicacao/jornal-fne/jornal-edicao-191/4761-cimento-que-emite-luz> Acesso em: 29 maio. 2021.

Piovesan, A.Z. (2009) “*Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco*” Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia civil. Programa de pós-graduação do Rio grande do Sul. Porto Alegre.

Quienloinventor. (2014) “*Starpath, Pavimento Luminescente*”. Disponível em: <https://quienloinventor.wordpress.com/2014/10/18/pavimento-luminiscente/> Acesso em: 12 maio 2021.

Raquel Ochoa. (2013) “*Um mundo brilhante debaixo de seus pés*”. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/10/um-mundo-brilhante-debaixo-de-seus-pes.html>> Acesso em: 12 maio 2021.

Scrivener, K.; Snellings, R.; Lothenbach, B. (2016) *A practical guide to microstructural analysis of cementitious materials*. CRC PRESS.

Smith, W. F., Hashemi, J.(2012) “*Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais*. AMGH, 5ª ed”.

ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

A. Costa¹, C. Santos^{1*}, L. Marques¹, M. Rocha¹, R. Oliveira¹, W. Li¹, A. Santos².

*Autor de Contato: carlosrochacrhs@gmail.com

¹ Alunos do curso de Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

² Professor Dr. do curso de Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

RESUMO

O concreto reforçado com fibras (CRF) apresenta propriedades que devem ser observadas para a aplicação do material na construção civil. Este trabalho tem por objetivo apresentar uma revisão bibliográfica da adição de fibras de polipropileno nos compósitos de concreto, abordando a preparação, moldagem e análise dos resultados técnicos desta fibra em referência a uma amostra padrão sem incorporação de fibras. Além disso, foi realizado um estudo experimental avaliando a capacidade mecânica do CRF, levando em consideração os ensaios de compressão axial e compressão diametral. Dessa forma, foi possível concluir que a adição de fibra altera algumas propriedades do concreto, mas, com limitações a determinadas utilizações na construção civil. Contudo através do estudo aqui abordado foi possível obter parâmetros e conceitos que serviram como base para futuras aplicações.

Palavras chave: Concreto Com Fibras, Fibras de Polipropileno, Propriedades Mecânicas.

RESUMEN

El hormigón reforzado con fibras (CRF) presenta propiedades que deben ser observadas para la aplicación del material en la construcción civil. Este trabajo tiene como objetivo presentar una revisión bibliográfica de la adición de fibras de polipropileno en los compuestos de hormigón, abordando la preparación, el moldeo y el análisis de los resultados técnicos de esta fibra en referencia a un padrón de la muestra sin incorporación de fibras. Además, se realizó un estudio experimental en el que se evaluó la capacidad mecánica del CRF, teniendo en cuenta los ensayos de compresión axial y compresión diametral. Así, se pudo concluir que la adición de fibra cambia algunas propiedades del hormigón, pero con limitaciones a ciertos usos en la construcción civil. Sin embargo, a través de este estudio fue posible obtener parámetros y conceptos que sirven de base para futuras aplicaciones.

Palabras clave: hormigón con fibras, fibras de polipropileno, propiedades mecánicas.

ABSTRACT

Fiber reinforced concrete (CRF) has properties that must be observed for the application of the material in civil construction. This work aims to present a bibliographical review of the addition of polypropylene fibers in concrete composites, approaching the preparation, molding and analysis of the technical results of this fiber in reference to a standard sample without fiber incorporation.

In addition, an experimental study was carried out evaluating the mechanical capacity of the CRF, taking into account the axial compression and diametrical compression tests. Thus, it was possible to conclude that the addition of fiber alters some properties of concrete, but with limitations for certain uses in civil construction. However, through the study discussed here, it was possible to obtain parameters and concepts that served as a basis for future applications.

Keywords: Fiber Concrete, Polypropylene Fibers, Mechanical Properties.

1. INTRODUÇÃO

O concreto reforçado com fibras (CRF) é um material composto por fibras que são uniformemente distribuídas e orientadas aleatoriamente. As fibras incluem fibras de aço, fibras de vidro, fibras sintéticas e fibras naturais. O comportamento do CRF muda conforme as propriedades da fibra adotada, tal como: geometria, distribuição, orientação e densidade.

Segundo Medeiros (2012), a utilização de fibras em concreto surgiu em 1911 com Grahan, quando ele propôs o uso de fibras de aço junto com a armadura, para obter-se um aumento na resistência do concreto armado. Portanto, a partir dos anos 60 que se intensificaram as pesquisas e os estudos, que foram capazes de desenvolver um material com ótimas propriedades e ampla aplicabilidade em obras. Mesmo com esses estudos não chegaram a um concreto sem fissuras, assim foram desenvolvidos diferentes tipos de fibras, para aperfeiçoar o concreto dependendo da finalidade e do local de aplicação.

Para Figueiredo (2011), a eficácia da fibra está relacionada ao seu desempenho como ponte de transferência de tensão na fissura do concreto. O teor de fibras adicionadas a mistura, exerce forte influência sobre a capacidade de reforço da mesma. Portanto, quanto maior for o teor adotado, maior será o número de fibras desempenhando a função de ponte de transferência de tensão, aumentando assim, o reforço pós fissuração do concreto. Além do teor, outras propriedades como geometria e resistência das fibras, influenciam no seu desempenho pós fissuração.

Neste sentido, é relevante o estudo da influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto, uma vez que o seu excesso pode causar alterações significativas nas características mecânicas importantes do concreto.

2. METODOLOGIA

Para estruturar todo o escopo do presente trabalho inicialmente foi definido as principais etapas de toda a pesquisa, bem como as características de cada uma delas. Após a definição, foi elaborado um fluxograma, conforme apresentado na Figura 1.

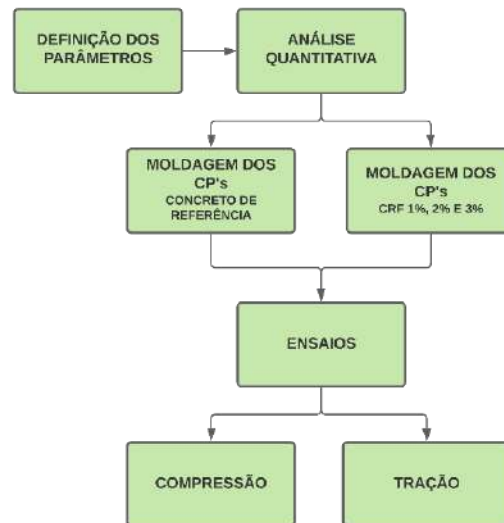


Figura 1 - Fluxograma das Etapas da Pesquisa

2.1 Definição Dos Parâmetros

Após a realização de todo o estudo teórico, foi necessário analisar quais as variáveis e parâmetros que seriam essenciais ao estudo, de modo a abranger as características e comportamentos do concreto.

Inicialmente definiu-se as variáveis de análise ligadas as características do concreto:

- Tipo de concreto: Optou-se por utilizar o concreto auto adensável, uma vez que são inúmeras as suas aplicações e funcionalidades;
- Cimento utilizado - CP-V ARI 50MPa: Devido ao alto ganho de resistência do período de 24 horas este tipo de cimento tem uma ampla aplicabilidade. Por este motivo optou-se por este tipo.
- Agregado graúdo - Brita 0 (gnaisse; $\varnothing_{max}=12,5\text{ mm}$; $d=1,2/cm^3$): Por se tratar de concreto auto adensável, quanto maior a trabalhabilidade melhor. Por este motivo foi escolhido como agregado graúdo a brita 0, uma vez que ela apresenta um diâmetro máximo pequeno com relação aos demais agregados. E quanto menor o agregado, maior a trabalhabilidade.
- Agregado Miúdo - Areia média: A escolha deste material se deu exclusivamente pela disponibilidade do mesmo nos laboratórios.

Em um segundo momento analisou-se as características da fibra a ser utilizada:

- Material – Polipropileno: Foi analisado e optou-se pela utilização dessa fibra devido a sua flexibilidade e baixa densidade, o que resultaria em um decréscimo de peso no concreto.
- Forma – Ondulada: O formato ondulado irá garantir a fibra uma maior aderência ao concreto.
- Comprimento – 45mm: Como era desejável manter a trabalhabilidade do concreto, optou-se por uma fibra menor.

Por fim, após analisar as características de ambos os materiais tais informações foram organizadas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros Analisados

	VARIÁVEIS DE ANÁLISE	TIPOS	DESCRIÇÃO
CONCRETO	Concreto	1	Concreto Auto Adensável
	Cimento	1	CP V ARI - 50MPa
	Agregado Graúdo	1	Brita 0
	Agregado Miúdo	1	Areia Média
FIBRA	Material	1	Polipropileno
	Forma	1	Ondulada
	Comprimento	1	45mm

2.2 Análise Quantitativa

A partir de análises do comportamento do concreto e pesquisas práticas já realizadas, foi definido a realização dos ensaios de compressão axial e compressão diametral. Para tanto foram confeccionados 15 corpos de prova, sendo 7 utilizados para determinação da resistência a tração indireta e 8 utilizados para a determinação da resistência à compressão. Vale ressaltar que a quantidade de corpos de prova apresentada acima é referente a cada tipo de concreto analisado (concreto de Referência e concreto com adição de fibras).

2.3 Concreto de Referência

O traço para o concreto de referência foi obtido inicialmente através de pesquisas em normas, artigos e monografias. Após realizar algumas correções necessárias, foram obtidas as seguintes relações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Traço de Referência

Material	Relação em Massa kg/m ³
Cimento Portland CPV	1,00
Agregado Miúdo	1,57
Agregado Graúdo	2,19
Sílica	0,08
Aditivo	0,012
Água	0,38

A partir das orientações apresentadas na NBR 5738:, definiu-se que seria realizado a confecção inicial de 12 CP's de concreto de 10x20cm. Posteriormente, com a relação em massa e a quantidade de corpos de prova definidos, determinou-se a quantidade necessária (em kg) de cada material, considerando 20% de perdas e aplicando um fator de correção em massa de 25%, uma vez que inicialmente era para ser moldados 15 CP's. O resultado está apresentado na Tabela 3.

Tabela 2 – Concreto de Referência

TRAÇO CONCRETAGEM - CP's 10x20					
Material	Volume CP's m ³ 15 CP's	Relação em Massa	Quantidade kg/m ³	Massa kg	Massa kg
				Fator De Perda 20%	Fator De Correção 25%
Cimento Portland CPV	0.0236	1.00	460	13.01	16.26
Agregado Miúdo		1.57	722	20.41	25.52
Agregado Graúdo		2.19	1007	28.47	35.59
Sílica Ativa		0.08	36.8	1.04	1.30
Aditivo		0.012	5.52	0.16	0.20
Água		0.32	147	4.16	5.20

A partir das informações citadas na Tabela 3, produziu-se o concreto de referência. Após a concretagem foi realizado o teste de Slump descrito em NM 67:96, afim de analisar se a trabalhabilidade do concreto estava dentro dos limites estabelecidos na norma.

Posteriormente os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 5738:2015. Após a moldagem, os corpos de prova foram armazenados em uma câmara fria até passarem pelo processo de desforma e atingirem a cura referente a 7 e 28 dias. Nas referentes datas os CP's foram ensaiados.

2.4 Traços Com Adição De Fibras

Para a pesquisa foi proposto a adição de fibras ao concreto utilizando os percentuais de 1%, 2% e 3%. A definição destes percentuais baseou-se na especificação do fornecedor da fibra que indicava um valor máximo de 2%. Definido isto, partiu-se da utilização do traço utilizado na moldagem dos corpos de prova do concreto de referência apresentado anteriormente na Tabela 3.

A Tabela 4 apresenta os traços para os percentuais de fibra utilizados.

Tabela 3 - Quantitativo de Materiais

TRAÇO CONCRETAGEM - CP's 10x20					
Material	Volume CP's m ³ 15 CP's	Relação em Massa	Quantidade kg/m ³	Massa kg	Massa kg
				Fator De Perda 20%	Fator De Correção 25%
Cimento Portland CPV	0.0236	1.00	460	13.01	16.26
Agregado Miúdo		1.57	722	20.41	25.52
Agregado Graúdo		2.19	1007	28.47	35.59
Sílica Ativa		0.08	36.8	1.04	1.30
Aditivo		0.012	5.52	0.16	0.20
Água		0.32	147	4.16	5.20
Fibra Polipropileno 1%	0.0002	0.02	8.90	0.25	0.31

Fibra Polipropileno 2%	0.0005	0.04	17.80	0.50	0.63
Fibra Polipropileno 3%	0.0007	0.06	27.11	0.77	0.96

Na sequência foi efetuado as três concretagens considerando a adição de 1%, 2% e 3% de fibra de polipropileno a partir da massa total de cimento.

Para as três concretagens utilizando fibras foi adotado os mesmos procedimentos da concretagem e ensaios realizados para o concreto de referência, visando manter as condições as mais similares possível.

3. RESULTADOS

A partir dos resultados mecânicos obtidos, realizou-se uma análise qualitativa e comparativa entre os diferentes corpos de prova, conforme apresentado na sequência.

3.1 Análise Qualitativa Dos Traços

Os traços executados apresentaram características visuais um pouco diferentes. Inicialmente o traço de referência executado, apresentou um bom espalhamento. Já nos demais traços que tiveram adição de fibra percebeu-se uma menor plasticidade do concreto, ocorrendo uma maior segregação do concreto conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2 – Slump test para os quatro traços realizados

Avaliando as condições externas de temperatura e umidade, constata-se que não houve grandes variações, uma vez que os traços utilizando fibras foram executados com diferenças de poucos dias. Com isso, acredita-se que essa segregação do concreto ocorreu em função da característica da

fibra de polipropileno que tende a diminuir a viscosidade do compósito. Essa segregação aumentou com o incremento do teor de fibras.

Esse fato pode ser justificado em função da maior interação e maior compacidade com a adição de fibras que diminui a fluidez do compósito.

Na Figura 3 à Figura 6 é possível avaliar o acabamento de diferentes amostras após a desmoldagem.



Figura 3 – Acabamento de diferentes amostras após a desforma – Concreto Referência



Figura 4 – Acabamento de diferentes amostras após a desforma – Adição 1%



Figura 5 – Acabamento de diferentes amostras após a desforma – Adição 2%



Figura 6 – Acabamento de diferentes amostras após a desforma – Adição 3%

Conforme apresentado na Figura 3 à Figura 6, os corpos de prova do traço com 3% de adição de fibra tiveram um pior acabamento externo, tendo grande quantidade de falhas e grandes volumes de vazios em determinados pontos. Tal característica pode ter sido ocasionada devido à presença de uma alta densidade de fibras nas regiões mais críticas. Como o concreto utilizado é um concreto autoadensável, não foi utilizado qualquer tipo de vibração externa, para acabamento dos corpos de prova.

Outra observação qualitativa feita durante o processo de concretagem foi que os corpos de prova com adição de fibra após o 12º CP o concreto apresentou características típicas do início de pega, com o endurecimento e retenção de água. Isso pode ter corroborado para as falhas citadas anteriormente.

3.2 Compressão Axial

A partir dos ensaios de compressão axial realizados nos corpos de prova dos 4 traços elaborados, foi realizada a análise estatística.

Para isso calculou-se a média para definir como grandeza equidistante dos extremos das outras amostras. Em seguida definiu-se o valor do desvio padrão para expressar o grau de dispersão da amostra estudada, tornando-se possível obter os limites inferiores e superiores para cada faixa de amostragem.

A partir destes limites calculou-se uma nova média utilizando apenas os resultados contidos dentro do intervalo, ou seja, obteve-se a dispersão e/ou variação que mostra o quão distante cada valor desse conjunto está dos resultados de referência. Essa abordagem foi realizada conforme prescreve a ABNT.

Ademais, foi elaborada uma análise global desses resultados separadamente para cada tipo de ensaio e o tempo em dias em que foi realizado, como demonstrado na Tabela 5.

Tabela 4 - Resistência a Compressão aos 7 dias

COMPRESSÃO AXIAL - 7 DIAS									
	RESISTÊNCIA (Mpa)			MÉDIA	DESVIO PADRÃO	LIM SUP	LIM INF	MED COR	DIFERENÇA PERCENTUAL
TRAÇO DE REFERÊNCIA	46,47	74,51	65,18	65,18	10,39	75,57	54,79	69,85	
1%	42,76	43,17	33,89	42,76	4,03	46,79	38,73	42,97	38%
2%	48,85	44,26	43,27	44,26	2,26	46,52	42,00	43,77	37%
3%	46,32	41,42	41,26	41,42	2,21	43,63	39,21	41,34	41%

Por meio dos resultados obtidos no ensaio, verificou-se que os concretos dos CP's com adição de fibras tiveram uma queda na resistência à compressão axial em relação ao traço de referência. Para o ensaio de compressão axial aos 7 dias obteve-se para o concreto com as diferentes frações volumétricas de fibras de polipropileno uma diferença percentual na resistência de:

- Diferença Percentual de 38%: Baixa fração volumétrica (1%);
- Diferença Percentual de 37%: Moderada Fração Volumétrica (2%);
- Diferença Percentual de 41%: Alta Fração Volumétrica (3%).

Através de uma análise global dos dados obtidos, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 7, tornando possível fazer um comparativo entre as resistências com relação ao traço de referência e para as diferentes frações volumétricas de fibras de polipropileno incorporadas ao concreto, usando os dados apresentados na Tabela 5.

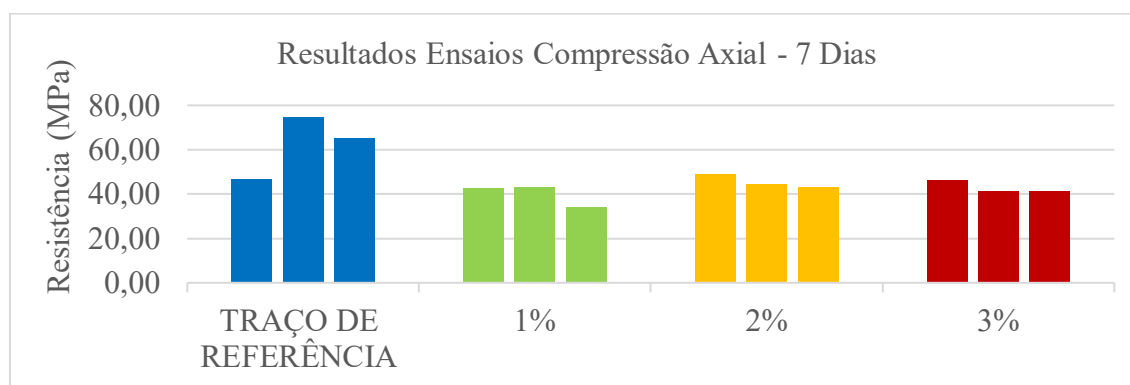


Figura 7 – Gráfico dos Resultados Ensaio de Compressão Axial

No gráfico da Figura 8 elaborou-se uma análise através da dispersão de pontos contendo uma linha de tendência correspondente a média corrigida descartando os valores discrepantes que não correspondiam aos limites inferiores e superiores definidos.

O gráfico demonstra uma tendência de queda de resistência com o incremento de fibras. Observa-se que seria interessante utilizar maiores percentuais de fibra para confirmar essa tendência de queda ou a formação de uma linha assintótica.

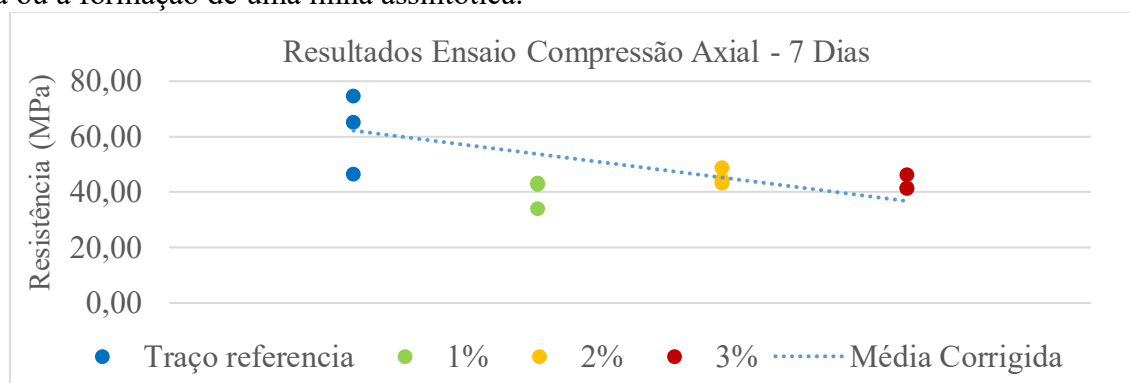


Figura 8 – Gráfico dos Resultados Ensaio de Compressão Axial – Média Corrigida

Aos 28 dias o mesmo teste foi realizado e com os resultados foi gerado a Tabela 6.

Tabela 5- Resistência a Compressão aos 28 dias

COMPRESSÃO AXIAL - 28 DIAS									
	RESISTÊNCIA (Mpa)			MÉDIA	DESVIO PADRÃO	LIM SUP	LIM INF	MED COR	DIFERENÇA PERCENTUAL
TRAÇO DE REFERÊNCIA	50,96	41,40	50,96	50,96	4,25	55,20	46,71	50,96	
1%	60,87	65,82	64,33	64,33	1,87	66,20	62,46	65,08	-28%
2%	52,81	63,02	35,94	52,81	9,77	62,58	43,04	52,81	-4%
3%	37,02	31,19	23,51	31,19	4,71	35,90	26,48	31,19	39%

Através dos resultados obtidos no ensaio, verificou-se que os concretos dos CP's com adição de fibras tiveram um ganho na resistência à compressão axial em relação ao traço de referência para adições contidas nos intervalos de baixa e moderadas frações volumétricas de 1% e 2% e uma queda para adição de alta fração volumétrica 3%.

Sendo assim, o ensaio de compressão axial aos 28 dias obteve-se para o concreto para as diferentes frações volumétricas de fibras de polipropileno uma diferença percentual na resistência de:

- Diferença Percentual de -28%: Baixa fração volumétrica (1%);
- Diferença Percentual de -4%: Moderada Fração Volumétrica (2%);
- Diferença Percentual de 39%: Alta Fração Volumétrica (3%).

O gráfico da Figura 9 apresenta os resultados da Tabela 7, para todos os corpos de prova ensaiados. Já ao gráfico da Figura 10, mostra a dispersão de pontos contendo uma linha de tendência correspondente a média corrigida descartando os valores discrepantes que não correspondiam aos limites inferiores e superiores definidos. O gráfico demonstra uma tendência de queda de resistência com o incremento de fibras. Observa-se que seria interessante utilizar maiores percentuais de fibra para confirmar essa tendência de queda ou a formação de uma linha assintótica.

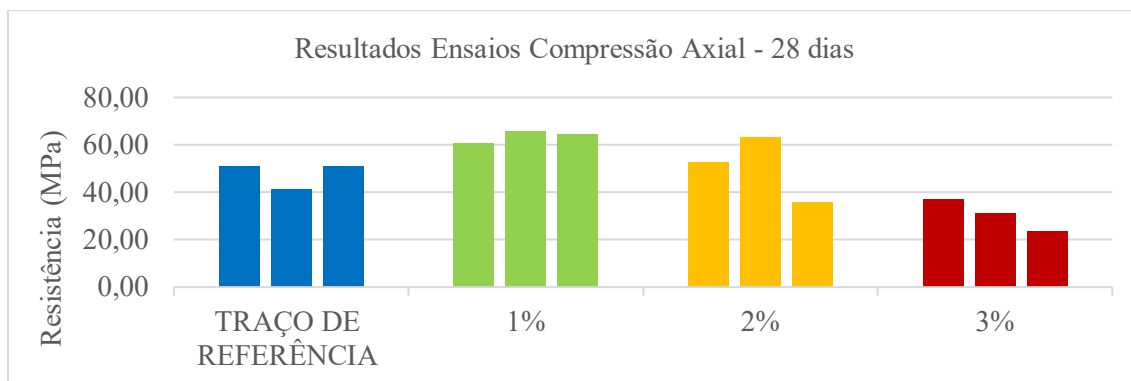


Figura 9 - Gráfico dos Resultados Ensaio de Compressão Axial - 28 Dias

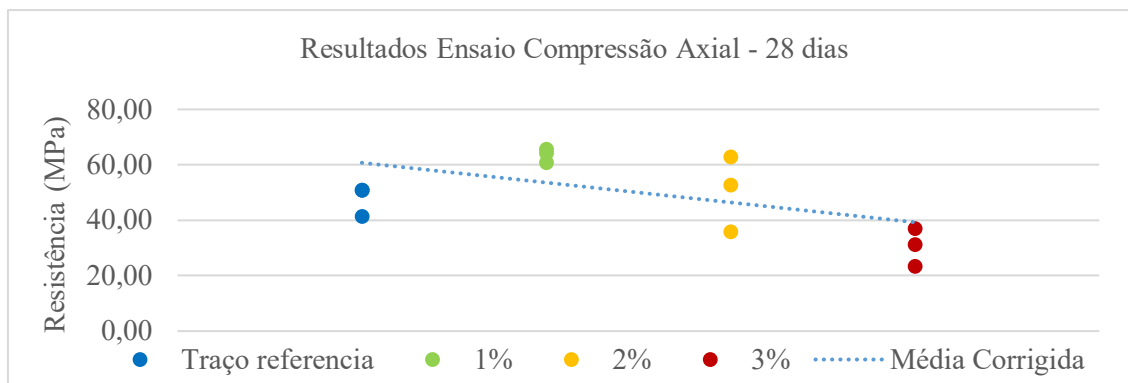


Figura 10 - Gráfico dos Resultados Ensaio de Compressão Axial – Média Corrigida

A partir dos resultados obtidos para 7 e 28 dias, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 11 fazendo uma análise comparativa entre estes resultados.

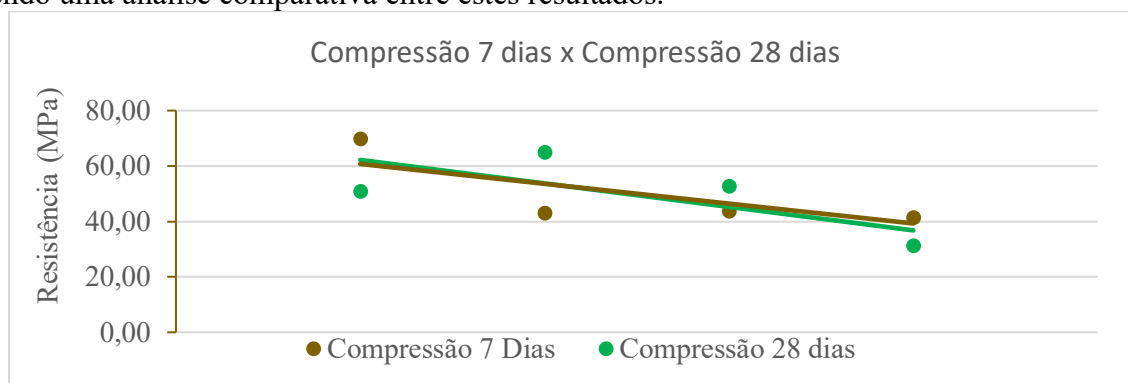


Figura 11 – Gráfico dos Resultados Ensaio de Compressão x Compressão – 7 e 28 Dias

Comparando as duas curvas observa-se que a queda de resistência foi similar, mostrando que a influência do percentual de fibra não depende do tempo em dias.

3.3 Compressão Diametral (Tração Indireta)

Os ensaios de compressão diametral foram realizados na Prensa Hidráulica Amsler na escala de I-40 x 1000 kgf = 40, seguindo o que prescreve a norma NBR 7222/2011.

Infelizmente não foi possível realizar o ensaio de compressão diametral para o traço de referência em função da perda dos corpos de prova. Com isso optou-se por utilizar o valor de 10% da resistência à compressão, como é prescrito na NBR 6118:2014. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 6- Resistência a Tração a 7 dias

TRAÇÃO - 7 DIAS									
	RESISTÊNCIA (Mpa)			MÉDIA	DESVIO PADRÃO	LIM SUP	LIM INF	MED COR	DIFERENÇA PERCENTUAL
TRAÇO DE REFERÊNCIA	4,65	7,45	6,52	6,52	1,04	7,56	5,48	6,98	
1%	3,50	5,84	4,25	4,25	0,87	5,12	3,38	5,05	28%
2%	3,37	4,65	4,78	4,65	0,60	5,25	4,05	4,72	32%
3%	3,75	5,40	4,65	4,65	0,57	5,22	4,08	4,65	33%

Por meio dos resultados obtidos no ensaio, verificou-se que os concretos dos CP's com adição de fibras tiveram uma queda na resistência à tração em relação ao traço de referência para ambas as frações volumétricas adicionadas. Ademais, como obteve-se os resultados através do método indireto por compressão diametral é justificável que essa tendência e/ou comportamento sejam proporcionais. Sendo assim, o ensaio de tração aos 7 dias obteve-se uma diferença percentual na resistência de:

- Diferença Percentual de 28%: Baixa fração volumétrica (1%);
- Diferença Percentual de 32%: Moderada Fração Volumétrica (2%);
- Diferença Percentual de 33%: Alta Fração Volumétrica (3%).

Os dados apresentados na Tabela 7 foram representados na Figura 13 e Figura 14. Observa-se que houve uma queda menos acentuada do que o resultado da compressão axial. Esse comportamento demonstra a relevância da adição de fibra para este ensaio.

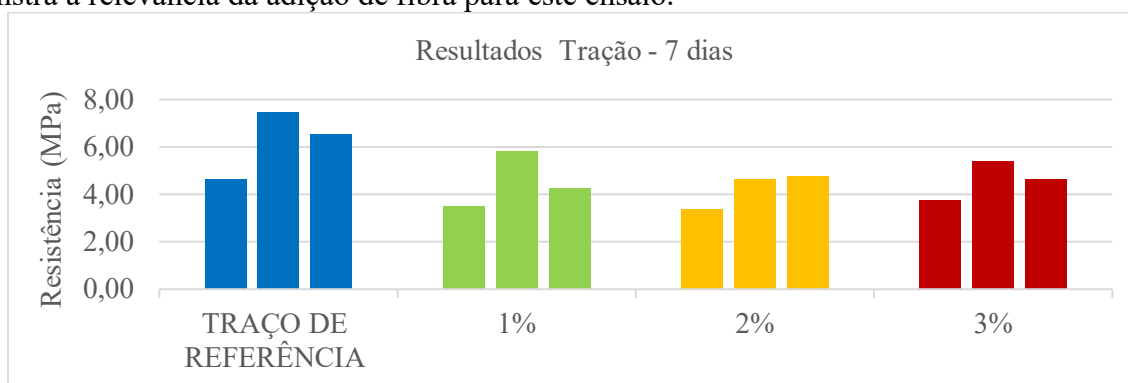


Figura 12 - Gráfico dos Resultados Ensaio de Tração – 7 Dias

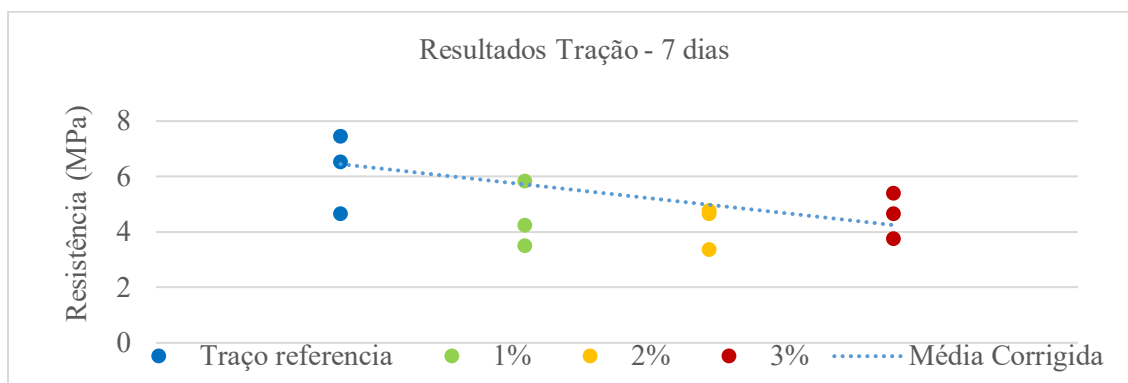


Figura 13 - Gráfico dos Resultados Ensaio de Tração – Média Corrigida

Tabela 7- Resistência a Tração aos 28 dias

TRAÇÃO - 28 DIAS									
	RESISTÊNCIA (Mpa)			MÉDIA	DESVIO PADRÃO	LIM SUP	LIM INF	MED COR	DIFERENÇA PERCENTUAL
TRAÇO DE REFERÊNCIA	5,10	4,14	5,10	5,10	0,42	5,52	4,67	5,10	
1%	6,32	6,20	3,11	6,20	1,40	7,60	4,80	6,26	-23%
2%	4,93	5,14	1,93	4,93	1,38	6,31	3,55	5,04	1%
3%	4,37	3,90	4,08	4,08	0,17	4,25	3,91	4,08	20%

Através dos resultados obtidos no ensaio, verificou-se que os concretos dos CP's com adição de fibras tiveram um ganho na resistência à tração em relação ao traço de referência para adição de baixa fração volumétrica de 1% e uma queda para adições de média e alta fração volumétrica 2% e 3% respectivamente. Ademais, como obteve-se os resultados através do método indireto por compressão diametral é justificável que essa tendência e/ou comportamento sejam proporcionais. Sendo assim, o ensaio de tração aos 28 dias obteve-se uma diferença percentual na resistência de:

- Diferença Percentual de -23%: Baixa fração volumétrica (1%);
- Diferença Percentual de 1%: Moderada Fração Volumétrica (2%);
- Diferença Percentual de 20%: Alta Fração Volumétrica (3%).

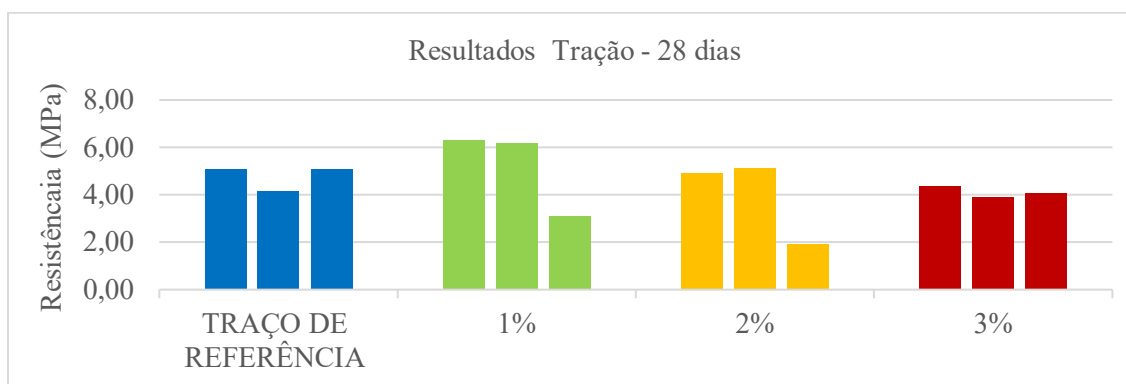


Figura 14 - Gráfico dos Resultados Ensaio de Tração – 28 Dias

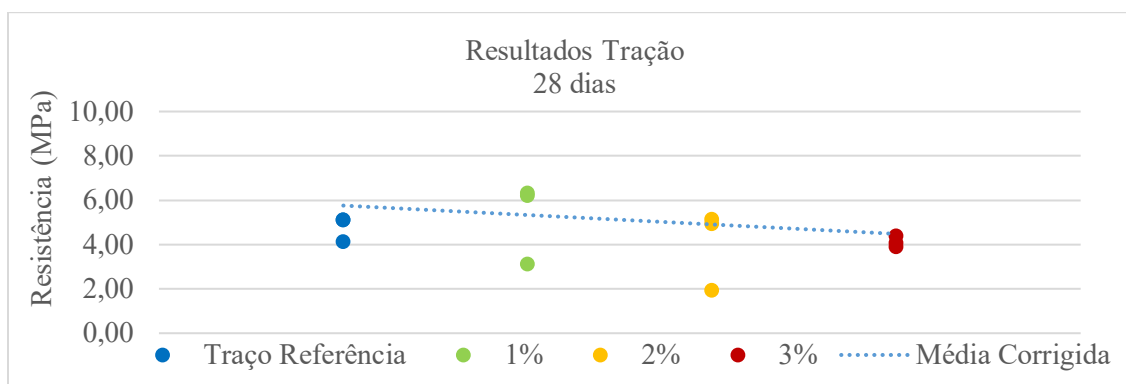


Figura 15 - Gráfico dos Resultados Ensaio de Tração – 28 Dias

A partir dos resultados obtidos para 7 e 28 dias, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 17 fazendo uma análise comparativa entre estes resultados.

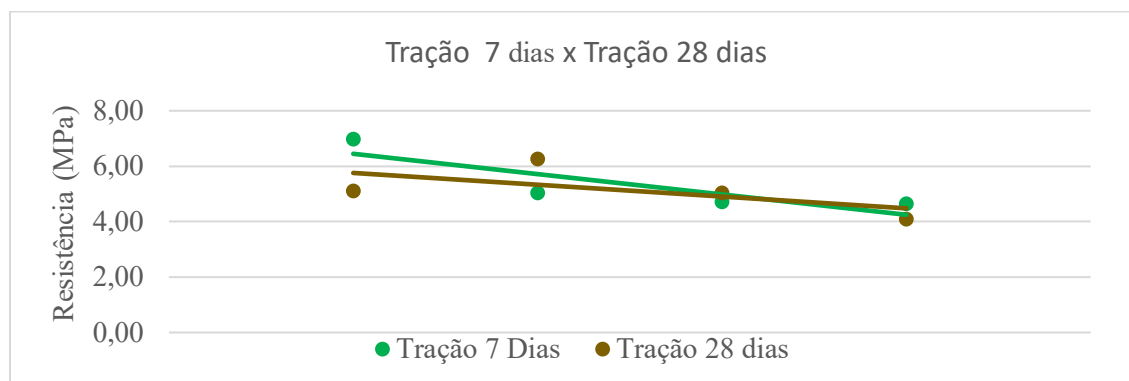


Figura 16 - Gráfico dos Resultados Ensaio de Tração x Tração – 7 e 28 Dias

Comparando as duas curvas observa-se que a queda de resistência foi similar, mostrando que a influência do percentual de fibra não depende do tempo em dias.

4. CONCLUSÕES

Dentro do contexto do CRF, a fibra adicionada ao composto gera alterações nas propriedades mecânicas do concreto, ela atua como uma ponte de tensão, transferindo os esforços mobilizados no concreto fissurado evitando que eles se concentrem na extremidade da fissura adotando um comportamento pseudo-dúctil. Além da sua capacidade de absorção de energia do concreto, retardando o momento da ruptura, suportando tensões e deformações maiores que o concreto convencional após atingir a tensão máxima uma vez que consomem mais energia até a ruptura, enquanto que na questão do volume de fibras adicionadas elas alteram na trabalhabilidade da mistura por aumentar a área superficial do concreto, pois a demanda de água é aumentada apesar da fibra não absorver o líquido ela forma uma película em toda sua superfície, provocando um acréscimo na coesão e na perda da trabalhabilidade do concreto no estado fresco.

Apesar de todas as propriedades que a fibra pode alterar ao ser adicionado no concreto existe apenas uma única referência normativa brasileira com enfoque a fibras, a NBR 1530:2019 que estabelece parâmetros de classificação para as fibras de aço de baixo teor de carbono e dispõe sobre os requisitos mínimos de forma geométrica, tolerâncias dimensionais, defeitos de fabricação, resistência à tração e dobramento. Enquanto que para as fibras de polipropileno não há nenhuma norma técnica a ser utilizada, demonstrando que esse assunto deve ser melhor regulamentado para maior difusão.

Através dos ensaios realizados pôde-se constatar que a fibra de polipropileno, apresentou uma redução na resistência à compressão quando comparado a resistência à compressão do concreto com o traço de referência. Essa redução deve ser melhor avaliada com o ensaio de um maior número de corpos de provas. Em contrapartida, os resultados para tração mostram um acréscimo na capacidade do concreto em resistir as tensões de tração. Isso corrobora com o que está disponibilizado na literatura. Foi constatado que os corpos de prova com adição de fibras em volume de 2 e 3% apresentaram maior segregação em relação ao traço de 1%. Esse resultado já era esperado visto que a trabalhabilidade do concreto é função do volume de fibra adicionado.

5. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *NBR 5738: Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2011). *NBR 7222: Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1996) *NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.

FIGUEIREDO, A. “*Concreto reforçado com fibras*”(2011). Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Acesso em: 16 abr. 2021.

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/pt-br.php>

MEDEIROS, A (2012). “*Study of the compressive fatigue behavior of fiber reinforced concrete*”, *D.Sc.Thesis, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro,201p*

http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/PUC_RIO-1_260259f293309a394395939db301cb4a . Acesso em: 10 maio. 2021.

Estimación de la resistencia a la compresión del hormigón por medio del ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)

N. G. Cayo-Chileno^{1*}, C. Moran-Velásquez¹, J. H. A. Rocha²

*Autor de Contacto: nahum.cayo.chileno@gmail.com

¹ Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Tecnología, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia

² Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo estimar la resistencia a la compresión del hormigón mediante el ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU). Se elaboraron 6 prismas de hormigón (20 cm x 20 cm x 25 cm) para dos resistencias a la compresión de diseño (f_c'), 21 y 28 MPa, totalizando 12. Se aplicó el ensayo de VPU por transmisión indirecta a diferentes distancias (5 cm, 10 cm y 15 cm). Los resultados de VPU y de resistencia a la compresión de los prismas fueron analizados mediante regresiones lineales. Los modelos lineales de cada f_c' por separado no son estadísticamente significativos; no obstante, el modelo que considera todos los datos (ambos f_c') presenta un mejor ajuste.

Palabras clave: Regresión lineal; Transmisión indirecta; Cuerpos prismáticos.

ABSTRACT

The objective of this study is to estimate the compressive strength of concrete by Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test. 6 concrete prisms (20 cm x 20 cm x 25 cm) were made for two design compressive strengths (f_c'), 21 and 28 MPa, totaling 12. UPV test was applied by indirect transmission at different distances (5 cm, 10 cm and 15 cm). UPV and compressive strength results of the prisms were analyzed using linear regressions. The linear models of each f_c' separately are not statistically significant; however, the model that considers all the data (both f_c') presents a better fit.

Keywords: Linear regression; Indirect transmission; Prismatic specimen.

RESUMO

O objetivo do presente estudo é estimar a resistência à compressão do concreto por meio do ensaio Velocidade de Pulso Ultrassônico (VPU). Foram confeccionados 6 prismas de concreto (20 cm x 20 cm x 25 cm) para duas resistências à compressão de projeto (f_c'), 21 e 28 MPa, totalizando 12. O ensaio VPU foi aplicado por transmissão indireta em diferentes distâncias (5 cm, 10 cm e 15 cm). Os resultados de VPU e resistência à compressão dos prismas foram analisados por meio de regressões lineares. Os modelos lineares de cada f_c' não são estatisticamente significativos; entretanto, o modelo que considera todos os dados (ambos f_c') apresenta um melhor ajuste.

Palavras-chave: Regressão linear; Transmissão indireta; Corpos prismáticos.

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales de mayor demanda dentro de la industria de la construcción, debido a la facilidad de adquisición de sus materiales y simplicidad de ejecución (Silva *et al.*, 2019). Sin embargo, en el proceso de elaboración queda expuesto a diversas condiciones que pueden afectar a sus propiedades físicas y mecánicas. Por esta razón, es necesario realizar un control de las características de los materiales empleados, dosificación de la mezcla, condiciones de curado, entre otros, para garantizar la resistencia proyectada (Kovler y Roussel, 2011; Wang y Subramaniam, 2011; Carcaño y Moreno, 2005). Mehta y Monteiro (2014) mencionan que la resistencia a la compresión del hormigón es influenciada por la relación (a/c), tamaño máximo del agregado, edad del hormigón y la velocidad de carga.

La determinación de la resistencia a la compresión del hormigón consiste en la aplicación de una velocidad de carga por unidad de área a un espécimen o muestra de hormigón (conocidos como cilindros) (ASTM, 2015). También puede ser determinada en estructuras existentes mediante la extracción de núcleos (ASTM, 2020); sin embargo, estos ensayos presentan limitaciones y pueden comprometer la estructura (Rocha y Póvoas, 2019). En este sentido, es importante determinar las características representativas del hormigón (resistencia a la compresión) sin dañar la estructura (International Atomic Energy Agency, 2000).

En la actualidad existen diversos ensayos no destructivos que permiten evaluar de forma rápida y eficaz el estado de una estructura, además de estimar sus propiedades mecánicas (Chang *et al.*, 2003; McCann y Forde, 2001; Rehman *et al.*, 2016).

De los diversos métodos no destructivos disponibles (McCann y Forde, 2001), la Velocidad de Pulso de Ultrasonico (VPU) ha demostrado varias aplicaciones en hormigón (Aggelis *et al.*, 2010; Lorenzi *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019), siendo empleada por más de 60 años para evaluar la calidad del hormigón (Kraub y Hariri, 2006). El ensayo se basa en la aplicación de la propagación de ondas ultrasónicas a través del hormigón, donde por medio de un transductor emisor y un receptor, la onda recorre el material; la velocidad se obtiene entre la división de la distancia de los transductores y el tiempo proporcionado por el equipo (Cánovas, 1988; Quispe, 2015). La medición de las velocidades puede ser realizada por tres métodos de operación: transmisión directa, indirecta y semidirecta, donde los transductores varían de posición (Mehta y Monteiro, 2014; IAEA, 2000; Malhotra y Carino, 2004; ASTM, 2003).

Cruz *et al.* (2014) señalan que la transmisión directa es la aplicación más deseable y satisfactoria al momento de evaluar la calidad del hormigón, puesto que los transductores se encuentran en las caras opuestas del material. Sin embargo, al realizar el ensayo in situ, no siempre se logra tener acceso a las caras opuestas de los elementos inspeccionados, por lo tanto, normalmente, se aplica la transmisión indirecta, realizando lecturas sobre una de las caras del elemento. En este sentido, la presente investigación tiene por objetivo estimar la resistencia a compresión de hormigón mediante el ensayo de VPU por transmisión indirecta.

2. PROCEDIMIENTO

Para alcanzar el objetivo de la presente investigación, se elaboraron cuerpos prismáticos de hormigón (20 cm x 20 cm x 25 cm), donde se realizó el ensayo de VPU por transmisión indirecta. Posteriormente se efectuó una regresión lineal entre los resultados del ensayo de VPU y la resistencia a la compresión de los cuerpos prismáticos, valor determinado por medio de muestras cilíndricas. Se consideraron dos resistencias a la compresión de diseño (f_c'), 21 y 28 MPa, siendo 6 cuerpos prismáticos cada una.

El procedimiento se realizó por medio de tres etapas. La primera consistió en la caracterización de los materiales para la elaboración del hormigón, además de definir la dosificación para las dos resistencias a la compresión de diseño (f_c'). En la segunda etapa se elaboraron los cuerpos prismáticos con sus respectivas muestras cilíndricas para la determinación de la resistencia a la

compresión. Finalmente, en la tercera etapa, se efectuaron, tanto los ensayos de determinación de resistencia a la compresión en las muestras cilíndricas como los de VPU en los cuerpos prismáticos (transmisión indirecta). Los datos fueron analizados mediante regresión lineal. La Figura 1 resume el procedimiento adoptado.

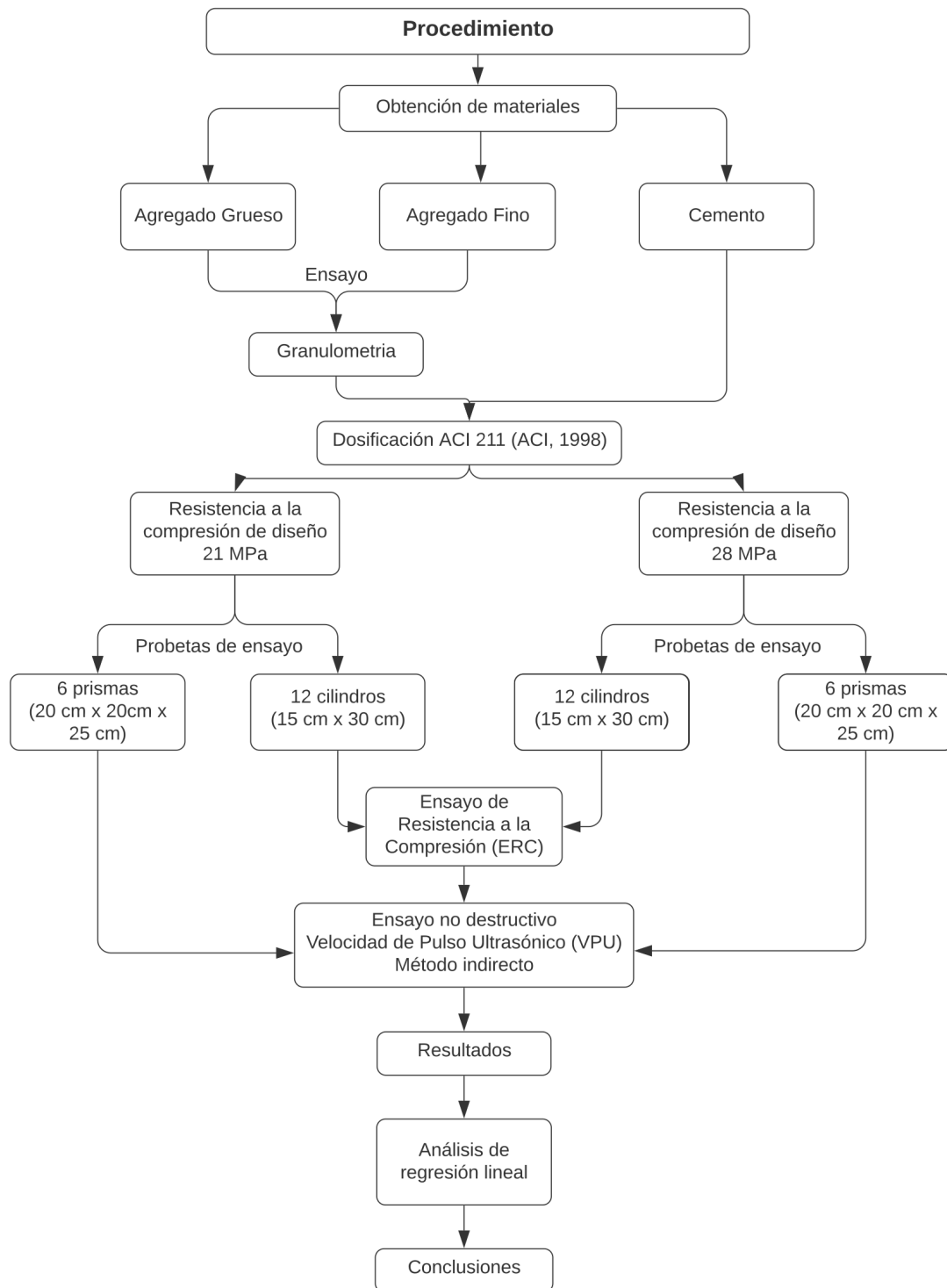


Figura 1. Procedimiento de la investigación

2.1 Caracterización de los materiales utilizados

El agregado grueso utilizado fue de tipo triturado proveniente de Tiquipaya, Cochabamba, Bolivia. El agregado fino utilizado fue de tipo rodado, extraído de Capinota, Cochabamba, Bolivia. El cemento utilizado fue IP-30 de la empresa COBOCE.

Se realizaron ensayos de granulometría siguiendo la normativa ASTM C136 (ASTM, 2006), para el agregado grueso y fino. Las Figuras 2 y 3, muestran los resultados obtenidos.

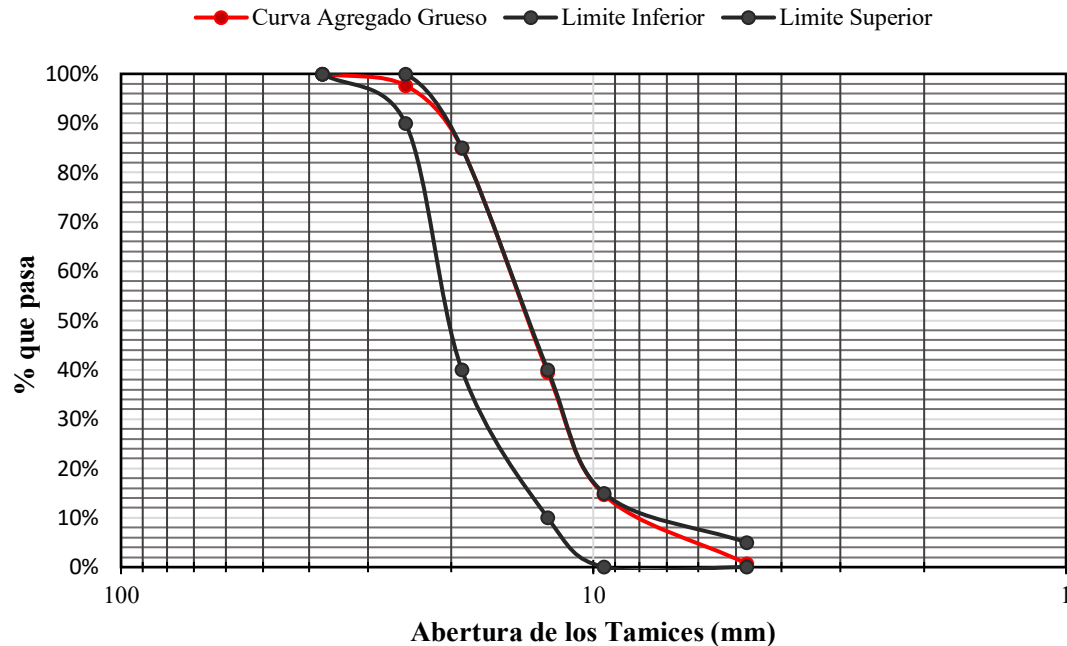


Figura 2 – Curva granulométrica del agregado grueso

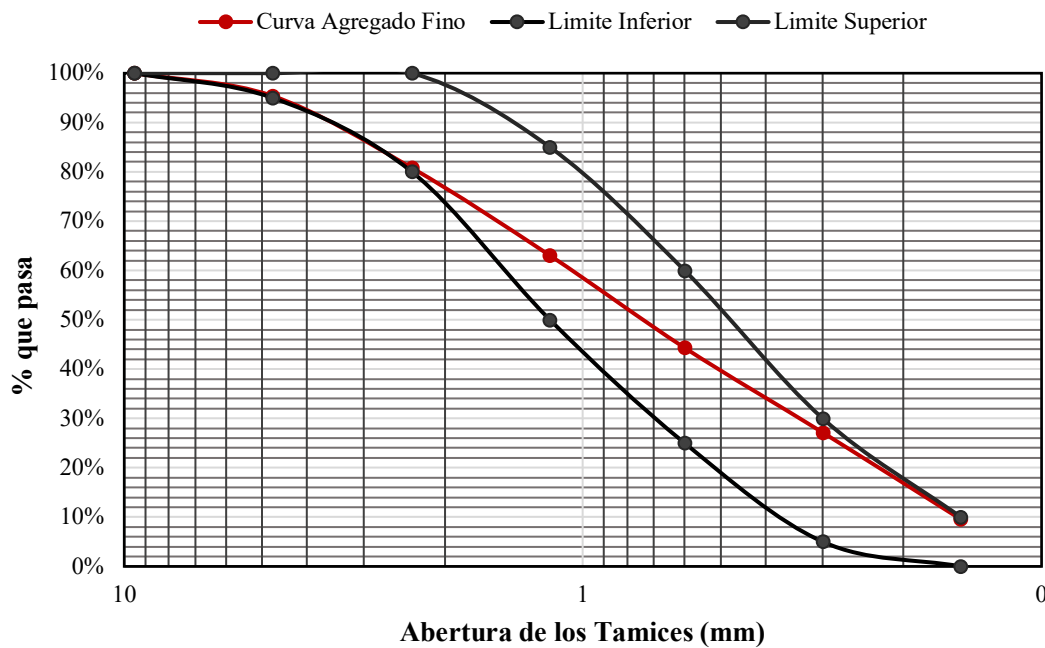


Figura 3. Curva granulométrica del agregado fino

Se realizaron dos dosificaciones de resistencia a la compresión siguiendo la norma ACI 318 (ACI, 2014). Para 21 MPa se utilizó 1:2.24:5.48 (cemento:arena:grava) y una relación agua/cemento (a/c) de 0.64. En el caso de 28 MPa, 1:1.93:4.96 (cemento:arena:grava) y a/c de 0.58.

2.2 Cuerpos prismáticos

Fueron diseñados un total de 12 cuerpos prismáticos, 6 para cada resistencia a la compresión de diseño. La Figura 4 detalla las dimensiones de los cuerpos prismáticos.

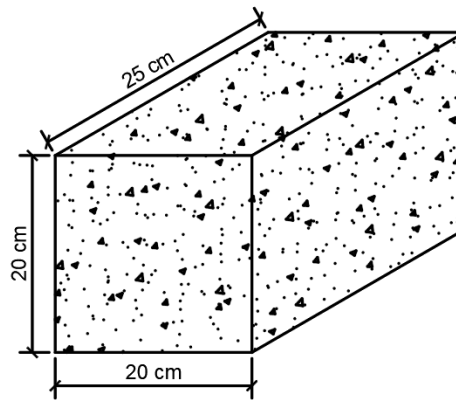


Figura 4. Dimensiones del cuerpo prismático

Durante su elaboración fueron vibrados mecánicamente a fin de eliminar los espacios vacíos y obtener un acabado liso. Se extrajeron dos muestras cilíndricas (15 cm x 30 cm) por cada cuerpo prismático, utilizando el promedio para la determinación de la resistencia a la compresión.

2.3 Ensayos realizados

a) Ensayo de resistencia a la compresión (RC)

A la edad de 28 días fueron ensayadas las muestras cilíndricas siguiendo la norma ASTM C39 (ASTM, 2015). Previamente se tomaron las medidas y pesos de las probetas cilíndricas. La Figura 5 detalla la realización del ensayo.



Figura 5. Ensayo de resistencia a la compresión: a) sin carga y b) con carga

b) Ensayo Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)

A la misma edad de la determinación de la resistencia a la compresión, 28 días, se realizó el ensayo de VPU por transmisión indirecta en los cuerpos prismáticos. Para esto se marcaron dos líneas sobre la cara a ser ensayada, como se muestra en la siguiente Figura 6.

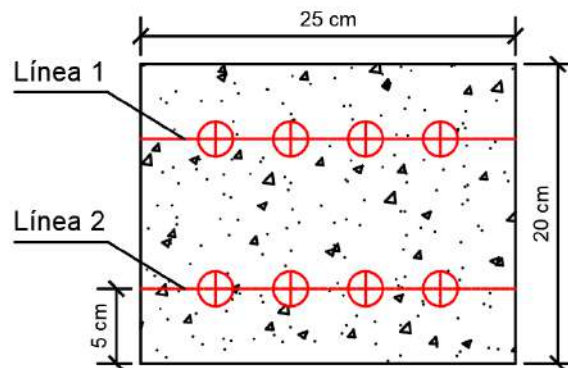


Figura 6. Esquema de la cara ensayada

El transductor emisor se mantuvo en una posición fija y el transductor receptor fue cambiando de posición cada 5 cm, teniendo en total tres mediciones por línea como se muestra en la Figura 7.

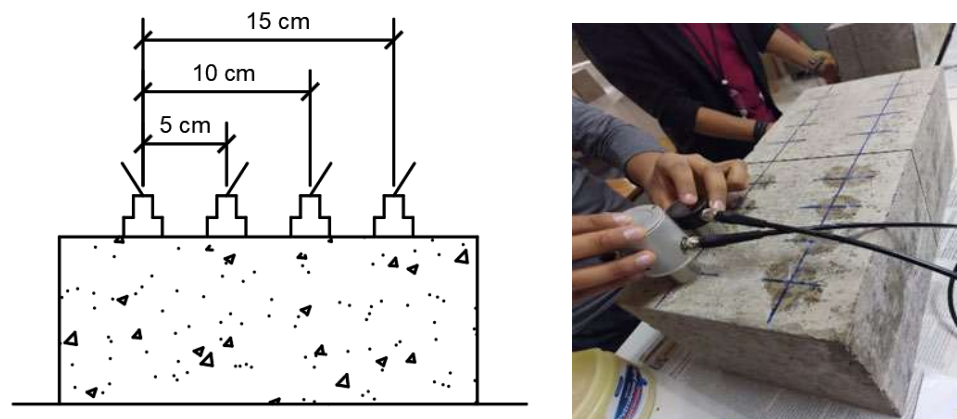


Figura 7. Ensayo de VPU - transmisión indirecta

2.4 Análisis de datos

Los datos fueron analizados mediante regresión lineal utilizando el programa Minitab 19. En total se realizaron tres regresiones lineales: A, para los cuerpos prismáticos $f_c' = 21$ MPa; B, para los cuerpos prismáticos $f_c' = 28$ MPa, y C, para todos los cuerpos prismáticos (ambos f_c').

3. RESULTADOS

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados de los ensayos de VPU y RC para f_c' de 21 y 28 MPa, respectivamente.

Para el ensayo de VPU se sacó el promedio de tiempo (Líneas 1 y 2) por cada distancia (5 cm, 10 cm y 15 cm), posteriormente se calculó la velocidad de cada medición en m/s. Finalmente se obtuvo la media de las tres velocidades por cuerpo prismático, este valor fue utilizado para la regresión lineal con la resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas.

Tabla 1. Resultados de VPU y RC para $f_c' = 21$ MPa

Cuerpo prismático	Distancia (cm)	Tiempo (μ s)		Media del tiempo (μ s)	VPU (m/s)	VPU promedio (m/s)	RC promedio (MPa)
		Línea 1	Línea 2				
CP1	5	19.30	18.60	18.95	2638.52	2720.32	20.24
	10	38.10	33.20	35.65	2805.05		
	15	63.80	46.60	55.20	2717.39		
CP2	5	19.90	15.50	17.70	2824.86	2957.50	25.90
	10	33.00	33.90	33.45	2989.54		
	15	46.60	51.50	49.05	3058.10		
CP3	5	15.10	19.30	17.20	2906.98	2727.30	20.42
	10	33.00	45.20	39.10	2557.54		
	15	56.40	54.00	55.20	2717.39		
CP4	5	17.50	16.30	16.90	2958.58	2920.68	23.28
	10	36.40	41.40	38.90	2570.69		
	15	42.70	50.10	46.40	3232.76		
CP5	5	17.30	15.40	16.35	3058.10	2879.89	20.89
	10	44.70	30.80	37.75	2649.01		
	15	56.90	45.40	51.15	2932.55		
CP6	5	17.80	18.60	18.20	2747.25	2929.06	23.43
	10	31.50	31.50	31.50	3174.60		
	15	50.60	54.10	52.35	2865.33		

Tabla 2. Resultados de VPU y RC para $f_c' = 28$ MPa

Cuerpo prismático	Distancia (cm)	Tiempo (μ s)		Media del tiempo (μ s)	VPU (m/s)	VPU promedio (m/s)	RC promedio (MPa)
		Línea 1	Línea 2				
CP7	5	15.70	13.00	14.35	3484.32	3561.68	35.29
	10	26.70	28.80	27.75	3603.60		
	15	40.50	42.90	41.70	3597.12		
CP8	5	17.30	16.40	16.85	2967.36	3180.75	29.81
	10	29.80	32.40	31.10	3215.43		
	15	46.10	43.20	44.65	3359.46		
CP9	5	18.10	18.30	18.20	2747.25	3045.11	27.94
	10	31.20	31.50	31.35	3189.79		
	15	50.10	43.70	46.90	3198.29		
CP10	5	17.10	15.30	16.20	3086.42	3255.67	29.54
	10	32.00	29.50	30.75	3252.03		
	15	42.70	44.80	43.75	3428.57		
CP11	5	15.90	17.00	16.45	3039.51	3226.34	28.63
	10	29.40	32.00	30.70	3257.33		
	15	41.30	47.40	44.35	3382.19		
CP12	5	13.30	16.30	14.80	3378.38	3477.94	30.56
	10	28.60	30.20	29.40	3401.36		
	15	41.30	40.80	41.05	3654.08		

En las Figuras 8 y 9 se presenta la regresión lineal para los dos tipos de hormigón elaborados junto con los resultados del análisis de varianza (Tabla 3 y 4).

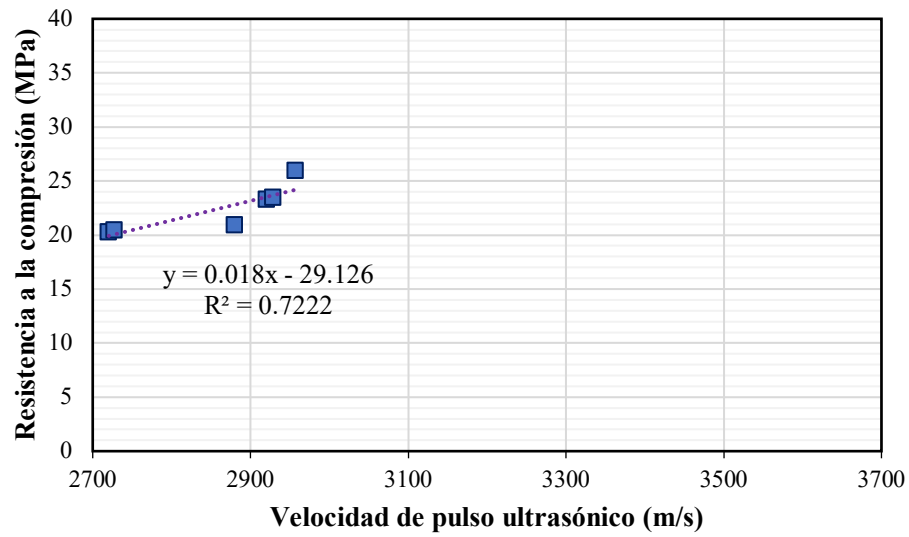


Figura 8. Regresión lineal A

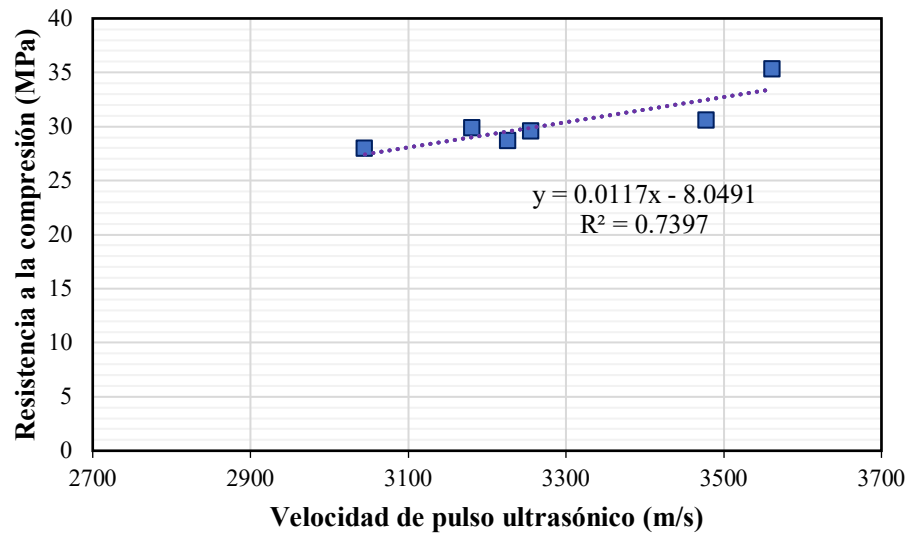


Figura 9. Regresión lineal B

Tabla 3. Análisis de varianza para la regresión lineal A

Fuente	Grado de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor P
Regresión	1	17.99	17.99	10.40	0.032
VPU	1	17.99	17.99	10.40	0.032
Error	4	6.92	1.73		
Total	5	24.92			

Tabla 4. Análisis de varianza para la regresión lineal B

Fuente	Grado de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor P
Regresión	1	25.28	25.28	11.37	0.028
VPU	1	25.28	25.28	11.37	0.028
Error	4	8.90	2.22		
Total	5	34.18			

Se observa que el coeficiente de determinación (R^2) es medio para ambos casos, 0.7222 y 0.7397, siendo más cercano a 0.50 que a 1. Esto indica que los valores estimados de la regresión lineal no son cercanos a los valores reales.

Para el análisis de varianza se utilizó el estadístico F (Tablas 3 y 4), el cual compara el ajuste del modelo lineal con un modelo sin predictores (modelo de solo intercepción). Para esto se plantean dos hipótesis: Hipótesis nula, H_0 : El modelo lineal y de solo intercepción son iguales, e Hipótesis Alternativa, H_1 : el ajuste del modelo de solo intercepción se reduce significativamente en comparación del modelo lineal. Para la presente investigación se utilizó un nivel de significancia de 0.01.

Para ambos modelos el valor P del estadístico F es mayor que el nivel de significancia, por tanto, se acepta la H_0 , los modelos lineales propuestos y de solo intercepción son iguales. Esto quiere decir que las regresiones realizadas no son estadísticamente significativas.

Sin embargo, cuando se consideran todos los datos para la regresión lineal, se observa que el R^2 es elevado, 0.9114 (Figura 10). El modelo propuesto se ajusta mejor a los datos.

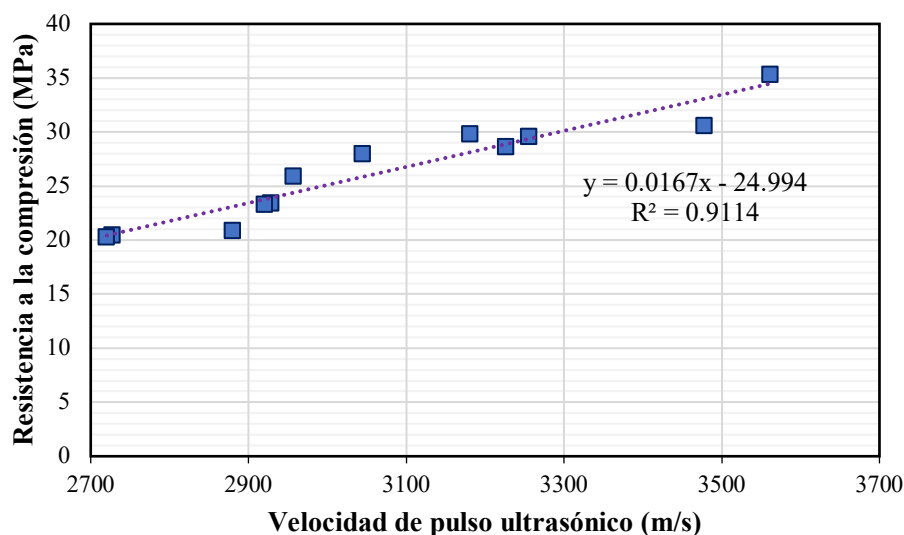


Figura 10. Regresión lineal C

La Tabla 5 presenta el análisis de varianza para la regresión lineal C, donde el valor P del estadístico F es menor que el nivel de significancia, se acepta la H_1 . Entonces el modelo de regresión es estadísticamente significativo, puede ser utilizado para estimar la resistencia a la compresión del hormigón a partir de ensayos de VPU; sin embargo, el modelo se limita a las velocidades de 2700 a 3700 m/s, aproximadamente.

Adicionalmente, para determinar la significancia del coeficiente de correlación de Pearson (R) se aplicó la prueba *t-student*. Se plantearon dos hipótesis: Hipótesis nula, H_0 : $R=0$, no existe

correlación lineal, e Hipótesis alterna, $H1:R \neq 0$, existe correlación lineal. Para esto se calcula el valor t con la ecuación (1), donde N es el número de datos, 12.

Tabla 5. Análisis de varianza para la regresión lineal C

Fuente	Grado de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor P
Regresión	1	225.99	225.99	102.81	0.000
VPU	1	225.99	225.99	102.81	0.000
Error	10	21.98	2.198		
Total	11	247.98			

$$t = \frac{R}{\frac{\sqrt{1-R^2}}{\sqrt{N-2}}} \quad (1)$$

El valor t fue 10.41. El $t_{\alpha, N-2}$ fue obtenido de las tablas de distribución *t-student*, 3.169, para un α (nivel de significancia) de 0.01. Donde $t > t_{\alpha, N-2}$, se acepta la hipótesis alterna, existe correlación lineal.

De los modelos lineales presentados, se observa que los valores de VPU incrementan con la resistencia a compresión del hormigón. El valor del R^2 es elevado, en especial para la regresión lineal C, resultados también reportados por Silva *et al.* (2019) y Güneyli *et al.* (2017). Alcañiz *et al.* (2015) confirman que existe una correlación positiva y estadísticamente significativa entre la resistencia a la compresión del hormigón y los valores de VPU; sin embargo, gran parte de los estudios sobre el asunto solo consideran datos de VPU por transmisión directa. La presente investigación demuestra que la utilización de datos de VPU por transmisión indirecta proporciona, de igual forma, resultados positivos y significativos.

Si bien existen muchos estudios de regresión lineal entre la resistencia a la compresión y VPU, otras investigaciones han presentado relaciones exponenciales con igual o mejores resultados (Tharmaratnam y Tan, 1990). Incluso la utilización de redes neuronales puede estimar la resistencia a compresión con errores menores al 5% (Silva *et al.*, 2021)

4. CONCLUSIONES

En la presente investigación se propuso un modelo de regresión lineal entre los datos obtenidos por el ensayo VPU (transmisión indirecta) y de resistencia a la compresión. Se demostró que los modelos lineales para cada fc' , no presentan un ajuste de regresión lineal estadísticamente significativo. Mientras que, si se consideran todos los datos (ambos fc'), el modelo presenta mejor ajuste. A mayor cantidad de datos y consideración de otras resistencias a la compresión de diseño, el modelo adquiere mayor significancia.

La tendencia de la regresión es positiva, indicando que a mayor VPU, la resistencia a la compresión aumenta, esto debido a que la onda ultrasónica viaja de forma más rápida en hormigones de mayor calidad (menores espacios vacíos y menor relación a/c), como es reportado en la literatura.

Si bien el modelo propuesto presenta un buen ajuste, está limitado a las características de los materiales y condiciones del ensayo. Investigaciones futuras pueden considerar otras variables y observar su influencia en la estimación de la resistencia a la compresión del hormigón por medio de ensayos de VPU, tales como distancia entre los transductores y transmisión semidirecta. Incluso se pueden considerar modelos que no sean necesariamente lineales para obtener una mejor estimación de la resistencia a la compresión.

5. REFERENCIAS

- Aggelis, D. G., Kordatos, E. Z., Soulioti, D. V., and Matikas, T. E. (2010), Combined use of thermography and ultrasound for the characterization of subsurface cracks in concrete. *Construction and Building Materials*. 24(10):1888-1897. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.014>
- Alcañiz, J., Louis, M., Sánchez, F. and Lasheras, A. (2015), Estudio en estructuras de hormigón armado. Velocidad de ultrasonidos y resistencia a compresión. *Revista Científica*, 21:19-28. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2015.21.a2>
- American Concrete Institute – ACI. (2014), *ACI CODE-318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. ACI, Estados Unidos.
- American Society for Standard Testing and Materials - ASTM. (2015), *ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. <https://doi.org/10.1520/C0039>
- American Society of Testing and Materials - ASTM. (2003), *ASTM C597-03 Standard Test method for pulse velocity through concrete*. <https://doi.org/10.1520/C0597-16>
- American Society of Testing and Materials - ASTM. (2006), *ASTM C136-06 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*. <https://doi.org/10.1520/C0136-06>
- American Society of Testing and Materials - ASTM. (2020), *ASTM C42/C42M-20 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*. https://doi.org/10.1520/C0042_C0042M-20
- International Atomic Energy Agency - IAEA. *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures*. IAEA, Austria, 2000, 100-128.
- Cánovas, M.F. (1988), “*Patología e terapia do concreto armado*”. PINI, São Paulo, Brasil, p. 522.
- Carcaño, S. and Moreno, E. (2005), Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido sub-húmedo. *Ingeniería Revista Académica*. 9(3):5-17.
- Chang, P., Flatau, A., and Liu, S. (2003), Review paper: health monitoring of civil infrastructure. *Structural Health Monitoring*. 2(3):257–267.
- Cruz, R., Quintero, L. A., and Herrera, J. (2014), Evaluación del efecto de barras de refuerzo en concreto sobre las medidas de velocidad de pulso ultrasónico (VPU). *Revista Colombiana de Materiales*. (5):107-113.
- Güneyli, H., Karahan, S. and Güneyli, A. (2017), Water content and temperature effect on ultrasonic pulse velocity of concrete. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 53(2):159-166. <https://doi.org/10.1134/S1061830917020024>
- International Atomic Energy Agency. (2002). “*Guidebook on non-destructive testing of concrete structures*”. IAEA, Viena, Austria, p. 242.
- Kovler, K. and Roussel, N. (2011), Properties of Fresh and Hardened Concrete. *Cement and Concrete Research*. 41(7):775-792. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.009>
- Kraub, M. and Hariri, K. (2006), Determination of initial degree of hydration for improvement of early-age properties of concrete using ultrasonic wave propagation. *Cement and Concrete Composites*. 28(4):299-306. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.02.007>
- Lorenzi, A., Argenta Chies, J., Santos Adamatti, D., and Pinto da Silva Filho, L. C. (2017), Evaluation of concrete flaw detection capability by means of ultrasonic tests. *Revista ALCONPAT*. 7(3):286-301. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.127>
- Malhotra, V. M., Carino, N. J. (2004), “*Handbook on nondestructive testing of concrete*”. ASTM International CRC Press, United States of America, p. 384.

- McCann, D. M., and Forde, M. C. (2001), Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures. *Ndt & E International*. 34(2):71-84. [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(00\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(00)00032-3)
- Mehta, P. K., Monteiro P. J. (2014), “*Concrete, Microstructure, properties, and materials*”. Mc Graw Hill, United States of America, p. 704.
- Quispe, L. E. A. (2015), Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido. *Civilizate*. (6):18-20.
- Rehman, S. K. U., Ibrahim, Z., Memon, S. A. and Jameel, M. (2016), Nondestructive test methods for concrete bridges. *Construction and building materials*. 107:58-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.011>
- Rocha, J. H. A., and Póvoas, Y. V. (2019), Detection of Delaminations in Reinforced Concrete Bridges Using Infrared Thermography. *Revista ingeniería de construcción*. 34(1):55-64. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000100055>
- Silva, M. T., Rocha, J. H. A. and Monteiro, E. C. B. (2019), Estimación da profundidade de fissuras em concreto através da velocidade de ondas ultrassônicas. *Matéria (Rio de Janeiro)*. 24(4). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190004.0847>
- Silva, F. A. N., Nogueira, C. L., Silva, J. A., Araújo, A. V. P., Azevedo, A. C. and Delgado, J. M. P. Q. (2019), Ultrasonic Assessment of Damage in Concrete under Compressive and Thermal Loading Using Longitudinal and Transverse Waves. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 55(11):808–816. <https://doi.org/10.1134/s1061830919110081>
- Silva, F. A., Delgado, J. M., Cavalcanti, R. S., Azevedo, A. C., Guimarães, A. S. and Lima, A. G. (2021), Use of Nondestructive Testing of Ultrasound and Artificial Neural Networks to Estimate Compressive Strength of Concrete. *Buildings*, 11(2):44. <https://doi.org/10.3390/buildings11020044>
- Tharmaratnam, K., and Tan, B. S. (1990), Attenuation of ultrasonic pulse in cement mortar. *Cement and Concrete research*, 20(3):335-345. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(90\)90022-P](https://doi.org/10.1016/0008-8846(90)90022-P)
- Wang, X. and Subramaniam, K. V. (2011), Ultrasonic Monitoring of Capillary Porosity and Elastic Properties in Hydrating Cement Paste. *Cemente & Concrete Composites*. 33(3):389-401. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.11.001>

Aplicaciones de la fibra óptica a la tecnología de los “Digital Twins” en estructuras.

* S. Villalba¹, V. Alegre², V. Ródenas³

*Sergi Villalba Herrero: info@cotca.com

¹ COTCA, S.A., UPC, Barcelona, España

² COTCA, S.A., UPC, Barcelona, España

³ COTCA, S.A., Barcelona, España

RESUMEN

La instrumentación de variables significativas en los puntos críticos de una estructura son ensayos de información sobre la respuesta real de la estructura.

Si se incorpora esa información al modelo inicial se está retroalimentando el modelo con el comportamiento real de la estructura. Ese proceso de incorporación de información tiene que ser de las variables importantes y en todos los puntos críticos que se considere. Con ello, se genera un prototipo que es un “gemelo digital” (Digital Twin) del comportamiento real de la infraestructura. De entre los muchos ensayos de información que permiten avanzar en la creación de “gemelos digitales” se presenta la fibra óptica que, midiendo microdeformaciones y temperatura en el tiempo y el espacio, es una buena herramienta aplicable al futuro “gemelo digital”.

Palabras clave: fibra óptica, gemelo digital, microdeformaciones.

ABSTRACT

The instrumentation of significant variables at the critical points of a structure are information tests on the real response of the structure.

If this information is incorporated into the initial model, the model is being fed back with the real behavior of the structure. This process of incorporating information must be one of the important variables and in all the critical points considered. With this, a prototype is generated that is a “digital twin” of the real behavior of my infrastructure.

Among the many information tests that allow progress in the creation of “digital twins”, the optical fiber is presented, which by measuring microdeformations and temperature in time and space is a good tool applicable to the future “digital twin”.

Key words: optical fiber, digital twin, microdeformations.

RESUMO

A instrumentação de variáveis significativas nos pontos críticos de uma estrutura são testes de informação sobre a resposta real da estrutura.

Se essa informação for incorporada ao modelo inicial, o modelo está sendo realimentado com o comportamento real da estrutura. Este processo de incorporação de informações deve ser uma das variáveis importantes e em todos os pontos críticos considerados. Com isso, é gerado um protótipo que é um “gêmeo digital” do real comportamento da infraestrutura.

Entre os muitos testes de informação que permitem avançar na criação de “gêmeos digitais”, apresenta-se a fibra óptica que, ao medir microdeformações e temperatura no tempo e no espaço, é uma boa ferramenta aplicável ao futuro “gêmeo digital”.

Palavras-chave: fibra óptica, gêmeo digital, microdeformações.

1. INTRODUCCIÓN A LA FIBRA ÓPTICA. LOS GEMELOS DIGITALES

Cuando se está construyendo una estructura (un puente, una presa) cada vez es más necesario conocer el comportamiento real de la misma más allá del proyecto inicial. En una primera fase para tener el proyecto “as built” a partir de los ensayos de control, y más adelante para poder racionalizar los planes de mantenimiento y evaluar el riesgo con **ensayos de información**, que permiten obtener valores del comportamiento real de la estructura, o de las propiedades que nos interesan de la misma en momentos determinados a lo largo de su vida útil. El objetivo final siempre es el mismo, valorar el riesgo de daños a través del estudio de los estados límites últimos y de servicio de la infraestructura o de una parte de ella.

El riesgo se conocerá mejor si conocemos la respuesta real de la estructura a través de modelos, prototipos y algoritmos que representen la realidad en tiempo real. Estos modelos se mejoran instrumentando en el tiempo y en el espacio las zonas críticas y clave. Con ello se es capaz de conocer el comportamiento de la estructura a través de su historia de cargas, porque se mide la respuesta de la estructura o infraestructura a las acciones y a las condiciones de contorno que se tienen instrumentadas de forma continua o semicontinua en el tiempo.

En las estructuras modernas se puede avanzar en la creación de un modelo digital con toda la “historia de cargas” desde el principio de la obra. A medida que se gestiona la obra y se van midiendo “in situ” sus variables fundamentales, se puede mejorar el modelo inicial retroalimentándolo al incorporar los datos de la respuesta real y creando un “gemelo digital” del comportamiento de la estructura que, a su vez, permitirá simular situaciones de riesgo ante acciones singulares y conocer su respuesta. De esta forma podemos adelantarnos a la situación, por ejemplo, de acciones extraordinarias, porque al evaluar el riesgo puedo establecer un plan de contingencias que avise de un riesgo excesivo.

Una herramienta muy apta para estudiar las microdeformaciones, tensiones y variaciones térmicas en la estructura son los sistemas de fibra óptica (SFO). La fibra óptica está basada en el principio de propagación de la luz a través de un medio (cable de aleación de cristales de sílice).

Mediante la manipulación de factores ambientales que influyen en las propiedades de la luz que viaja a través de la fibra, ésta puede ser utilizada como medio para detectar e incluso medir perturbaciones externas en forma discreta o distribuida.

Las tecnologías de detección más conocidas y sus principales características se adjuntan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tecnologías de detección.

Tecnología de sensor	Tipo de transductor	Rango de sensor	Resolución espacial	Principales medidas
Raman OTDR	Distribuido	1 km [73] 37 km [74]	1 cm [73] 17 m [74]	Temperatura
BOTDR	Distribuido	20-50 km	≈ 1 m	Temperatura y deformación
BOTDA	Distribuido	150-200 km [13]	2 cm (2 km) [75] 2 m (150 km) [76]	Temperatura y deformación
Rayleigh OFDR/OBR	Distribuido	50-70 m [11]	≈ 1 mm [66]	Temperatura y deformación
FBG	Semi-distribuido	≈ 100 canales	2 mm (longitud de Bragg) [21]	Temperatura, deformación y desplazamiento

En la anterior tabla se observa la presencia de sensores basados en el dominio del tiempo (Raman Brillouin) y otros (Rayleigh) en el de la frecuencia. El tipo de transductor puede ser distribuido o semi-distribuido. Los rangos de detección van de 50m (Rayleigh) con varios canales desde un multiplexador a 150km (Brillouin). La resolución espacial es de 1mm para Rayleigh y de metros o centímetros para Brillouin. Y la precisión en sensores distribuidos de Rayleigh son $2\mu\epsilon$ y $0,2^{\circ}\text{C}$ y en Brillouin en el mejor de los casos actualmente $17\mu\epsilon$ y 2°C .

Cada sistema tiene su campo de aplicación y, por ejemplo, para detectar fisuras el más indicado es el tipo OFDR/OBR de Rayleigh, cuya tecnología ha sido la empleada en el caso de este artículo. En ensayos de laboratorio (1) se ha podido comprobar que una vez adherida la fibra a la estructura puede ayudar o prevenir daños al detectar la aparición de fisuras llegando a indicar aberturas de 2mm antes de desacomplarse.

Una vez instrumentada con fibra óptica una viga de un puente o una sección de un túnel o una zona considerada crítica en una estructura, por ejemplo, una fisura, se pueden hacer lecturas continuas o lecturas en el tiempo cuando se considera necesario porque la acción que se va a realizar sobre la estructura lo requiere, o porque queremos conocer la respuesta real ante acciones extraordinarias. La fibra puede también quedar embebida en el hormigón, pudiendo leer microdeformaciones cuando se considere tanto en el tiempo como en el espacio donde la hemos colocado.

Si se detectan los problemas con antelación se podrán resolver más rápidamente. Al detectar la fisura, se está avisando de una posible disfunción que tu “gemelo digital” puede tener contemplado como aviso, alerta o alarma en el plan de contingencias de la estructura.

El gemelo digital, en los puntos de la estructura donde está instrumentado es una réplica virtual realizada a imagen y semejanza de la estructura, midiendo los parámetros importantes en las secciones críticas tanto en el proceso de ejecución como durante la puesta en servicio. Con un “gemelo digital” que incorpore datos en tiempo real captados a través de sensores como la fibra óptica, acelerómetros, etc., se puede prever el comportamiento del puente, presa, túnel, a partir de, por ejemplo, su respuesta en secciones críticas.

Podemos predecir virtualmente todo lo que sucederá en el mundo físico y mejorar a partir del comportamiento conocido en tiempo real de las secciones críticas la respuesta de la estructura cuando sea necesario (2).

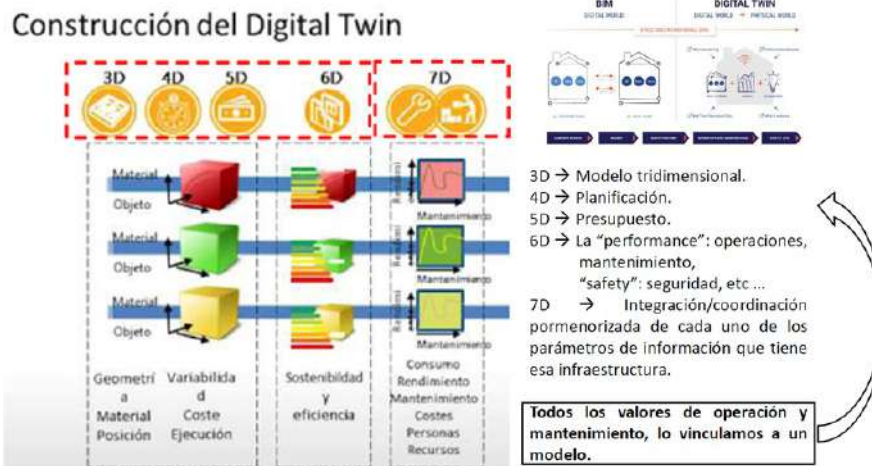


Figura 1. Introducción a la tecnología DT (Digital Twin).

En las aplicaciones aquí explicadas no se llega más que a las 4 de las 7 dimensiones que supone un "digital twin" completo. Es decir, los ejemplos de aplicación no incorporan la planificación (4), presupuesto (5), ni su consideración conjunta (6), pero sí se retroalimenta con los ensayos de información e instrumentación (solo con la información de la estructura) para tener al día el DT (7), y valorar el riesgo de la estructura a partir de su comportamiento real.

2. APLICACIÓN A UNA TORRE DE REFRIGERACIÓN

La torre de refrigeración estudiada es un hiperboloide parabólico de 120m de altura con una lámina de 14cm, un anillo superior y otro inferior apoyado sobre pilares y una cimentación. La vida útil empieza con la puesta en funcionamiento en 1972. Se dispone de la información que en 1987-88 se hace una actuación de durabilidad. En 2007 y 2009 se acelera la evolución de los daños con la aparición de una grieta principal sensiblemente vertical de 70m y otra secundaria. Se hace un estudio de daños y una digitalización de la torre y se modeliza el comportamiento, se define el estado actual y tras el estudio de daños con los ensayos de información correspondientes que indican el peso de las variables importantes (viento, durabilidad, terreno, geometría, ...) se proponen unas operaciones que dan lugar a un proyecto de reparación de carácter urgente y otras de seguimiento.

Central Térmica de Puertollano (2007 – 2012)

Características geométricas y dimensiones de la torre:

- ✓ Altura total: 120 m.
- ✓ Altura pilares: 7.65 m.
- ✓ Número pilares: 88 diagonales.
- ✓ Diámetro base de Torre: 87.36 m.
- ✓ Diámetro coronación: 54.49 m.
- ✓ Diámetro garganta: 48.00 m.
- ✓ Espesor medio lámina de revolución: 0.14 m.
- ✓ Viga coronación: 1.00x0.30 m.
- ✓ Anillo inferior (viga de unión entre pilares): 0.75x.45 m.
- ✓ Hormigón: fck : 225 kg/cm².
- ✓ Acero de armar: B 400S.



Figura 2. Aplicación a una torre de refrigeración.

Para el seguimiento, entre los muchos ensayos de información que se realizan (resistencia del hormigón, porosidad, comportamiento dinámico, topografía, escáner, ...), se coloca la fibra óptica en la garganta y en la fisura principal (3). Se hizo un seguimiento recogiendo información de la fibra (Figura 3), la topografía, los acelerómetros, etc., durante 8 meses (Figura 4 y Figura 4. Lecturas de topografía.

). En lo que se refiere a la fibra, las microdeformaciones medidas, como se conoce la ecuación constitutiva del hormigón, dan tensiones en las secciones críticas estudiadas, que son la grieta principal y la garganta. Ahora se puede retroalimentar el modelo de comportamiento ya que no solo se tiene información de tensiones, sino que se han hecho los END (ensayos no destructivos) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) como un escáner con la geometría real que en la zona dañada no es un hiperboloide. También se mide topográficamente la evolución de los movimientos y mediante una acción indirecta se incorpora en el modelo. Ahora se está en condiciones de predecir mejor el comportamiento porque se conoce mejor el estado actual.

Retroalimentación al MODELO



Retroalimentación continua durante 8 MESES

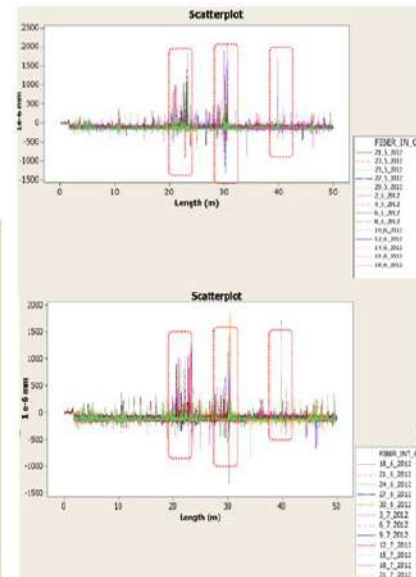
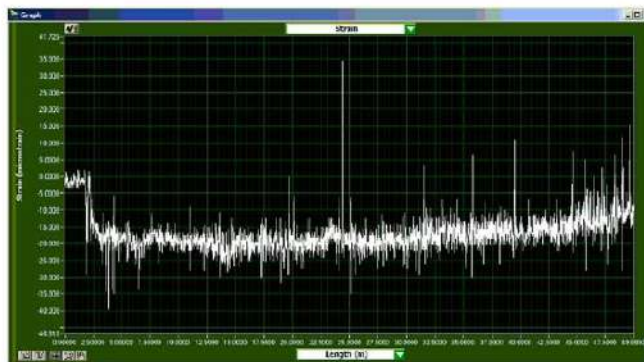


Figura 3. Seguimiento de la fibra óptica.

Prismas en el interior de Grieta Reparada Principal

Retroalimentación al MODELO

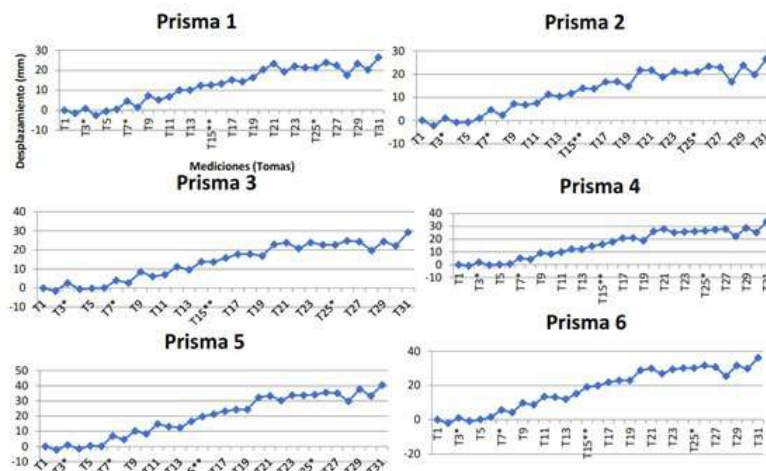
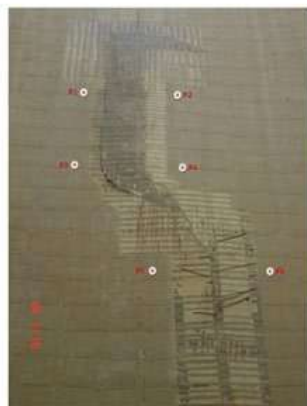


Figura 4. Lecturas de topografía.

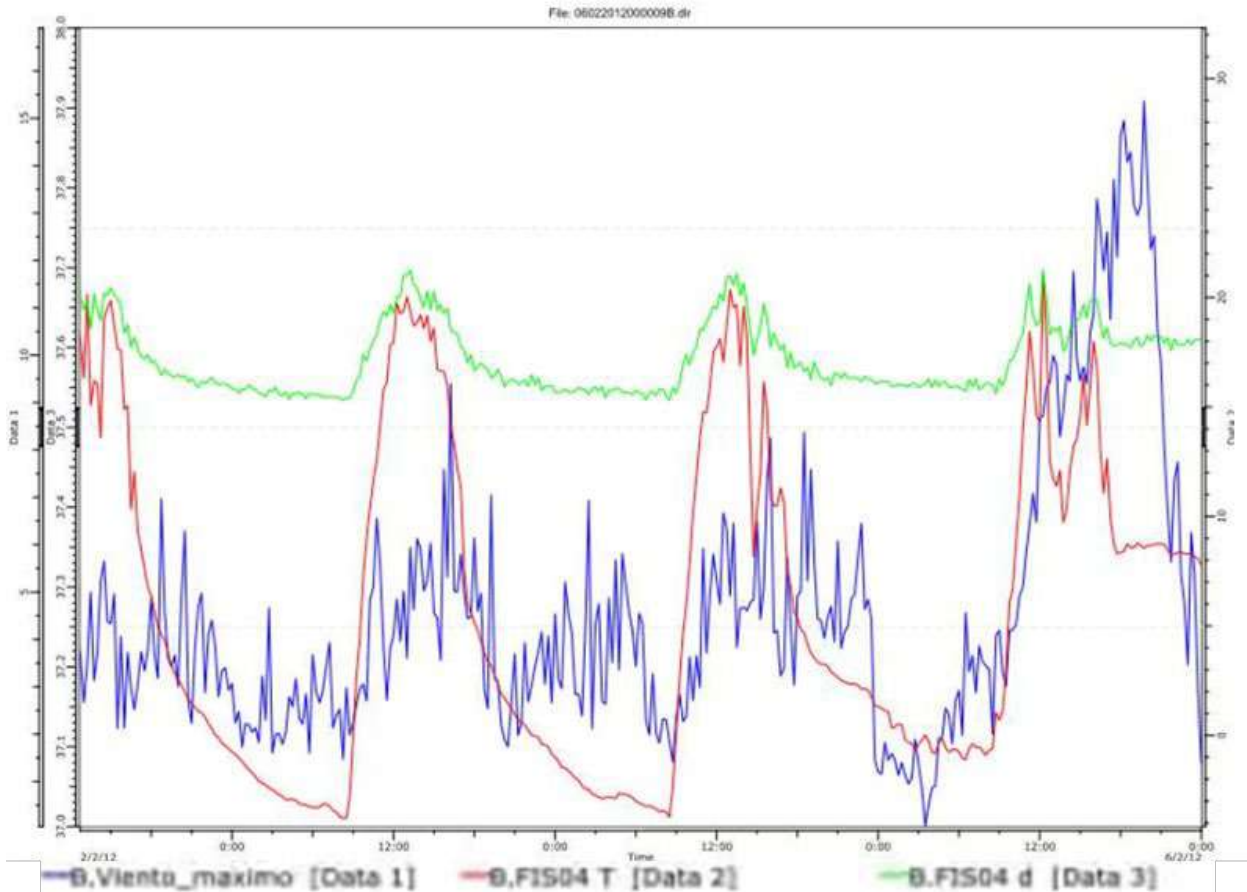


Figura 5. Lecturas de acelerómetros, fisurómetros, termómetros embebidos.

Implementación del **MODELO 3D.F.E.M.**

ENSAYOS REALIZADOS

1. Ensayos de resistencia del hormigón (7 testigos).
2. Ensayos en el acero corrugado (3 barras).
3. Espesores de carbonatación.
4. Ensayos de densidad, porosidad y absorción de agua (12 muestras).
5. Muestreo de espesores de pared (11).
6. Ensayos de difracción del hormigón (3).
7. Ensayos de agresividad del agua.
8. Ensayo de penetración de agua (1).
9. Ensayo del revestimiento activo.
10. Ensayos de roseta.
11. Ensayos de dianas entorno a la grieta.
12. Estudio del terreno.
13. Acelerómetros para descartar el efecto de unas voladuras cercanas.
14. Escáner de la geometría deformada.

La existencia de **daños estructurales locales** y de **durabilidad generales**, afectan a las **condiciones de seguridad** de la torre de refrigeración

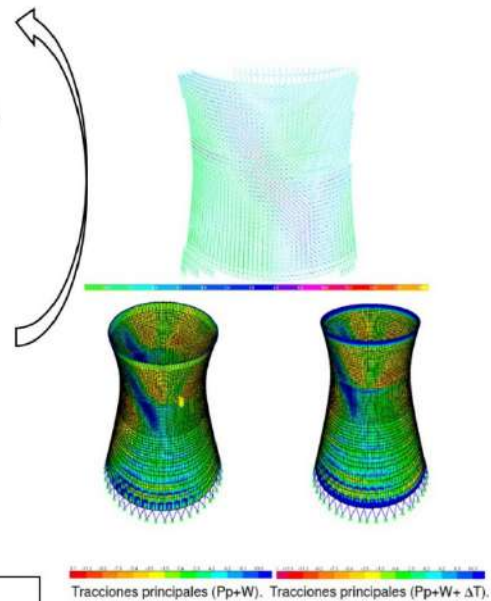


Figura 6. Ensayos END realizados.

Si se tiene el comportamiento en tiempo real y se traspasa al modelo, en este caso manualmente, se puede calibrar el DT y valorar el riesgo con mayor certidumbre.

Retroalimentación : FASE 7D de la TECNOLOGÍA D.T.

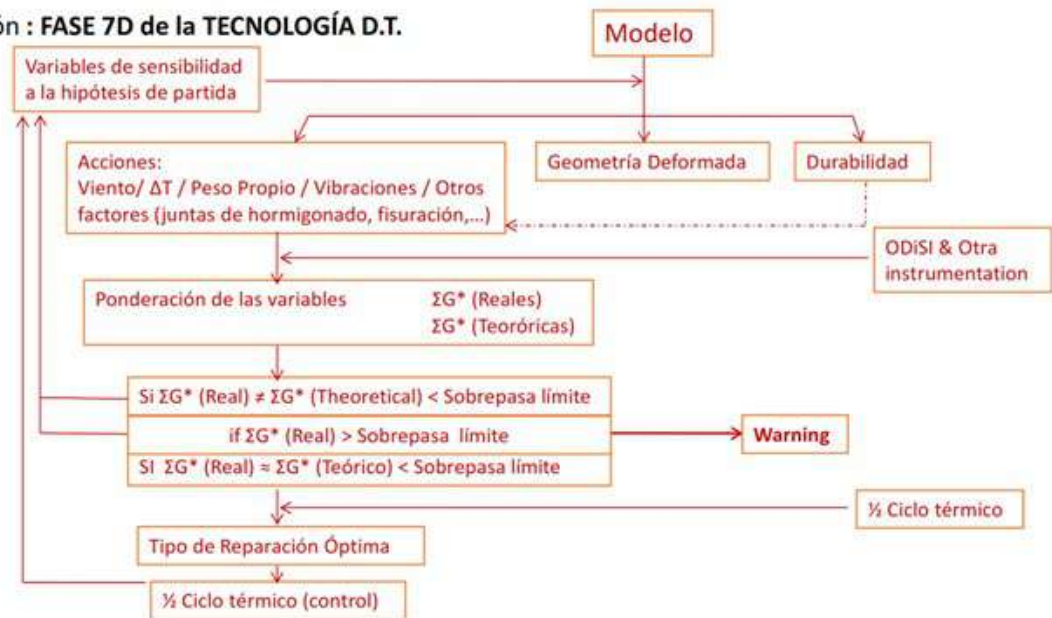


Figura 7. Retroalimentación del modelo.

Con esta nueva ponderación de pesos reales, rigideces de la reparación y estudios de sensibilidad, se puede optimizar la reparación de acuerdo con el modelo hipercalibrado. Véase el proceso de retroalimentación en este caso (Figura 7).

El nuevo proyecto de reparación de 2012 mejoraba la solución planteada de forma urgente en 2008 porque se implementaba toda la información de ensayos e instrumentación, en el DT creado de la torre.

3. APLICACIÓN A UN TÚNEL DE LA LÍNEA 9 DEL METRO DE BARCELONA

En Transports Metropolitans de Barcelona (TMB), se hizo en 2002 una definición del estado de la red de metro que, entre otros trabajos, dejó un túnel virtual de los entonces 92km de red. Esto se realizó con un láser escáner que, montado en un vehículo y direccionado perpendicularmente a la dirección de la marcha, proporcionaba la sección transversal y la imagen real digitalizada (4). Si ahora, 20 años después, instrumentamos la sección transversal con fibra óptica podemos, por ejemplo, ver qué ovalización se ha producido en estos últimos 20 años en esa sección y actuar en consecuencia.

En el ejemplo presentado, de incorporación de ensayos de información para crear un modelo digital, no existe la información de los 20 años al ser una línea nueva, pero si se instrumenta ahora se tendrá información a incorporar en un futuro “gemelo digital” que incorpore todo lo instrumentado en secciones críticas de ahora en adelante.

La Línea 9 Norte de Barcelona consta de 8 estaciones con una longitud de línea de 7,8km con una durada media de trayecto de 15 minutos. Se presenta un ejemplo de un proceso completo de instrumentación con fibra óptica durante 29 meses de un túnel sobre el que se coloca un edificio. La instrumentación de la sección crítica ha permitido validar el modelo que se realizó y, lo que es

más relevante, calibrar lo con la respuesta real de cada una de las operaciones generales llevadas a cabo sobre el túnel, y todas las intermedias que se han ido midiendo. Ello permite avanzar en la creación del gemelo digital, que no es de todo el túnel, pero sí de ese tramo instrumentado. El tramo instrumentado corresponde a la Vía 2 entre las paradas de Bon Pastor y Onze de Setembre. La monitorización de la Fibra Óptica (FO) se ha ubicado en el punto estratégico de influencia y afectación por la construcción del edificio I1 en el Barrio del Bon Pastor de Barcelona.

El túnel instrumentado de la L9 es una sección típica con vías superpuestas y losa intermedia. La fibra óptica se ha ubicado en el perímetro de la sección transversal, siempre de acuerdo con los criterios y/o indicaciones de la Propiedad. La Figura 8 muestra su colocación. La colocación de la fibra se ha llevado a cabo siguiendo el perímetro de una sección transversal en la posición indicada en planta.

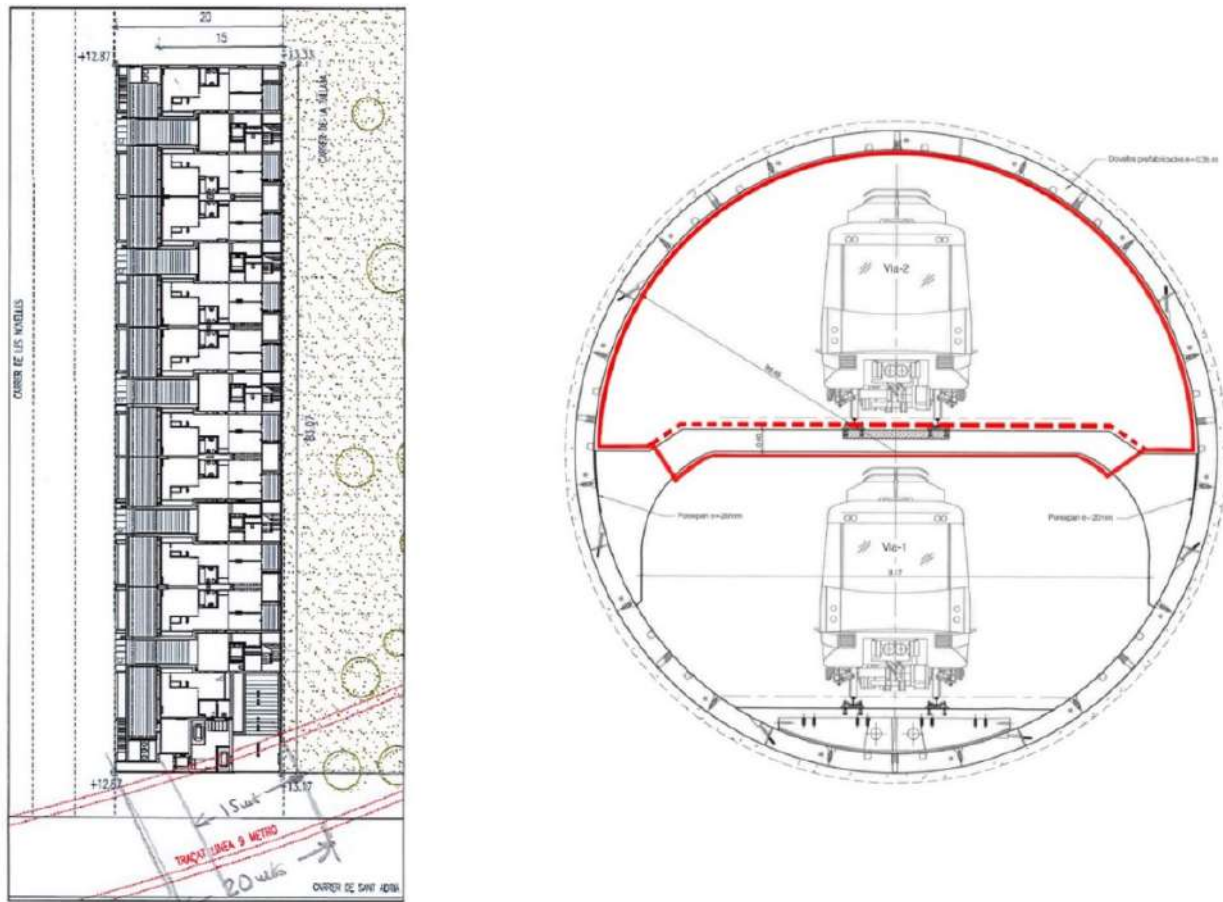
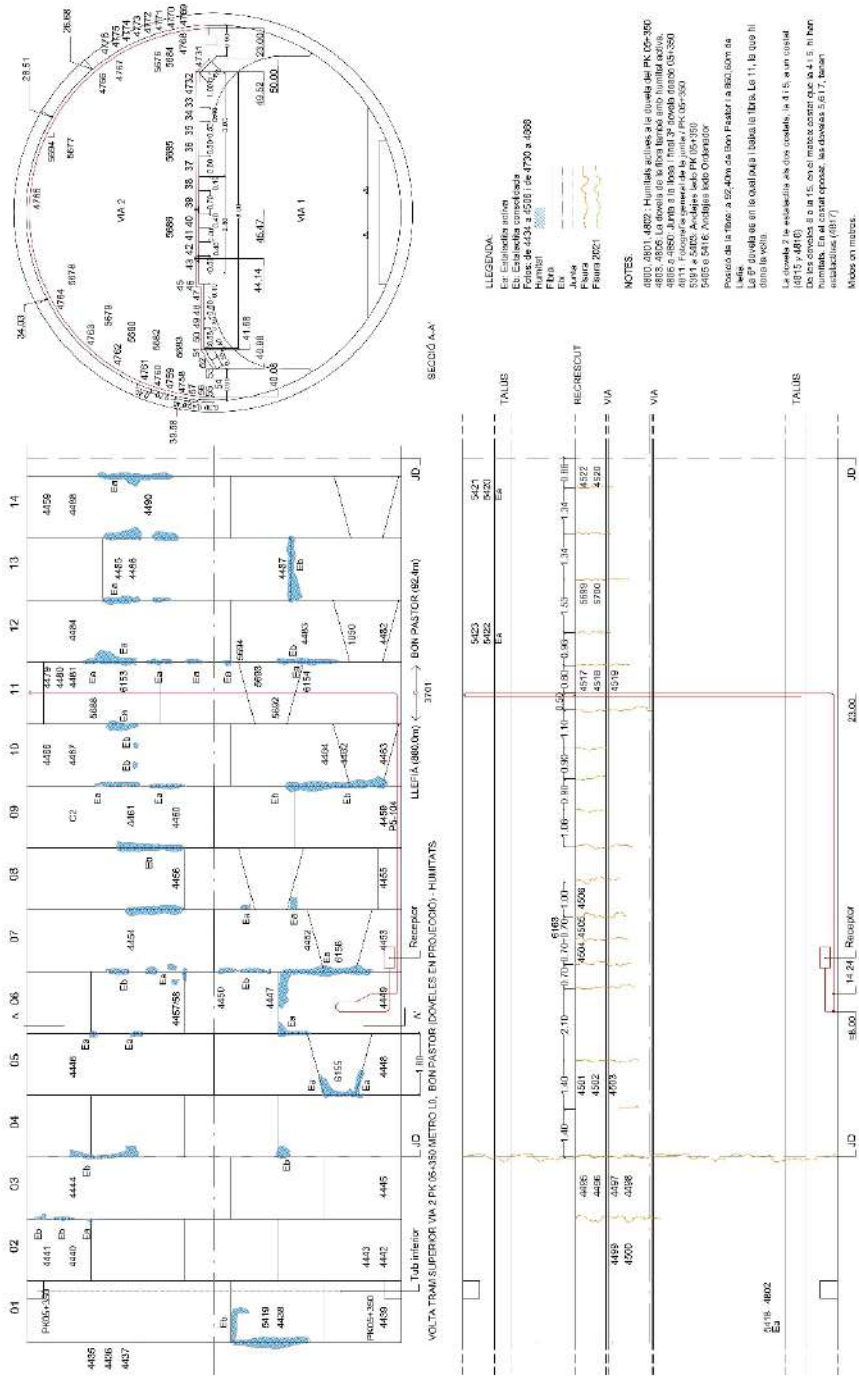


Figura 8. Planta de detalle del edificio en relación con el túnel del metro y sección del trazado de la fibra óptica.

La instrumentación planteada mide microdeformaciones y temperatura en la sección transversal del túnel, es decir, los posibles movimientos o disfunciones de la sección transversal.

En la lectura inicial de ceros con la fibra óptica se hace un catálogo de las disfunciones actuales (fisuras, humedades, coqueas, rugosidades anómalas, etc.).



ESTADÍSTICA DEL ESTADO ACTUAL		ESTADÍSTICA DEL ESTADO ANTERIOR	
VOL. 111	1/1	VOL. 111	1/1
PROYECTO: 2021-01-01	PROYECTO: 2021-01-01	PROYECTO: 2021-01-01	PROYECTO: 2021-01-01
FECHA: 2021-01-01	FECHA: 2021-01-01	FECHA: 2021-01-01	FECHA: 2021-01-01
ESCALA: 1:50	ESCALA: 1:50	ESCALA: 1:50	ESCALA: 1:50
PROYECTISTA: J. J. J.	PROYECTISTA: J. J. J.	PROYECTISTA: J. J. J.	PROYECTISTA: J. J. J.

Figura 9. Plano estado actual.

En cada lectura posterior planteadas en las diferentes fases de la obra (previa al inicio de la obra, vaciado, finalización de la cimentación, estructura y fin de obra), se miden las microdeformaciones en los perímetros de las secciones transversales, se comparan con el modelo realizado y se emiten informes. Cuando se sobrepasen los criterios de ovalización prescritos en la normativa, o se detecten disfunciones, se actuará de acuerdo con el protocolo del plan de contingencias establecido. Todo el sistema de monitorización se ha ubicado en la zona estratégica susceptible a la posible dinámica y evolución de la respuesta estructural (variaciones de microdeformaciones-tensiones, movimientos, posibles incrementos y/o desarrollo de mapas de fisuración, etc.) del túnel a lo

largo de los trabajos de ejecución del nuevo edificio. Este sistema de instrumentación ha sido seleccionado considerando las condiciones de trabajo a las que estará sometido (variaciones de carga: descarga en la excavación y vaciado del terreno; y carga en la construcción del edificio). A continuación, se muestra el alcance de la monitorización utilizado (ver de la Figura 10 a la Figura 13).



Figura 10. Instalación equipo de lectura de la fibra en lugar protegido.

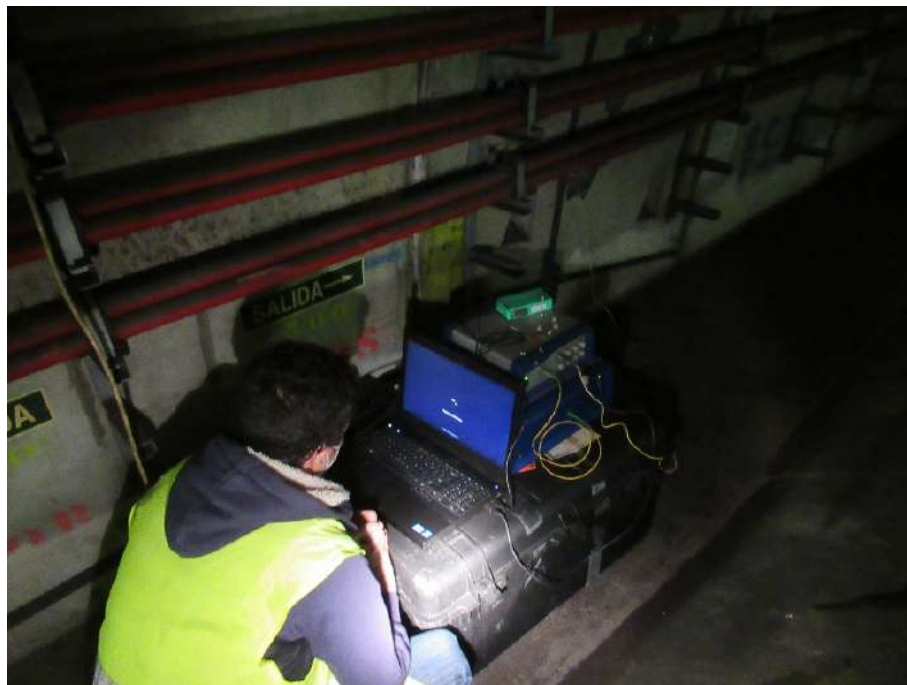


Figura 11. Recuperación de datos tomados por la fibra.



Figura 12. Fibra instalada y protegida en vía.



Figura 13. Fibra instalada y protegida en bóveda.

El registro de las lecturas incorporadas en las gráficas corresponde a los días o las fases de obra en los que se realizaban operaciones de modificación de la situación o avance de la obra. Las fechas en que fue midiendo son las que se indican en la tabla (Tabla 2).

Tabla 2. Identificación de actuaciones y de sus períodos de tiempos.

Período	Actuación
04 octubre 2018	Estado Inicial.
07 octubre 2018	Pre-excavación.
18 octubre - 07 noviembre	Excavación.
13 diciembre 2018	Ejecución parcial 1er tramo de la losa de cimentación (hasta junta J1).
Período	Actuación
7 enero-28 enero	TJ 1 → Hormigonado muros, pilares de planta PS-1 y encofrado TPS-1. TJ 2 → Hormigonado losa cimentación y armado + encofrado pilares de PS-1. TJ 3 → Sin ejecución.
28 enero-14 febrero	TJ 1 → Armado y hormigonado TPS-1. TJ 2 → Encofrado de forjado TPS-1. TJ 3 → Armado de losa cimentación.
14 febrero-18 marzo	TJ 1 → Armado, encofrado y hormigonado de pilares de PB. Encofrado de forjado TPB TJ 2 → Armado y hormigonado de forjado TPS-1. Armado, encofrado y hormigonado de pilares de PB. TJ 3 → Hormigonado losa de cimentación. Hormigonado muros, pilares de planta PS-1
18 marzo-5 abril	TJ 1 → Hormigonado de forjado TPB y encofrado TP1. TJ 2 → Encofrado de forjado TPB. TJ 3 → Encofrado de forjado TPS-1.
Período	Actuación
5 abril-18 abril	TJ 1 → Hormigonado de TP1. TJ 2 → Encofrado de forjado TPB (cont.). TJ 3 → Armado y hormigonado TPS-1.
18 abril-22 abril	Semana Santa
23 abril-10 mayo	TJ 1 → Hormigonado de TP1 (cont.). TJ 2 → Armado de forjado TPB TJ 3 → Armado y hormigonado TPS-1 (cont.).
10 mayo-25 mayo	TJ 1 → Encofrado TP2. TJ 2 → Hormigonado de TPB. TJ 3 → Encofrado de forjado TPB.
Período	Actuación
25 mayo-8 junio	TJ 1 → Hormigonado pilares P2 + encofrado de TP2. TJ 2 → Hormigonado pilares P1. TJ 3 → Pilares PB y armado TPB.
8 junio-22 junio	TJ 1 → Hormigonado TP2. TJ 2 → Pilares P1. TJ 3 → Pantallas de PB a P1.
22 junio-6 julio	TJ 1 → Armado y hormigonado pilares P3. TJ 2 → Encofrado TP1 + Hormigonado escaleras de PB a P1. TJ 3 → Hormigonado TPB.
6 julio-20 julio	TJ 1 → Hormigonado Pantallas PB + hormigonado TP3. TJ 2 → Hormigonado de TP1 + pilares P2. TJ 3 → Pilares P1 + encofrado de forjado TP1.
20 julio-6 agosto	TJ 1 → Pilares P4. TJ 2 → Hormigonado TP2 + escaleras de P1 a P2. TJ 3 → Hormigonado TP1.

Para una mejor comprensión de las diferentes etapas y tareas realizadas, se incorporan los esquemas presentados en las figuras (Figura 14 y Figura 15) de fases con las juntas de dilatación de obra, que nos sirven como base de referencia de las tareas realizadas.

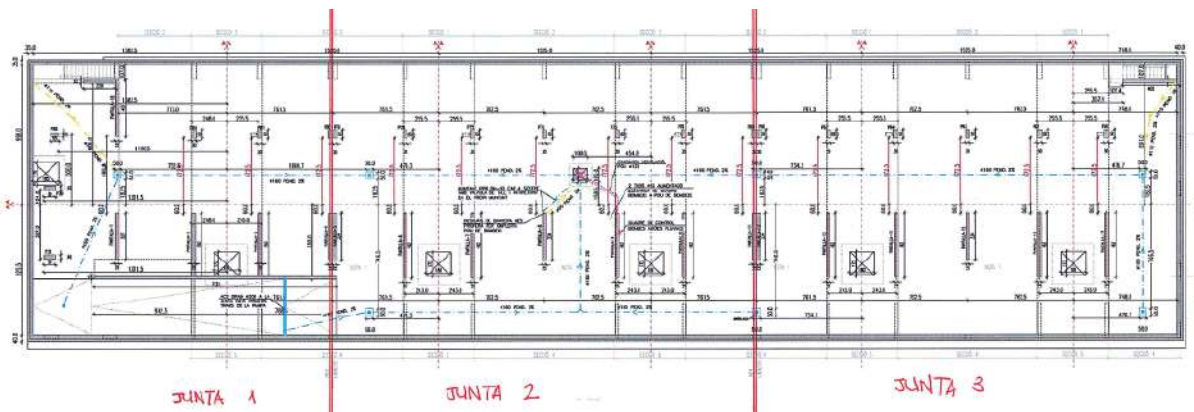
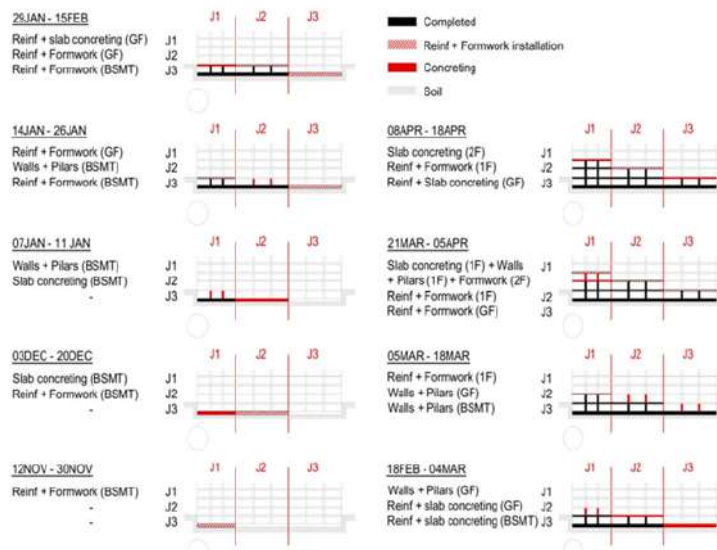


Figura 14. Planta del edificio en construcción.



Los períodos de monitorización definidos con el objetivo de cubrir los períodos de construcción principales por separado: excavación, cimentación, ejecución de planta baja, primer piso, etc.

Intervalos de monitoreo:

- Del 4 de oct. al 7 de oct.: cada 30 min.
- Del 18 de oct. al 7 de nov.: cada 6 horas.
- 13 de dic.: 2 mediciones por 30 min.
- 24 de ene.: 2 mediciones por 30 min.
- Del 21 de feb. al 25 de mar.: cada 15 min.
- Del 16 de abr. al 17 de abr.: cada 30 min.
- 17 de may.: 5 mediciones por 10 min.
- Del 16 de jul. al 6 de ag.: cada 30 min.

Figura 15. Períodos de monitorización.

El modelo inicial (Figura 16) permitió considerar un plan de contingencias con avisos, alertas y alarmas que, una vez acabada la obra con la última medición, se puede ver si eran correctos o permitían un ajuste de la calibración gracias a los valores reales obtenidos en la ovalización del túnel en cada fase. También se puede ver que al final el aumento pequeño de microdeformaciones sobre la bóveda del túnel valida la actuación.

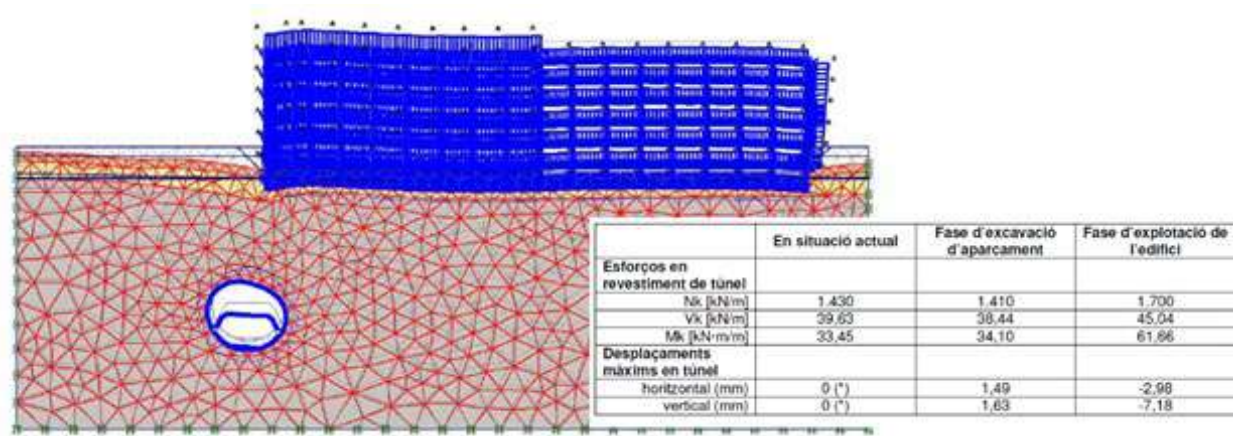


Figura 16. Modelo 3D (2D x metro lineal).

Si dentro de un año (2022) se vuelve a medir se tendrá la historia de cargas previa y se podrá evaluar si hay alguna nueva acción que produce algún tipo de deformación adicional. Con ello se está midiendo comportamientos reales que incorporan información del comportamiento estructural y permiten mejorar el modelo creando ese gemelo digital mejorado (DIGITAL TWIN). Mientras se mida de forma correcta y en los puntos idóneos de una infraestructura, se están reduciendo las incertidumbres y gestionando de una forma económica la obra realizada.

4. CONCLUSIONES

El Digital Twin (DT) es una tecnología prometedora que, recogiendo los datos de los ensayos de información y del comportamiento real de la estructura, crea una réplica virtual (de objetos y procesos) que simulan el comportamiento de sus homólogos reales en tiempo real y constituyen un “hermano gemelo” de lo realmente construido.

La fibra óptica es una herramienta muy útil para definir en el tiempo y en el espacio la respuesta de microdeformaciones del comportamiento de la estructura a lo largo de su vida útil, ya que en las secciones críticas se puede conocer el nivel de tensiones y el comportamiento térmico e incorporar esa información en el “gemelo digital” (DT).

La monitorización continua durante 8 meses (torre de refrigeración) y 29 meses (túnel) con fibra óptica ha ayudado a complementar los ensayos de información, a comprender la respuesta de la estructura y a avanzar en la creación de un gemelo digital (DT) basado en el comportamiento real de la estructura, que permite plantear posibles acciones de todo tipo y valorar el riesgo de cada una de ellas, en el “gemelo digital”, antes de que ocurran en la realidad.

En el caso de la torre de refrigeración, la fibra permitió ayudar, con el resto de los ensayos de información, a calibrar el riesgo y plantear una reparación acorde con su respuesta para una vida útil determinada.

En el caso del túnel la fibra óptica permitió validar la ejecución de una obra sobre la bóveda y comprobar que no se afectaban los estados límites y de servicio al no superar los umbrales de riesgo preestablecidos. Por otra parte, una vez colocada en la estructura, la fibra óptica puede servir para futuras calibraciones del comportamiento del túnel. Los datos registrados permiten mejorar el modelo digital inicial, crear un “Digital Twin” que representa mejor el comportamiento del terreno y la rigidez real de la estructura, por ejemplo, modificando la rigidez del túnel con dovelas y calibrándola con la rigidez de la respuesta realmente obtenida de microdeformaciones en las fases de vaciado y puesta en carga.

Se han medido los parámetros que interesaban en unas secciones críticas en el tiempo y en el espacio para incorporarlas al gemelo digital, pero el mantenimiento de la obra, su gestión y la

valoración del riesgo es una operación holística que debe sumar al seguimiento de estos parámetros otras medidas como la inspección periódica de la infraestructura y la instrumentación posterior de las posibles incidencias. Por ejemplo, en el caso del túnel, se pudo apreciar durante el seguimiento nocturno de las lecturas, que en la losa intermedia en la dirección transversal se producían nuevas fisuras bajo las vías que podrían estudiarse colocando la fibra óptica sobre la losa en dirección longitudinal para ver cuándo se producen (en qué momento preciso), estudiar la causa y valorar su riesgo, incorporando esa información en el futuro “gemelo digital” (Figura 17).

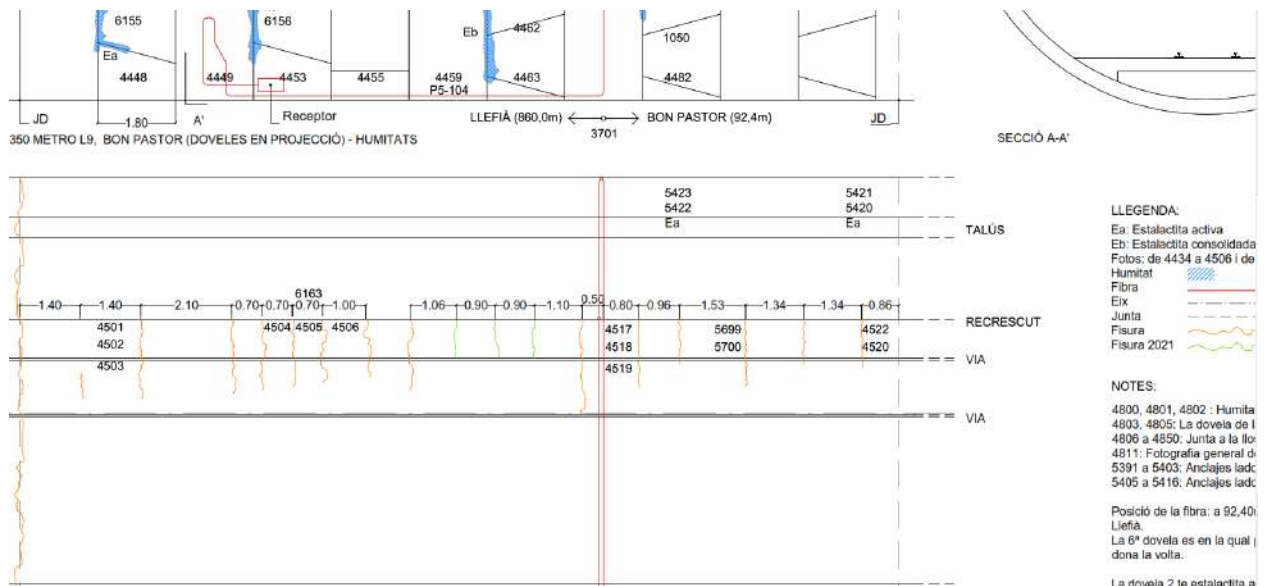


Figura 17. Detalle nuevas fisuras en la losa.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ingeniero de Transports Metropolitans de Barcelona (TMB) Ignacio Patón, y a Marta Marcet, arquitecta del Institut Municipal de l’Habitatge i Rehabilitació de Barcelona (IMHAB), las facilidades dadas para la toma de datos y obtención de información.

6. REFERENCIAS

- (1) Rodríguez, G. (2017), “Monitorización de estructuras de hormigón mediante sensores de fibra óptica distribuida”, Masters Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- (2) Sachs, R. (May 2020). “Digital twins for construction” in: EUROSTRUCT, Live talk.
- (3) Alegre, V., Villalba, S., (2019). “Avances en la instrumentación de estructuras con fibra óptica” in: CONPAT 2019.
- (4) Alegre, V., Deulofeu, C., Patón, I., Ródenas, V. (2003). “Gestión de daños en infraestructuras” in: CONPAT 2003.

Empleo de agua proveniente del lavado de camiones mixers en la producción de hormigones sustentables: Evaluación de la trabajabilidad y resistencia

C.G. Caballero¹, A.J. Palacio¹, A. Alzogaray¹, F.A. Avid¹, J.D. Sota^{1*}.

*Autor de Contacto: jdsota@gmail.com

¹ Grupo GIICMA, Universidad Tecnológica Nacional UTN-Facultad Regional Concordia, Concordia, Entre Ríos, Argentina.

RESUMEN

En muchos países, las plantas elaboradoras de hormigón emplean camiones moto hormigoneros para su producción y en el proceso usan gran cantidad de agua potable. Este consumo se da en la producción de hormigón, pero además se debe considerar el agua utilizada para lavar los camiones mixers, ya que esto también genera una cantidad considerable de agua residual que no se puede eliminar sin un tratamiento previo. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es estudiar el empleo de agua reciclada, producto del lavado de camiones mixers en la producción de hormigón, reduciendo el consumo de agua potable. Se desarrollan tres dosificaciones, una de referencia producida con agua potable, una dosificación con 25% de remplazo por agua residual y una tercera con un 35% de reemplazo. Para el análisis de los hormigones, se comprobaron sus propiedades en estado fresco y endurecido, evaluando la trabajabilidad mediante el ensayo de asentamiento y su resistencia a la compresión a los 7, 28 y 56 días. Los resultados mostraron que el hormigón producido con estos porcentajes de reemplazo presentó la misma resistencia a la compresión que el hormigón patrón, y en estado fresco se observa un incremento de la fluidez con el aumento del porcentaje de reemplazo.

Palabras clave: Agua reciclada; hormigón sustentable; producción de hormigón; reúso; materiales eco-eficientes.

ABSTRACT

In many countries, concrete plants use mixer trucks for their production and this process consumes a large quantity of drinking water. In addition to the production of concrete, the water used to wash the mixer trucks should also be considered, since this also generates a considerable amount of residual water that cannot be disposed of without prior treatment. Therefore, the objective of this study is to reuse the waste water generated by the washing of mixer trucks in the production of concrete, thus avoiding the consumption of drinking water. Three compositions were developed, a reference composition produced with drinking water, a composition with 25% replacement by waste water and a composition with a 35% replacement. For the analysis of the concretes, its properties were checked in the fresh and hardened state, assessing the workability by means of the concrete slump test and their resistance to compression at 7, 28 and 56 days. The results show that the operation produced with these replacement percentages presented the same resistance to compression as the standard concrete, and in the fresh state an increase in fluidity is observed with the increase in the replacement percentage.

Palabras clave: recycled water; sustainable concrete; concrete production; reuse; eco-efficient materials.

RESUMO

Em muitos países, as fábricas de concreto usam caminhões betoneira para sua produção e consomem uma grande quantidade de água potável no processo. Esse consumo ocorre na produção de concreto, mas a água utilizada na lavagem dos caminhões betoneira também deve ser considerada, pois gera uma quantidade considerável de água residual que não pode ser eliminada sem tratamento prévio. Portanto, o objetivo deste trabalho é estudar a utilização da água reciclada, produto da lavagem de caminhões betoneiras na produção de concreto, reduzindo o consumo de água potável. São desenvolvidas três dosagens, uma de referência produzida com água potável, uma dosagem com substituição de 25% por água residual e uma terceira com substituição de 35%. Para a análise dos concretos, foram verificadas suas propriedades no estado fresco e endurecido, avaliando-se a trabalhabilidade por meio do ensaio de abatimento e sua resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias. Os resultados mostram que o desempenho produzido com esses percentuais de substituição apresentou a mesma resistência à compressão do concreto padrão, sendo que no estado fresco observa-se um incremento da fluidez com o aumento do percentual de substituição.

Palavras clave: água reciclada; concreto sustentável; produção de concreto; reuso; materiais eco eficientes.

1. INTRODUCCIÓN

En la Argentina y en las regiones industriales ubicadas en general en las provincias tales como Entre Ríos, Santa Fe, Buenos Aires, Córdoba, es claro y evidente la necesidad de diseñar e implementar sistemas de tratamiento de las aguas residuales en la industria del hormigón elaborado. Esto es así debido a la falta de aplicación de los mismos o, en algunos casos, el tratamiento precario para las operaciones de lavado de planta y camiones mixers luego del transporte de material. Es por esto que las aplicaciones de sistemas de tratamientos de aguas residuales constituyen una alternativa válida para la reducción del impacto ambiental y la optimización de los recursos naturales utilizados en la producción de hormigón.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que las propiedades de las aguas residuales industriales y específicamente las de la industria del hormigón, dependen en su mayoría de la composición química, factor que resulta importante a la hora de tomar decisiones respecto a su potencial reutilización. También es importante tener en cuenta que las aguas residuales y los agregados que puedan recuperarse en los diferentes pasos del procesamiento de un sistema de tratamiento varían en sus características fisicoquímicas (Ricardo de Matos et.al., 2020). Por lo tanto, no solo se necesita una base de datos actualizada respecto a los resultados y valores admisibles de los análisis cuantitativos y cualitativos de las aguas residuales, sino también la elaboración de manuales y reglamentaciones que regulen las prácticas actuales de eliminación de los desechos en dicha industria (Balzamo et.al., 2012). Tal es así que se requieren más investigaciones para encontrar un sistema de tratamiento que genere una fuente estable y confiable de agua reutilizable, con una variabilidad de composición fisico-química mínima para una utilización óptima. Por consiguiente, el tratamiento y la reutilización del agua de desecho conforma hoy en día objeto de varias investigaciones, convirtiéndose en una problemática ambiental a resolver y estudiar muy importante.

En la industria de la construcción a pesar del notable avance y desarrollo de nuevos materiales, tecnologías y metodologías de construcción, el hormigón continúa siendo el material más utilizado, especialmente en lo que respecta a la construcción de viviendas, con el fin de responder a la demanda de la población creciente. Pero el alto consumo de agua y la generación de aguas residuales sumado a la gestión de estos factores en la industria del hormigón elaborado, se han convertido en cuestiones ambientales muy importantes a resolver y tratar.

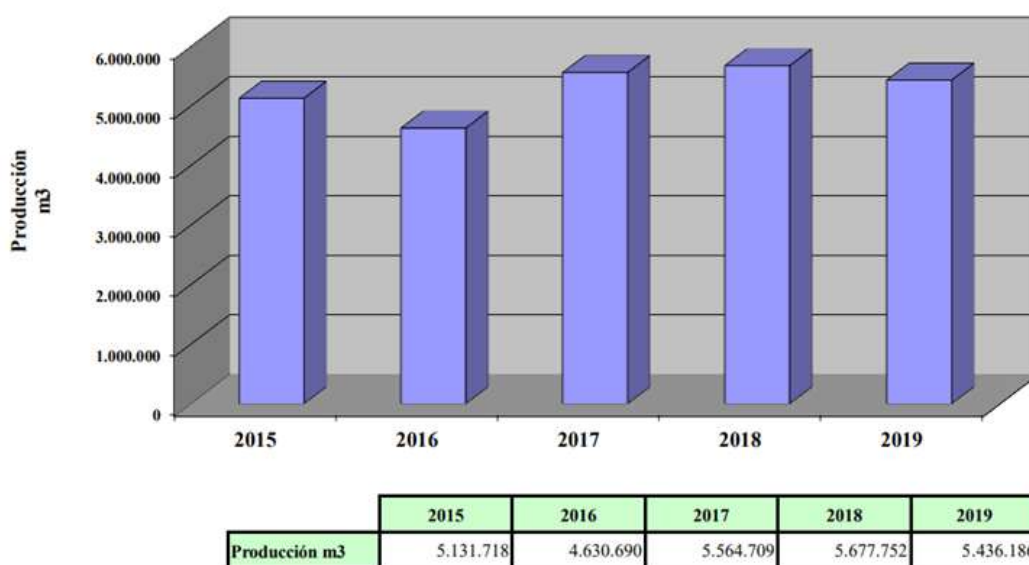


Figura 1. Producción anual de empresas elaboradoras de hormigón asociadas a la AAHE. (AAHE, 2019).

En Argentina, un índice indicativo de las cantidades de hormigón que se producen, como así también de la actividad del sector, es el consumo de cemento, registrándose en el año 2019 (último año completo disponible), un consumo total de 11.003.359 toneladas de cemento, o su equivalente valor per-cápita de 245 kilogramos de cemento por habitante (AFCP, 2019). Alrededor de 5.436.186 de metros cúbicos de hormigón se producen anualmente en plantas elaboradoras (Figura 1), de las cuales tan solo un 8 % cumplen con certificación de gestión de calidad ISO 9001:2015 y un 21 % elaboran bajo estándares de calidad y servicio aceptables, el 71 % restante no cumplen y no califican con los estándares de calidad en la producción y el ambiente, lo que da una idea de la gestión actual de los residuos de la industria (Segerer, 2020). Se estima que, al final de cada jornada, queda un residuo de aproximadamente 300 kg de hormigón plástico en cada camión mezclador (Sandrolini y Franzoni, 2001). Dicho sobrante si bien puede reutilizarse mediante el empleo de aditivos estabilizadores de hidratación, lo habitual es que sea lavado, debido a los costos que conllevan los aditivos mencionados, “a priori” más costosos en comparación con el uso de agua. Cabe mencionar además que, en las plantas elaboradoras locales, dichos lavados se realizan sin reservas ni regulación alguna en lo que respecta al consumo, vertido y/o devolución al ambiente del agua interviniente.

2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

Como parte de una primera etapa de investigación, con la colaboración de una empresa local de la ciudad de Concordia en la provincia de Entre Ríos, Argentina, se procedió a elaborar pastones de prueba. Para los mismos se contó con los materiales de acopio tales como agregados gruesos y finos, cemento y aditivos, como así también con la dosificación de un hormigón de línea de la empresa, la cual opera de acuerdo con CIRSOC 201/2005 bajo el modo de producción MODO I, a través de un sistema de gestión de la calidad, con procesos de producción basados en la norma ISO 9001:2015. De esta manera se buscó evaluar, en una primera instancia, todas aquellas variaciones que puedan encontrarse respecto al hormigón de referencia, para posteriormente definir el correcto marco teórico de aplicación del agua reciclada.

2.1 Cemento

Para este trabajo se utilizó un cemento portland compuesto (CPC 50) según Norma IRAM 50000 – “Cementos de uso general”, el cual fue extraído de silos de acopio de planta elaboradora. Este tipo de cemento es el de uso comercial habitual en el país, especialmente en la Región Centro y Mesopotamia. Su composición es presentada en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipo de cemento y composición según Norma IRAM 50000.

Designación			Composición (g/100 g)				
Tipo de Cemento	Nomenclatura	Clase Resistente	Clinker + sulfato de calcio	Puzolana o ceniza volante silíceas (P o CV)	Escoria (E)	"Filler" calcáreo (F)	Compuestos minoritarios
Cemento Portland Compuesto	CPC	50	94 - 65	Dos o más, con $6 \leq (P+E+F) \leq 35$ y $F \leq 35$			0 - 5

2.2 Agregado Grueso

Se utilizó un agregado natural silíceo tipo canto rodado, el cual es extraído de canteras ubicadas en la región Mesopotámica de la Argentina, específicamente en la provincia de Entre Ríos y Corrientes, con un tamaño máximo nominal de agregado 6 a 20 mm, módulo de finura de 6,73 y una curva de distribución granulométrica indicada en la Figura 2, de acuerdo con los límites de la Norma IRAM 1627 para agregados gruesos.

2.3 Agregado Fino

Se utilizó una arena natural gruesa tipo silíceo de lavado, la cual es extraída de canteras ubicadas en las márgenes del Río Uruguay, en la provincia de Entre Ríos, módulo de finura de 2,61 y una distribución granulométrica indicada en la Figura 3, de acuerdo a los límites de la Norma IRAM 1627 para agregados finos.

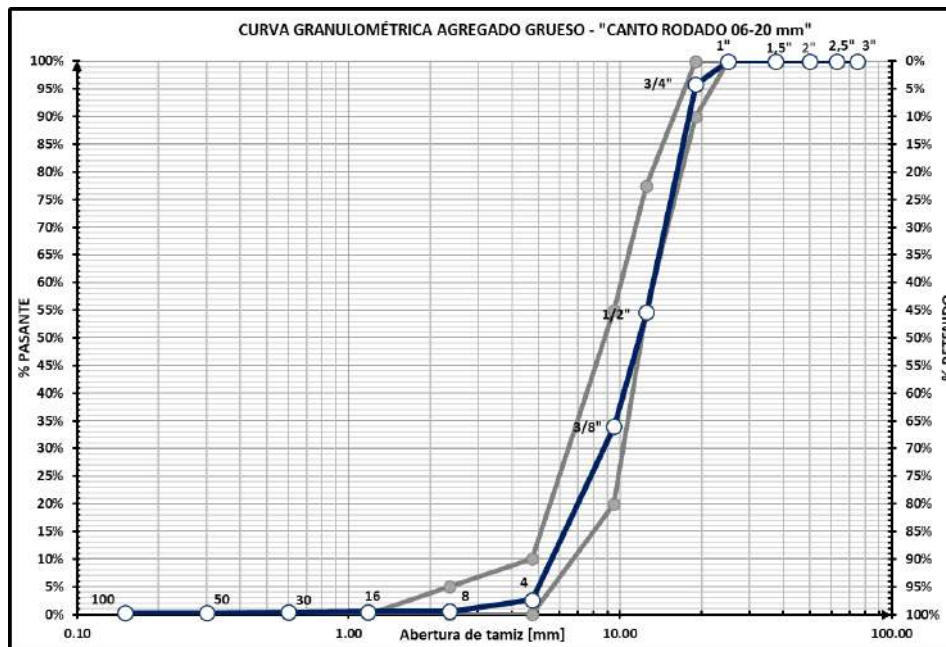


Figura 2. Granulometría “canto rodado” 06-20 [mm].

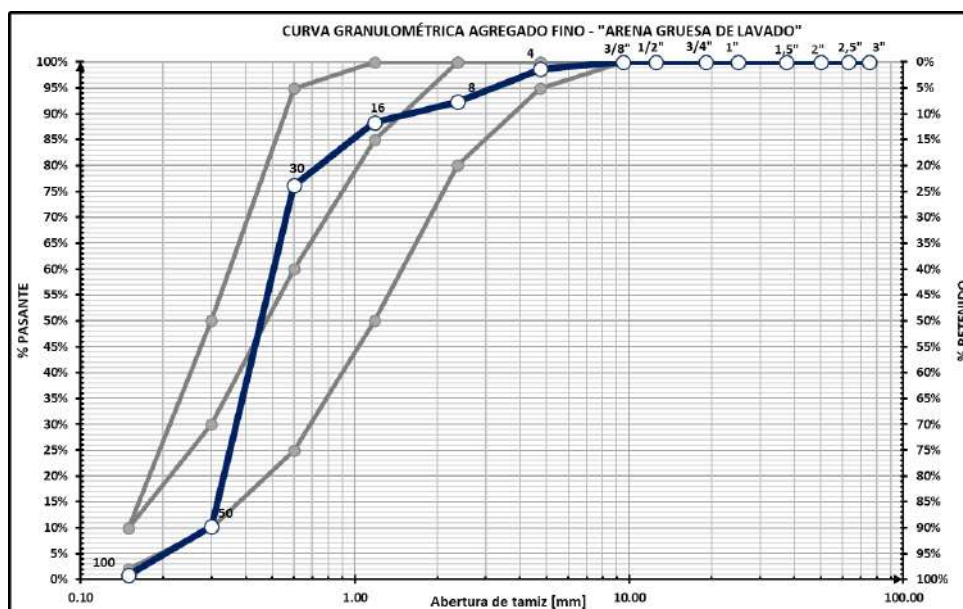


Figura 3. Granulometría “arena gruesa silíceo”.

2.4 Aditivo Químico

En este caso se utilizó un aditivo plastificante y superfluidificante de medio rango, de uso comercial en la Argentina, cuya composición química se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química aditivo plastificante y superfluidificante.

Nombre químico	Concentración (%)
Naphtalensulfonic acid-formaldehyde condensate sodium salt	$\geq 5 - < 10$
1,2-bencisotiazol-3(2H)-ona	$\geq 0,1 - < 1$

2.5 Agua Reciclada

El agua reciclada se obtuvo de la misma empresa, la cual cuenta con un sistema de piletas de sedimentación y decantación, mediante el cual se realiza el lavado diario de los camiones mixers. De estas piletas se extrajeron diferentes muestras de agua, las que luego fueron utilizadas para la elaboración de los pastones de prueba. El sistema de tratamiento consta de un total de 5 piletas continuas en las que el intercambio se realiza mediante el trasvase por gravedad. Puntualmente se extrajeron muestras de las piletas N°1 y N°4 del sistema, correspondiendo la primera a la piletas donde se vuelcan directamente los residuos del camión y de lavado, y la segunda mencionada corresponde a la piletas final del sistema, previo al almacenamiento y filtrado. En la Figura 4 se puede observar la disposición de las piletas y el sentido del escurrimiento del agua de lavado.



Figura 4. Sistema de piletas de sedimentación y decantación de sólidos de agua de lavado de camiones mixers.

Se recolectaron 60 litros de agua proveniente del lavado de los camiones, la cual fue almacenada en bidones y botellas para el desarrollo de las pruebas de laboratorio. El agua recogida presenta cierto grado de turbidez por las partículas sólidas en suspensión.

De las muestras extraídas de las piletas 1 y 4 se realizó la evaluación de temperatura, nivel de pH, conductividad y contenido de sales disueltas, utilizando un medidor multiparamétrico. En las Figuras 5 y 6 obtenidas a partir del análisis de los datos de las muestras de agua, se observa una significativa alcalinidad del agua de la Piletas N°1 (la cual recibe de manera directa la descarga del agua reciclada, mezclada con los sobrantes de hormigón). Esta presenta, a su vez, un valor promedio de pH de 11,58 y el contenido total de sales disueltas o TDS posee un valor promedio de 3010,83 ppm. En cambio, los valores promedios de la Piletas N°4 (la cual se encuentra al final del sistema de piletas, ver Figura 4) son respectivamente 10,78 para el pH y 744,33 ppm para el

TDS. Claramente se demuestra la mayor concentración de sales disueltas y la alta alcalinidad que posee el agua de reciclado de los camiones mixers sin tratamiento previo. Incluso si solo se la somete a una decantación o sedimentación, se reducen considerablemente dichos valores. A partir de dichos resultados, se decidió elaborar los pastones de prueba utilizando el agua reciclada de la Pileta N°4, considerando las significativas variaciones en los valores representativos de pH y sales disueltas respecto a los valores límites de 4 para pH y de 50000 ppm para TDS, según Norma IRAM 1601 (IRAM 1601, 2012).

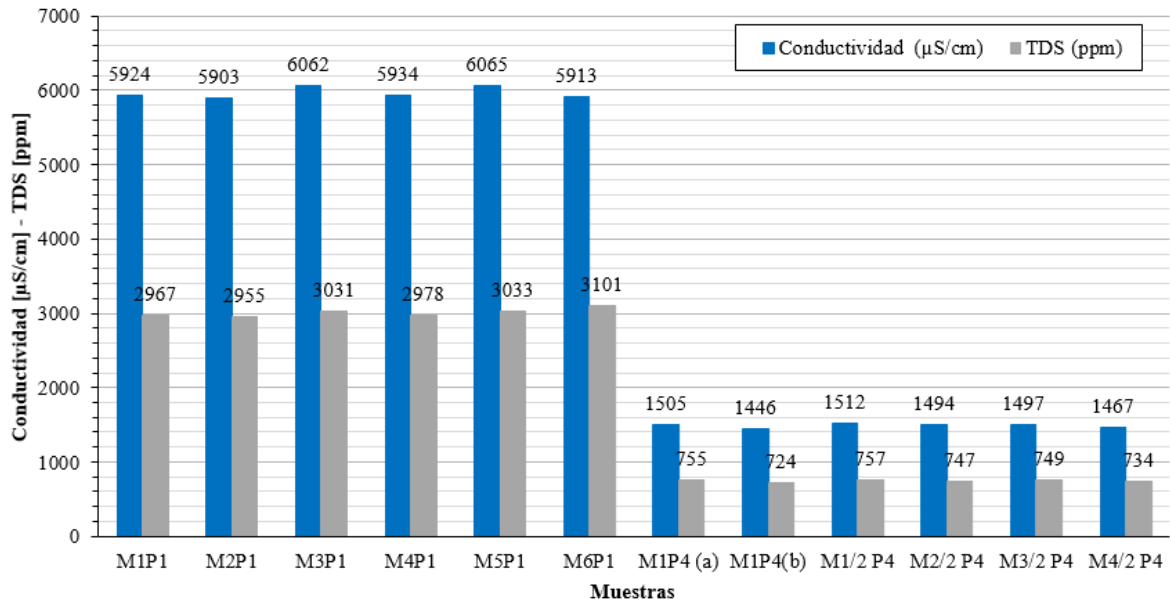


Figura 5. Conductividad y contenido total de sales disueltas. Pileta 1 vs Pileta 4.

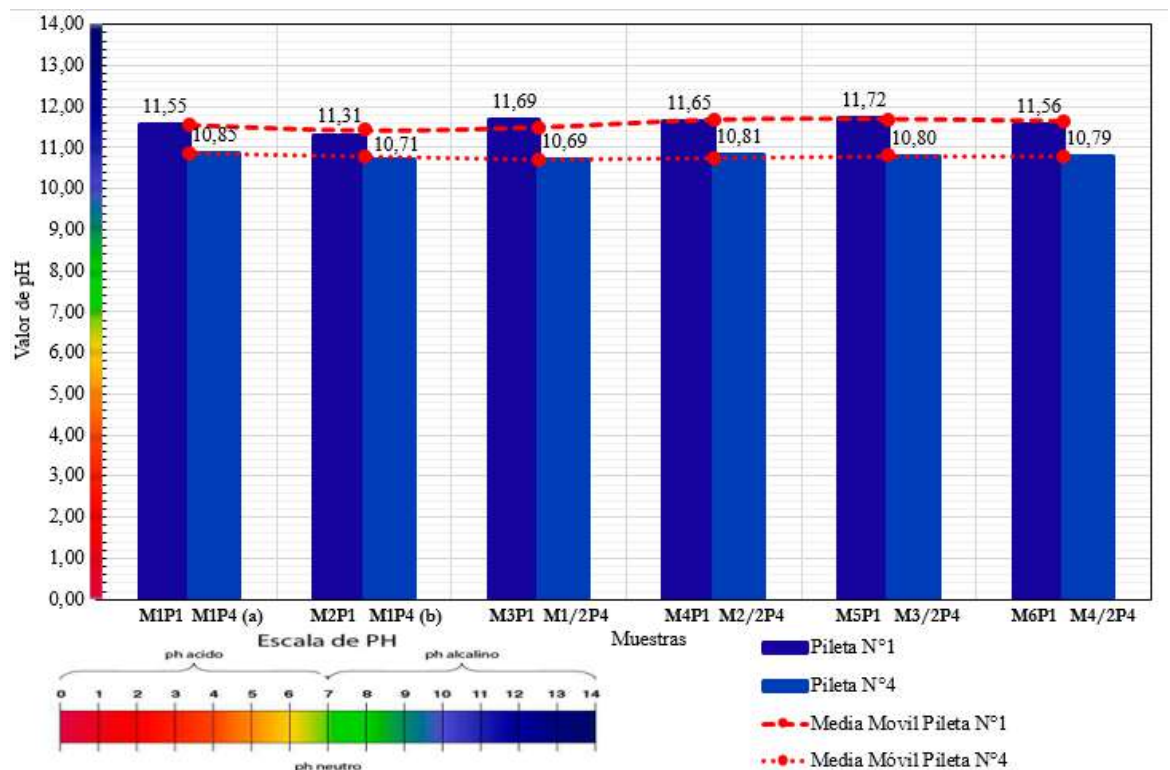


Figura 6. Valores de pH agua reciclada Pileta 1 vs Pileta 4.

2.6 Dosificación

El diseño de la mezcla fue seleccionado en base a una dosificación tradicional de la empresa elaboradora. En este caso se optó por un hormigón clase H30 (INTI-CIRSOC, 2005) el cual es de producción y uso habitual en la región. En la Tabla 3 se puede observar esta dosificación, la cual corresponde al pastón de referencia o base. A su vez, esta dosificación se replicó en los pastones N° 2 y N° 3, pero con el reemplazo parcial del agua potable por agua proveniente del lavado de los camiones mixers. Este reemplazo se realizó en porcentajes del 25 % y 35 % respectivamente.

Tabla 3. Dosificación pastón de prueba N°01 – 0 % Agua Reciclada.

Material	Densidad Kg/dm ³	1 m ³		Pastón de prueba:		65 dm ³	
		Peso Kg	Volumen dm ³	Absorción %	Humedad %	Peso SSS Kg	Peso Hum. Kg
Cemento CPC50	3,12	365,00	116,99			23,72	23,72
Agua Potable	1,00	170,00	170,00			11,05	10,50
Agua Reciclada	1,00	0,00	0,00			0,000	0,000
Arena Fina	2,60	699,80	269,15	0,36	2,07	45,49	46,26
Canto Rodado 06-20 mm	2,63	1123,06	426,69	0,71	0,40	73,00	72,77
Aditivo Plast. y Superfluidificante	1,18	2,56	2,17			0,17	0,17
Aire	0,0012	0,02	15,00			0,001	0,001

2.7 Elaboración del hormigón

Como se mencionó, el diseño de las mezclas se estableció de acuerdo con las proporciones empleadas por la empresa elaboradora con excepción del reemplazo parcial del agua potable por el agua de lavado en estudio. Por lo tanto, se elaboraron tres dosificaciones con igual cantidad de materiales, pero variando el porcentaje de agua reciclada a incorporar en el orden de 0 %, 25 % y 35 % respecto al contenido de agua total de la dosificación patrón. En total se elaboraron y evaluaron nueve pastones de 65 dm³ de volumen cada uno (Tablas 3). Se replicó tres veces la elaboración para cada porcentaje de reemplazo con el fin de evaluar desvíos o patrones en el comportamiento de la dosificación, para luego enfocar el estudio en los mismos.

Inicialmente, el primer pastón contenía sólo agua potable, recolectada directamente del laboratorio, siendo nombrado como el pastón de referencia. En esta etapa, se agregaron los materiales a la hormigonera y se mantuvieron en el proceso de mezclado durante aproximadamente 5 minutos hasta que la mezcla fuese homogénea. Se procedió al volcado sobre una superficie metálica e inmediatamente se realiza la medición de la temperatura inicial del pastón. Poco después, se llevó a cabo una prueba de asentamiento mediante el tronco cono de Abrams (según Norma IRAM 1536), la determinación de la densidad aparente o peso unitario volumétrico (PUV) y la medición del contenido de aire mediante el aparato de Washington (según Norma IRAM 1602). También se realizó la toma de muestra para la determinación del tiempo de comienzo de fragüe del mortero de hormigón. De manera simultánea se realizó el moldeo de probetas para los ensayos de resistencia a compresión (según Norma IRAM 1524). Posteriormente, el procedimiento la elaboración de los pastones siguió las mismas condiciones y proporciones que el pastón de referencia, pero con el reemplazo parcial del agua de mezclado por el agua en estudio.

Para la determinación del tiempo de fragüe del mortero de cada pastón se obtuvieron muestras de mortero de cemento, el cual fue tamizado utilizando tamiz de abertura 4,75 mm, para luego moldear sobre probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro y 100 mm de alto, las que se dejaron en cámara de curado para mantener constantes las condiciones de temperatura y humedad de las muestras. Para las mediciones de resistencia a la penetración se empleó un penetrómetro de hormigón ligero tipo resorte, basado en ASTM C403, mediante el cual se considera que el fraguado inicial se da con un valor de penetración de aproximadamente 35 kg/m².

Las probetas cilíndricas de ensayo se moldearon por triplicado y luego se almacenaron en cámara de curado para la determinación de la resistencia a la compresión a las edades de 7, 28 y 65 días. En total, se moldearon 27 probetas, 9 para cada dosificación divididas en las tres edades diferentes. Las muestras se sometieron a al ensayo de compresión estandarizada (según Norma IRAM 1546).

3. RESULTADOS

3.1 Hormigón fresco

Como se mencionó, los parámetros característicos del hormigón en estado fresco evaluados fueron la consistencia mediante el ensayo del tronco cono de Abrams, temperatura inicial del pastón, PUV y contenido de aire mediante aparato de Washington, Estos resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de parámetros característicos del hormigón en estado fresco.

Agua Reciclada (RW)	Prueba N°	Asentamiento [cm]		Temperatura H° [°C]		Contenido de Aire [%]		PUV [Kg/m ³]	
		Valor	Prom.	Valor	Prom.	Valor	Prom.	Valor	Prom.
RW 0%	1	12,50	15,33	29,00	25,50	2,80	2,37	2354,0	2372,00
	2	18,00		25,20		1,80		2388,0	
	3	15,50		22,30		2,50		2374,0	
RW 25%	1	17,00	18,33	28,70	25,43	2,20	2,33	2365,0	2324,00
	2	20,00		24,60		2,30		2319,0	
	3	18,00		23,00		2,50		2290,0	
RW 35%	1	18,50	21,33	29,10	25,97	2,30	2,17	2388,0	2374,33
	2	24,50		24,50		1,90		2376,0	
	3	21,00		24,30		2,30		2359,0	

La consistencia normal o promedio del pastón realizado mediante la dosificación patrón, es decir sin incorporación de agua reciclada, es del orden de los 15 cm, de acuerdo a los registros informados por la empresa con un desvío del orden de $\pm 3,00$ cm, observamos en la Tabla 4 que para todos los casos se obtuvo dicha variación en el asentamiento medido mediante cono de Abrams, con un valor promedio de 15,33 cm.

Luego para la incorporación de un 25 % de agua reciclada respecto al agua total de la dosificación, se observa que los valores de asentamientos obtenidos varían ligeramente respecto a los obtenidos con la dosificación patrón, en el orden de +3 puntos de asentamiento, con un valor promedio de 18,33 cm.

Para el caso de la incorporación de un 35 % de agua reciclada respecto al agua total de la dosificación, se observa un significativo aumento de la consistencia de los pastones, con un valor promedio de 21,33 cm respecto a los 15,33 cm de la dosificación patrón, es decir el doble de variación (+ 6 puntos de asentamiento medido) en comparación con la incorporación de un 25 % de agua reciclada. Se observaron pastones de aspecto fluido, homogéneos y uniformes, con una leve exudación y presencia de burbujas de aire. Sin embargo, de acuerdo a los valores obtenidos de aire incorporado no se observaron significativas variaciones, al igual que con la temperatura inicial de elaboración, con un valor promedio del orden de los 25,63 °C. El peso unitario volumétrico de los pastones fue del orden de los 2356,80 kg/m³.

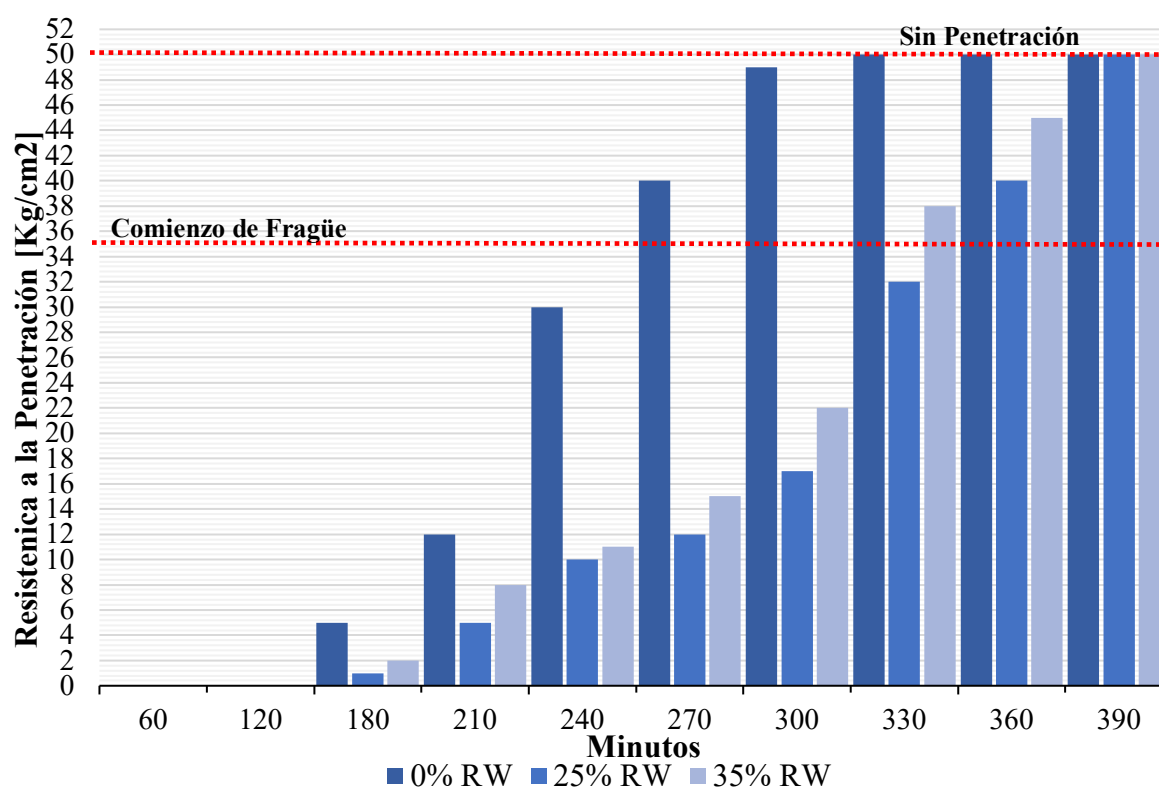


Figura 7. Tiempo de fragüe del hormigón según porcentaje de variación de agua reciclada.

Como se observa en la Figura 7, para la dosificación patrón, el comienzo de fragüe se da de manera acelerada pasados los 240 minutos desde el primer contacto de las partículas de cemento con el agua, alcanzando resistencias superficiales significativas al cabo de los 270 minutos desde el mezclado, comportamiento habitual para este tipo de dosificación. Si se comparan los tiempos de fragüe de los hormigones con incorporación de agua reciclada se observa un patrón de comportamiento para este ensayo, donde el proceso de hidratación se desarrolla de manera paulatina y más lenta, alcanzando el comienzo de fragüe al cabo de 330 minutos en adelante.

A partir de estos resultados podemos concluir que, a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo de agua reciclada, los hormigones presentaron una variación de la consistencia de plástica a fluida evidenciado por el aumento del asentamiento, y un aumento del tiempo de comienzo de fragüe, en referencia a la dosificación base y para los mismos tiempos de prueba.

Cabe aclarar que, en base a la bibliografía consultada, el efecto del incremento de agua reciclada debe ser una reducción de la fluidez debido a la presencia de las partículas sólidas y alta alcalinidad. Esta última genera una influencia en las propiedades eléctricas en la superficie de las partículas de cemento.

Debido a esto, los resultados obtenidos se podrían justificar con el empleo del aditivo superplastificante, cuya molécula permite el recubrimiento total de las partículas de cemento incorporándoles cargas de signo negativo que neutralizan las fuerzas de atracción electrostáticas existentes entre dichas partículas y dificultan el citado fenómeno de floculación. A su vez se podría considerar que el mayor valor del asentamiento obtenido, con el incremento del contenido de agua reciclada, puede estar también influenciado por rastros de aditivo superfluidificante presentes en el agua de lavado.

3.2 Hormigón en estado endurecido

En la Figura 8 se presentan los valores de la resistencia a la compresión simple de los hormigones con 0 %, 25 % y 35 % de agua reciclada, para las edades de 7, 28 y 56 días. Para el hormigón patrón se obtuvieron valores del orden a los informados por la planta elaboradora, y se observa que para la edad temprana de 7 días las resistencias de los pastones elaborados con agua reciclada también presentan un comportamiento similar. Sin embargo, para edades mayores tales como 28 y 56 días, conforme aumenta el porcentaje de agua reciclada, los valores de resistencia a la compresión simple presentaron una tendencia a la disminución del orden del 10 al 11 %.

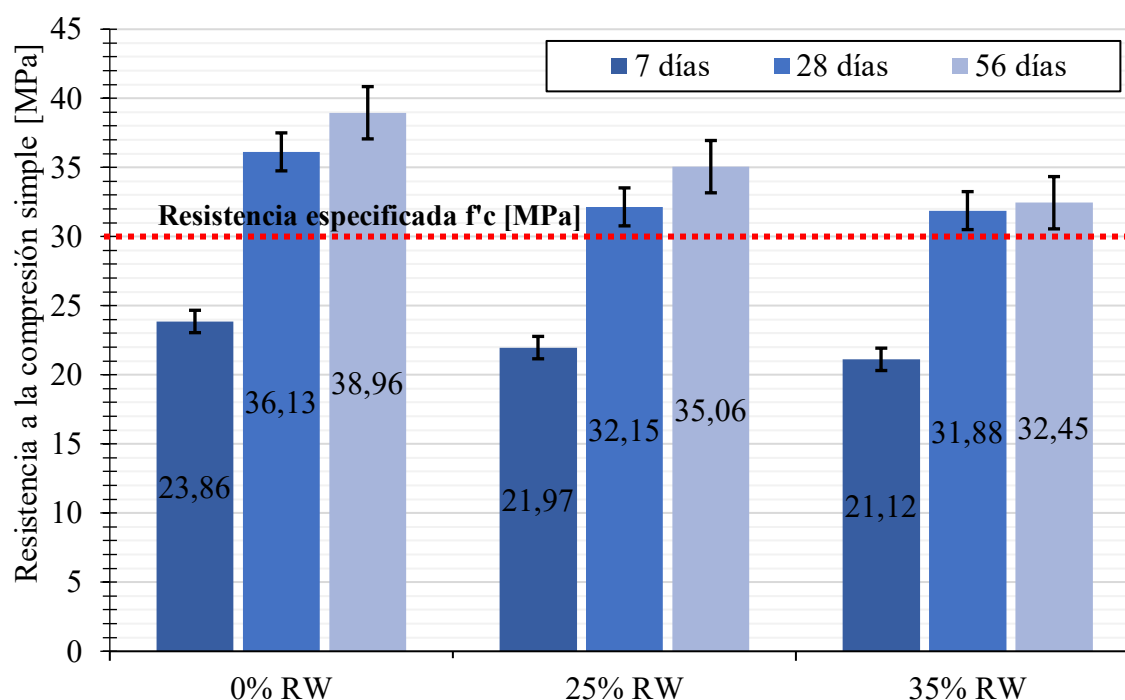


Figura 8. Variación de la resistencia a la compresión simple según porcentaje de agua reciclada por edades.

Al analizar los datos, si bien todas las muestras cumplen con la resistencia especificada considerada por los criterios de conformidad del hormigón bajo MODO I de control, se aprecia la tendencia a una disminución de la resistencia a medida que se incrementa el porcentaje de agua residual.

En principio se puede concluir que, para estas dosis, el agua residual de la empresa se puede utilizar en la elaboración de este tipo de mezclas comerciales, ya que no tiene un comportamiento que impacte negativamente y de forma significativa.

4. CONSIDERACIONES FINALES

El presente trabajo es la primera parte de un proyecto de investigación y desarrollo de tres años de duración. Con él se buscó evaluar el comportamiento de una dosificación patrón o comercial, analizando la variación de sus parámetros característicos en estado fresco y endurecido, ante la incorporación de porcentajes relativos de agua reciclada producto del lavado de camiones mixers. Basado en los resultados obtenidos, se establecieron las siguientes consideraciones finales:

El incremento del contenido de agua reciclada aumentó progresivamente el asentamiento (es decir, aumentó la fluidez de la mezcla) pasando de una consistencia plástica a muy plástica y fluida. Esto se puede deber al elevado pH que modifica la reología de las mezclas.

El proceso de fragüe se produce de manera más lenta en comparación con la dosificación base. Es decir, el comienzo de fragüe se registra a mayores tiempos a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo de agua reciclada. En principio habría una incidencia de la alta alcalinidad del agua en el retraso del comienzo del fraguado, pero se deben realizar más estudios al respecto.

Las resistencias de los pastones elaborados con agua reciclada presentan un comportamiento similar a la del pastón de referencia para la edad temprana de 7 días. Sin embargo, conforme aumenta el porcentaje de agua reciclada, los valores de resistencia a la compresión simple presentaron una tendencia a la disminución. No obstante, los hormigones que contienen agua reciclada presentaron resistencias a la compresión compatibles con la dosificación de referencia, alcanzando el 88% para 35% de reemplazo de agua reciclada y cumpliendo con los requerimientos de la resistencia de diseño.

En conjunto, fue posible producir hormigones con sustitución parcial de agua potable por reciclada, sin deterioros significativos en propiedades frescas y endurecidas. Sin embargo, cabe aclarar que estos son los primeros resultados de la investigación con los agregados y cemento de la zona, y se continuará evaluando el efecto del reemplazo sin el empleo de aditivos químicos en las mezclas con el fin de identificar su influencia en los resultados. Por otro lado, también se buscará evaluar los parámetros de durabilidad de los hormigones.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concordia, al Grupo de Investigación en Ingeniería, Materiales y Ambiente (GIICMA) por el apoyo a través de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado. Agradecemos la colaboración de los alumnos becarios Santiago Hernández Solís, Cristian Gómez, Mariano Urribarri y Alejandro Yoly así como al encargado de Laboratorio de Tecnología del Hormigón de la UTN-Concordia. Agradecemos también a la Dra. Natalia Tesón por su colaboración y asistencia en las pruebas de análisis de las muestras de agua. Finalmente agradecemos a la empresa Vecchio SRL por proporcionar las dosificaciones y los materiales necesarios para la elaboración de las mezclas de prueba utilizados en esta investigación.

6. REFERENCIAS

Asociación de Fabricantes de Cemento Portland AFPC. (2019). “Anuario. Datos estadísticos año 2019”. <http://afcp.info/Anuarios/Anuario-2019.pdf>

Asociación Argentina de Hormigón Elaborado AAHE. (2019). “Estadísticas de la Producción de Hormigón Elaborado 2015 al 2019”. <https://hormigonelaborado.com/wp-content/uploads/2020/06/ProduccionC3%B3n-2019.pdf>

Balzamo, H., Cabrera, O., & et.al. (2012). “*Ese material llamado hormigón*”. Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-21660-5-2.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (2017). *IRAM 50.000. Norma argentina: Cemento. Cementos para uso general*. Cuarta edición.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (1997). *IRAM 1.627. Norma argentina: Agregados. Granulometría de los agregados para hormigones*. Primera edición.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (2012). *IRAM 1.601. Norma argentina: Agua para morteros y hormigones de cemento*. Tercera edición.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (2020). *IRAM 1.536. Norma argentina: Hormigón fresco de cemento. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono*. Segunda edición.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (1988). *IRAM 1.602-1. Norma argentina: Hormigón de cemento pórtland. Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas de hormigones y morteros - Método A.*. Primera edición.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (2015). *IRAM 1.524. Norma argentina: Hormigón de cemento. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral*. Cuarta edición.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (2013). *IRAM 1.546. Norma argentina: Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión*. Tercera edición.

INTI-CIRSOC. (2005). *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*. (INTI, Ed.) Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Obras Públicas de la Nación. Argentina.

Ms. Ing. Maximiliano Segerer. (2020). “*Nueva Norma IRAM de Hormigón Elaborado*”. Seminario Online de la Industria del Hormigón Elaborado. Asociación Argentina del Hormigón Elaborado (AATH). Buenos Aires, Argentina, pp. 37-39.

Sandrolini, F., & Franzoni, E. (2001). “*Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants*”. *Cement and Concrete Research*, 31(3), pp. 485-489. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00468-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00468-3)

Paulo Ricardo de Matos, Luiz Roberto Prudêncio Jr., Ronaldo Pilar, Philippe Jean Paul Gleize, Fernando Pelisser. (2020). “*Use of recycled water from mixer truck wash in concrete: Effect on the hydration, fresh and hardened properties*”. *Construction and Building Materials*, 230. doi: ISSN 0950-0618.

ASTM International. (1999). *ASTM C 403/C 403M – 99. Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración*. <http://www.astm.org>

Adecuación de un método de curado acelerado para Hormigones elaborados con cementos Portland CPC40 y áridos de la zona de Concepción del Uruguay

M.I. Schierloh^{1*}, V.C. Rougier², J.D. Sota³

*Autor de Contacto: schierlm@frcu.utn.edu.ar

^{1,2} Grupo de Investigación en Rehabilitación de Estructuras, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

³ Grupo de Investigación en Ingeniería Civil, Materiales y Ambiente. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concordia, Entre Ríos, Argentina.

RESUMEN

En este trabajo, se presenta el procedimiento desarrollado en el proyecto denominado “Predicción de la resistencia del hormigón a los 28 días usando un método acelerado para hormigones con cementos CPC 40, CPF 40 y áridos de la zona”, el cual se enfocó inicialmente, en la obtención de un método propio para acelerar el curado del hormigón usando agua en ebullición. En principio se trabajó con hormigones tipo H15 elaborados con Cemento Portland Compuesto (CPC40).

Se comprobó que, totalizando un tiempo entre hormigonado y ensayo de 24 horas, bajando sensiblemente el adoptado en la norma IRAM 1552 de 28,5 horas, se obtuvieron proyecciones de la resistencia con dispersiones que no superaron el 15%, adoptándose este procedimiento como método propio.

Palabras claves: Resistencia a compresión simple; Curado del hormigón; Proyección de resistencia; Curado acelerado del hormigón.

ABSTRAC

In this work, the procedure developed in the project called "Prediction of the resistance of the concrete

at 28 days using an accelerated method for concrete with cement CPC 40, CPF 40 and aggregates of the area" is presented. Aforementioned project, initially focused on obtaining an own method that allows to accelerate the procedure of curing concrete using boiling water. At the beginning of the research project, a concrete with nominal compressive strength of 15 MPa made with Portland Composite Cement (CPC40), was used.

It was found that, dispersions values of compressive strength did not exceed of 15% when a time of 24 hours between casting concrete and testing specimens is considered, Furthermore, the curing time of 28,5 hours adopted by IRAM 1552 was reduced.

Keywords: Simple compressive strength; concrete cured; Resistance projection; Accelerated curing of concrete.

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se o procedimento desenvolvido no projecto denominado "Predição da resistência do concreto aos 28 dias utilizando um método acelerado para concretos com cimentos CPC 40, CPF 40 e granulados da zona", o qual se concentrou inicialmente na obtenção de um método próprio para acelerar a cura do concreto utilizando água em ebulição. Em princípio trabalhou-se com concreto tipo H15 elaborados com Cimento Portland Composto (CPC40).

Verificou-se que, totalizando um tempo entre a concretagem e o ensaio de 24 horas, baixando sensivelmente o tempo adoptado na norma IRAM 1552 de 28,5 horas, se obtiveram projecções da resistência com dispersões que não ultrapassaram 15%, sendo este procedimento adoptado como método próprio.

Palavras chaves: Resistência à compressão simples; Cura do concreto; Projecção de resistência; Cura acelerada do concreto.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de proyectar, a partir de edades tempranas, la resistencia característica o especificada del hormigón a los 28 días, es un problema permanente de los Ingenieros y técnicos de la construcción, sobre todo en obras de gran envergadura, donde predecir dicha resistencia es fundamental para seguir avanzando con los trabajos.

Los métodos para predecir la resistencia característica o especificada se dividen en dos grupos:

1-Metodo natural.

2-Metodos acelerados.

Este trabajo se centró en el estudio de los Métodos acelerados, ya que al igual que otros autores (Cano Olazábal et al., 1976), se concluyó, en el desarrollo del trabajo precedente (Schierloh et al., 2018), que los valores de resistencia obtenidos en ensayos realizados sobre probetas a edades menores de 7 días, curadas con procedimiento natural normalizado, son difícilmente relacionables con los obtenidos a 28 días, debido a la gran dispersión que se produce.

La norma que rige este tipo de ensayos en nuestro país, es la IRAM 1552, de septiembre de 1993 (IRAM1552,1993), que ha quedado desactualizada debido al cambio en la composición química de los cementos actuales.

Estos métodos acelerados, al suministrar calor al hormigón, producen a las pocas horas un aumento de la resistencia respecto del método natural y una menor dispersión a igual tiempo de ensayo.

Lo cual puede deberse a varios factores que se están estudiando, asociados fundamentalmente al aumento de la cinética de las reacciones por acción de la energía calórica adicionada, que resulta en reacciones más uniformes y seguramente mejor correlacionadas por menores intervalos entre las mismas.

A finales de los años 50, se comenzó a estudiar científicamente la predicción de la resistencia del hormigón a los 28 días, partiendo de ensayos a las pocas horas de hormigonado usando métodos acelerados. Estos métodos acelerados se realizaron desde edades que varían de 3 horas luego de producirse el hormigonado, hasta 72 horas después del mismo. Se efectuaron con el hormigón en los moldes o desmoldados y usando agua a diversas temperaturas (35 grados, 60 grados), incluyendo agua en ebullición y vapor de agua.

En la Argentina en los años 70, en los laboratorios LEMIT, realizaron estudios tomando como base los pronósticos de resistencia por métodos acelerados efectuados por distintos investigadores y laboratorios, y considerando la necesidad de contar con un método práctico capaz de obtener resultados con una variación razonable, optaron por el sistema de usar agua en ebullición, luego del desmoldado a las 23 horas. (Cano Olazábal et al., 1976). Dicho método, muy práctico y fácilmente reproducible en obra, permitió obtener valores de resistencia a la edad 28 horas y treinta minutos, los cuales pudieron ser relacionados gráfica y/o analíticamente con los valores de resistencia a compresión del hormigón a los 28 días.

La mayoría de los países, tienen normas específicas respecto de métodos acelerados. Los Estados Unidos la ASTM 684 (ASTM 684, 2003), Perú la NTP 339.213 (NTP 339.213, 2007), Colombia NTC 1513 (NTC1513, 1994), entre otros.

Por otra parte, es sabido que en algunos procedimientos utilizados para acelerar el curado son necesarios equipos sofisticados, sin embargo, se pueden aplicar procedimientos para los cuales se utilizan elementos sencillos y replicables no solo en laboratorio, sino también a pie de obra.

Los estudios sobre métodos de curado acelerados para el hormigón que se han desarrollado hasta el momento en Argentina, fueron realizados para hormigones elaborados con cemento portland normal, muy diferentes a los que actualmente se fabrican en el país.

Partiendo de la revisión realizada (Qi-ling Luo y Wei-Lun Wang, 2011; Quispe Paye, 2017; Barragan et al., 1999) entre otros, se desarrolló en la primera etapa del proyecto, un análisis que consistió en encontrar y ajustar un método propio para el curado acelerado, fácil de reproducir no solo en laboratorios, sino también en campo a pie de obra, que permitió determinar el menor tiempo al que se alcanza una proyección de resistencia a los 28 días aceptable (con dispersiones menores o iguales al 15%, siguiendo las disposiciones del reglamento CIRSOC201 (CIRSOC201:2005).

2. PROCEDIMIENTOS

2.1 Aplicación de la Norma IRAM 1552 y el método desarrollado en LEMIT.

Ante el desconocimiento del mecanismo de acelerar el curado, ensayo y resultado probables del método de agua en ebullición por la falta de experiencia previa, lo primero que se realizó fue aplicar la norma IRAM 1552 y los coeficientes determinados en el trabajo realizado por los investigadores en el LEMIT.

La norma IRAM 1552, establece tres tipos de métodos acelerados. Los que se detallan en la Figura 1, tomada de la norma IRAM 1552:93.

Procedimiento	Moldes	Medio de curado acelerado	Temperatura de curado acelerado °C	Edad del comienzo del curado acelerado	Duración del curado acelerado	Edad de ensayo
A. Agua caliente	reutilizables o para un sólo uso	agua	35	inmediatamente después del moldeo	23½ h ± 30 min	24 h ± 15 min
B. Agua hirviendo	reutilizables o para un sólo uso	agua	hirviendo	23 h ± 15 min después del moldeo	3½ h ± 5 min	28½ h ± 15 min
C. Autógeno	para un sólo uso	calor de hidratación	temperatura inicial del hormigón aumentada por el calor de hidratación	inmediatamente después del moldeo	48 h ± 15 min	49 h ± 15 min

Figura 1. Breve descripción de los procedimientos de curado acelerado. Norma IRAM 1552:1993.

El que se adoptó para aplicar fue el Método B de agua hirviendo, el cual tiene un tiempo de colocación de las probetas en agua hirviendo pasadas las 23 hs ± 15 minutos. El tiempo del curado acelerado es de 3,5 hs ± 5 minutos y un enfriado mínimo de 1 hora, totalizando un tiempo de 28 ½ hs ± 15 minutos para completar el ensayo.

El método empleado por los investigadores en el LEMIT, es similar en cuanto a tiempos, al presentado en la IRAM 1552, que a su vez se ajusta al de la norma ASTM C648(1973), pero con algunas variantes mínimas introducidas por los investigadores. El tiempo de curado acelerado se mantiene en 3,5 horas ± 15 minutos y el tiempo total para la realización del ensayo es de 28 ½ hs ± 15 minutos.

Para ello, se utilizó un equipamiento sencillo (olla y hornalla portátil a gas), y que permitió sumergir las probetas de hormigón en agua en ebullición durante el tiempo que determina el método. Así como también equipamiento de laboratorio (prensa hidráulica, moldes metálicos para probetas, balanzas electrónicas, etc), que posibilitaron la ejecución de los ensayos correspondientes.

El proceso se inició con la elaboración de un pastón de hormigón el cual se vierte en moldes normalizados según norma IRAM 1524(2004). Luego de transcurridas las horas prefijadas se desmoldan y se coloca, las muestras, en agua en ebullición por el tiempo necesario para ajustar la dispersión de los resultados. Se produce el enfriado de las probetas hasta un tiempo y temperatura a determinar y se las ensaya a compresión simple.

El valor obtenido se relaciona con el valor alcanzado con las probetas ensayadas a 28 días curadas de manera normal en cámara húmeda.

Para el trabajo que aquí se presenta, el objetivo central fue ajustar de forma precisa la metodología (tiempo de desmolde, tiempo de hervido y tiempo de enfriamiento necesario de las probetas), a fin

de obtener un “método propio”, de tal manera de alcanzar una predicción de la resistencia a los 28 días aceptable, en el menor tiempo posible.

Para ello se procedió de la siguiente manera:

Inicialmente se caracterizaron los materiales a usar, los resultados se muestran en el Tabla 1, luego se efectuó el cálculo racional del hormigón, que sirvió como testigo para determinar el tiempo de desmolde límite, las horas necesarias de cocción de las probetas, la forma y el tiempo mínimo de enfriado de las probetas.

Tabla 1. Características de los áridos utilizados.

Áridos	IRAM	Densidad relativa gr/cm ³	Abs. de agua %	IRAM 1505		MF de la Mezcla
				Tamaño Máximo mm	Módulo de Finura	
Ar. fina del río Uruguay	1520	2,5	0,7		1,53	5,25
C. Rodado de Ar. Molino	1433	2,56	1,5	19		

Se dosifico un hormigón de tensión característica especificada real H15, relación agua material cementicio 0,5, asentamiento 8 cm, utilizando cemento CPC 40 y áridos de la zona. Tabla 2.

Tabla 2. Diseño racional de mezcla de hormigón H15 por m³

Dosificación H15		
Material	Volúmen	Peso Kg/m ³
Cemento	0,097	300
Agua	0,150	150
Canto Rodado	0,415	1050
Arena	0,338	896
Total	1	2395,7
Relación A/C	0,5	

Como no se tenía experiencia previa, se optó por iniciar aplicando la metodología indicada en la norma IRAM 1552. Para lo cual se desmoldaron las probetas a las 23 horas, se las colocó en agua hirviendo durante 3,5 horas, se las dejó enfriar a temperatura ambiente durante dos (2) horas y a continuación se las ensayo a compresión simple, completando un total de **28½hs**.

Se realizaron 8 series de cuatro probetas cada una. De cada serie ensayada, dos probetas se utilizaron para ser colocarlas en agua en ebullición y posteriormente ensayadas. Las otras dos se dejaron en cámara húmeda con curado normal y ensayadas a los 28 días.

Realizados los ensayos de las ocho series, se determinó la tensión característica o especificada a las 28½ horas y a los 28 días, estableciéndose la relación $\sigma_1/\sigma_{28 \text{ días}}$ (tensión característica o especificada a la hora de cocción respecto de la tensión característica o especificada a los 28 días), en la Figura 2 se muestra el modelo de tabla con los resultados, que no se han transcripto por lo extenso de la misma. Y con las ocho series se determinaron los valores finales que se muestran en el Tabla 3.

Serie	Probetas n°	Edad de Rotura en días	Asentamiento (cm)	Carga rotura (1) (Tn)	Carga rotura (2) (Tn)	Rotura compresión (1) MPa	Rotura compresión (2) MPa	Diferencia (1) (%)	Diferencia (2) (%)	Carga rotura (Tn)	Rotura compresión Mpa	Coefficiente "r" $r = \sigma_{1 \text{ día}} / \sigma_{28 \text{ días}}$
I	1	1	8	12,13	12,36	6,74	6,86	-0,94	0,94	12,25	6,80	0,385973207
	2	28		31,81	31,64	17,66	17,57	0,27	-0,27	31,73	17,62	
II	1	1	7,5	12,4	13,41	6,89	7,45	-3,91	3,91	12,91	7,17	0,390055917
	2	28		32,51	33,66	18,05	18,69	-1,74	1,74	33,09	18,37	
III	1	1	8	11,15	11,73	6,19	6,51	-2,53	2,53	11,44	6,35	0,401544402
	2	28		27,66	29,32	15,36	16,28	-2,91	2,91	28,49	15,82	
IV	1	1	7,5	10,9	11,58	6,05	6,43	-3,02	3,02	11,24	6,24	0,381210785
	2	28		28,16	30,81	15,64	17,11	-4,49	4,49	29,49	16,37	
V	1	1	8	11,24	10,95	6,24	6,08	1,31	-1,31	11,10	6,16	0,387665968
	2	28		26,33	30,91	14,62	17,16	-8,00	8,00	28,62	15,89	
VI	1	1	8	11,09	11,28	6,16	6,26	-0,85	0,85	11,19	6,21	0,362560778
	2	28		31,29	30,41	17,37	16,89	1,43	-1,43	30,85	17,13	
VII	1	1	8	10,67	11,36	5,92	6,31	-3,13	3,13	11,02	6,12	0,407434807
	2	28		26,77	27,3	14,86	15,16	-0,98	0,98	27,04	15,01	
VIII	1	1	7,5	10,69	10,55	5,94	5,86	0,66	-0,66	10,62	5,90	0,379150303
	2	28		28,41	27,61	15,77	15,33	1,43	-1,43	28,01	15,55	

Figura 2. Resultados de los ensayos acelerados de resistencia del Hormigón H15 con CPC40, desmoldado a las 23hs, curado acelerado 3,5hs, enfriamiento y rotura a las 28½hs.

Tabla 3. Valores finales obtenidos al aplicar la metodología de la IRAM 1552

Días de rotura	Tensión media Mpa	Desviación estándar	Factor K (para n-1)	Tensión caract. Mpa	Porcentaje de Res. Caract. respecto de Res. a 28 días	Coefficiente "R" $r = \sigma_{1 \text{ día}} / \sigma_{28 \text{ días}}$
1	6,37	0,41	1,42	5,78	38,93	0,3893
28	16,47	1,14	1,42	14,85	100,01	

La constante estadística "K", depende de dos factores:

a- Del número de ensayos.

b- Del porcentaje aceptable de probetas que caen por debajo de un valor de diseño mínimo.

El ACI y el reglamento Argentino CIRSOC 201:2005 aceptan un 10% de la curva de Gauss. El CEB el 5% de dicha curva.

Para este trabajo se adoptó 90% de la curva de Gauss como cobertura estadística. Para ocho series de ensayos y una cobertura del 90%, K=1,42

A continuación, se realizó un análisis estadístico, partiendo del coeficiente R= 0,3893, resultante para las ocho series ensayadas. Se analizaron las series individualmente, comparando los resultados de los ensayos y los resultados aplicando el coeficiente "R" hallado, se observaron las desviaciones individuales que se producen, las que se presentan en el Tabla 4.

Los valores negativos, indican que los valores de ensayo, son mayores a los valores calculados teóricamente y viceversa.

El coeficiente $R= 0,3893$, es el resultante para las ocho series ensayadas.

Si analizamos las series individualmente, comparando los resultados de los ensayos y lo que debería dar aplicando el coeficiente "R" hallado, podremos observar las desviaciones individuales que se producen.

La Tabla 4, resume este concepto.

Tabla 4. Desviación Individual para las ocho series

Serie	Rotura compresión	$\sigma_{28\text{días}}$ proyectada	Diferencia $\sigma_{28\text{ proy}} - \sigma_{28}$	Diferencia en porcentaje
I	6,8	17,47	-0,15	-0,87
	17,62			
II	7,17	18,42	0,05	0,26
	18,37			
III	6,35	16,31	0,49	3,01
	15,82			
IV	6,24	16,03	-0,34	-2,13
	16,37			
V	6,16	15,82	-0,07	-0,42
	15,89			
VI	6,21	15,95	-1,18	-7,39
	17,13			
VII	6,12	15,72	0,71	4,52
	15,01			
VIII	5,90	15,16	-0,39	-2,60
	15,55			

Por ejemplo, tomando la serie I, se aprecia que a las 28 ½ horas, las probetas rompieron a un valor promedio de 6,8 MPa. Se recuerda que esta rotura representa el valor promedio de dos ensayos.

Aplicando el coeficiente "R", a los 28 días, el valor de ensayo debería ser de 17,47 MPa. En el ensayo a los 28 días, el valor de rotura promedio fue de 17,62 MPa, siendo la diferencia de -0,15 MPa., que expresado en porcentaje respecto del valor teórico de rotura, representa el -0,87 %

Del análisis de los porcentajes de desviación, se observó que individualmente las desviaciones resultaron todas debajo del 15%, siendo la máxima desviación un 7,39%.

El análisis individual, se realizó considerando ensayos individuales y comparando con los índices de las ocho series. Este estudio, sirvió solo a los fines teóricos, pero no se ajusta a los requerimientos de la normativa vigente, ya que éstas consideran requisito mínimo de tres valores individuales para determinar las tensiones características.

Para completar el análisis se planteó la siguiente suposición: un laboratorista podría haber ensayado solo tres series y al azar le hubiesen tocado algunas de estas series, las desviaciones que podrían haber ocurrido se calculan de la siguiente manera:

El número de combinaciones posibles es:

$$C = \frac{n!}{r!} * (n - r)! \quad (1)$$

Siendo:

n = número de series ensayadas (en este caso: 8)

r = número de series parciales (en este caso: 3)

Reemplazando en (1) $C = \frac{8!}{3!} * (8 - 3)! = 56$ combinaciones

Esto indica que una de estas 56 combinaciones posibles es la que determina el mayor desvío posible. La posibilidad de que ello ocurra, es:

$$\% = \frac{1}{56} = 0,01785 = 1,78\% \quad (2)$$

Se tiene entonces el 1,78 % de probabilidades de que ocurra dicho evento.

Se realizaron todas las combinaciones posibles de las 8 series tomadas de a tres, se determinaron las tensiones teóricas a los 28 días y finalmente las diferencias entre esos valores teóricos proyectados y los obtenidos con los ensayos, tanto en valores como en porcentajes. Los valores máximos y mínimos de las desviaciones obtenidas de las 56 combinaciones, así como las series en que se obtuvieron se muestran en el Tabla 5.

Tabla 5. Desviaciones máximas para tres series al azar.

MAXIMOS Y MINIMOS	
Series 1,2,6	-10,71
Series 3,4,7	10,35

Se observó que las desviaciones encontradas, en el escenario más desfavorable posible de tres series al azar no superó el 15%, valor máximo previsto por el reglamento CIRSOC 201:05.

Por otra parte, se comprobó que, al aumentar el número de series para realizar las combinaciones posibles, las desviaciones disminuían. Comprobándose, de esta manera la hipótesis planteada, respecto a que la situación más desfavorable se daría al tomar las series de a tres.

Se realizó a continuación la comparación aplicando las fórmulas dadas por la norma IRAM 1552 y los coeficientes obtenidos en los estudios del LEMIT.

La norma IRAM 1552, da una formula genérica que expresa la correlación entre la resistencia a edad temprana y la resistencia a los 28 días.

La fórmula que lo expresa es una función hiperbólica:

$$Y = X / (A * B + B) \quad (3)$$

Siendo:

Y = Resistencia esperable a compresión del hormigón a los 28 días en megapascales

X = Resistencia a la compresión obtenida del hormigón en ensayo acelerado

A y B = Son coeficientes de correlación que depende del material empleado

La norma no determina valores para A y B , los deja a criterio del investigador en función de los ensayos a realizar en laboratorio para el tipo de cemento y agregados utilizados.

El LEMIT, en sus estudios realizados en los años setenta del siglo pasado, se determinó una formula hiperbólica semejante a la de la norma IRAM 1552, donde los coeficientes A y B , están definidos para ciertos áridos empleados en los estudios.

$$\text{Piedra partida granítica} \quad Y = X/(0,001 * X + 0,39) \quad (4)$$

$$\text{Piedra partida cuarcítica} \quad Y = X/(0,001 * X + 0,37) \quad (5)$$

$$\text{Canto rodado} \quad Y = X/(0,001 * X + 0,41) \quad (6)$$

Para el caso que nos ocupa se usó canto rodado, sería reemplazando en (6):

$$\sigma_{28\text{días}} = 5,78/(0,001 * 5,78 + 0,41)$$

$$\sigma_{28\text{días}} = 13,90\text{MPa}$$

El valor real de ensayo fue: $\sigma_{28\text{días}} = 14,85\text{MPa}$

La diferencia entre ambos valores resultó ser:

$$\text{Dif} = 14,85\text{MPa} - 13,90\text{Mpa} = 0,95\text{Mpa} \quad (7)$$

La diferencia en porcentaje fue:

$$\text{Dif}\% = 0,95 * \frac{100}{13,90} = 6,83\% \quad (8)$$

Esto indicó que hay una diferencia de 6,83 % entre los valores dados por la fórmula del LEMIT para los antiguos cementos Portland normales y el cemento CPC 40.

El objetivo de esta investigación, no fue comparar ambas realidades, ya que para hacerlo habría que tomar un mayor número de series de muestra.

La aplicación de la norma IRAM 1552:93, se utilizó para definir variables para la aplicación del procedimiento, de las cuales las más importantes fueron:

- Tiempo de encendido del quemador usado, hasta que el agua de la olla a temperatura normal alcanza la ebullición (esto depende de la potencia del quemador). (1 h.)
- Temperatura del agua en ebullición, (98,8 °C).
- Temperatura a que desciende el agua una vez colocadas las 4 probetas. (89,3°C).
- Tiempo transcurrido hasta que el agua vuelve a hervir. (15min).
- Temperatura exterior de la probeta una vez sacadas del agua hirviendo (70,2°C).
- Temperatura exterior de la probeta pasados los 30 minutos (48,1°C).
- Temperatura exterior de la probeta luego de una hora, (36,9 °C).
- Tiempo entre la elaboración de pastones, (15 minutos).

2.2 Ensayos con 3hs de hervido.

A fin de evidenciar el efecto de reducir las horas de cocción de las probetas, se llevó a cabo el mismo análisis con otras ocho series, pero colocándolas en agua hirviendo solo por tres (3) horas. Completando un tiempo final de ensayo de 28 horas. Los valores se observan en los Tablas 6, 7 y 8.

En esta oportunidad se comprobó que no era muy marcada la diferencia de dispersiones respecto de la cocción durante 3 ½ horas y las dispersiones obtenidas estuvieron dentro del margen del 15%.

Tabla 6. Valores finales para tres horas de hervido.

Días de rotura	Tensión media Mpa	Desviación estándar	Factor K (para n-1)	Tensión caract. Mpa	Porcentaje de Res. Caract. respecto de Res. a 28 días	Coficiente "R" $r = \sigma_{1\text{día}}/\sigma_{28\text{días}}$
1	6,75	0,31	1,42	6,31	38,14	0,3881
28	17,03	0,54	1,42	16,26	98,26	

Tabla 7. Desviaciones individuales para las series con tres horas de hervido.

Serie	Rotura compresión	$\sigma_{28\text{días}}$ proyectada	Diferencia $\sigma_{28\text{ proy}} - \sigma_{28}$	Diferencia en porcentaje
I	6,74	17,56	0,61	3,46
	16,95			
II	7,03	18,31	0,89	4,87
	17,42			
III	6,72	17,50	0,11	0,65
	17,39			
IV	6,61	17,22	1,30	7,54
	15,92			
V	6,21	16,18	-0,82	-5,09
	17			
VI	7,19	18,73	1,96	10,46
	16,77			
VII	6,55	17,06	0,00	0,01
	17,06			
VIII	6,95	18,10	0,39	2,17
	17,71			

Tabla 8. Desviaciones máximas y mínimas para tres series al azar, en el caso de tres horas de hervido.

MAXIMOS Y MINIMOS	
Series 5,6,7	-13,5
Series 1,3,4	10,27

2.3 Ensayos con desmolde a las 20 horas, tres horas de cocción, media hora de enfriamiento y rotura a las 24 hs – Método Propio -

Observando que, al disminuir media hora la cocción, se producía una mayor dispersión y el tiempo disminuido fue de solo media hora, se optó, entonces, por reducir lo más posible el horario de desmolde y enfriado y no disminuir más el horario de cocción.

El desmolde se lo llevo a 20 horas. La colocación de las probetas en agua en ebullición se realizó a las 20½ horas durante un período de 3 horas y el enfriamiento se lo llevó al mínimo posible de media hora, totalizando un tiempo completo entre elaboración del hormigón y el ensayo a compresión simple de 24 horas, bajando sensiblemente el tiempo adoptado en la norma IRAM 1552 de 28 ½ horas.

Se realizaron nuevamente otras ocho series de probetas, se siguieron los mismos procedimientos y los resultados se resumen en los Tablas 9, 10 y 11 que se muestran a continuación.

Se verificó que la dispersión resultó menor del 15% considerándose el límite que mejor ajustó, adoptándose este sistema como método propio.

Tabla 9. Valores finales obtenidos para el método propio.

Días de rotura	Tensión media Mpa	Desviación estándar	Factor K (para n-1)	Tensión caract. Mpa	Porcentaje de Res. Caract. respecto de Res. a 28 días	Coefficiente "R" $r = \sigma_{1\text{día}}/\sigma_{28\text{días}}$
1	6,24	0,26	1,42	5,87	39,52	0,3905
28	16,04	0,72	1,42	15,03	101,20	

Tabla 10. Desviaciones individuales con tres horas de hervido, en el método propio.

Serie	Rotura compresión	$\sigma_{28\text{días}}$ proyectada	Diferencia $\sigma_{28\text{ proy}} - \sigma_{28}$	Diferencia en porcentaje
I	6,44	16,72	1,67	0,98
	15,05			
II	6,69	17,37	1,96	11,27
	15,41			
III	6,45	16,74	-0,02	-0,09
	16,76			
IV	6,22	16,15	0,89	5,50
	15,26			
V	5,86	15,21	-1,35	-8,86
	16,56			
VI	6,05	15,71	-0,69	-4,42
	16,40			
VII	6,03	15,65	-0,39	-2,46
	16,04			
VIII	5,93	15,39	-1,48	-9,58
	16,87			

Observando los porcentajes de desviación, se advirtió que individualmente las desviaciones están todas debajo del 15%, siendo la máxima de 11,09%.

Este porcentaje, es mayor al 7,39% obtenido con un tiempo de hervido de probetas de 3 ½ horas (método IRAM 1552), pero queda dentro de los límites aceptables.

Esto en principio estaría indicando una posible influencia negativa de media hora menos de cocción, tres horas menos de desmolde y 1 1/2 hora menos de enfriamiento.

Tabla 11. Desviaciones máximas para tres series al azar para un hervido de tres horas, en el método propio.

MAXIMOS Y MINIMOS	
Series 3,5,8	-13,00
Series 1,2,3	12,43

Se observa que las desviaciones encontradas en el escenario más desfavorable posible de tres series al azar no superan el 15%, pero están cercanos a ese límite.

2.4 Ensayos con desmolde a las 20 horas, dos horas de hervido, media hora de enfriamiento y rotura a las 23 hs

Siguiendo con la hipótesis inicial de encontrar un método que llegue a un límite mínimo posible del ensayo en horas, se pensó en disminuir una hora del tiempo de hervido propuesto con el método propio, es decir se bajó el tiempo de hervido a dos horas, dejando constante el tiempo de desmolde, colocación de las probetas en agua hirviendo y enfriamiento, llegando a un total de 23 horas para el ensayo acelerado.

Se realizaron otras ocho series de probetas, repitiendo los análisis.

Los resultados se resumen en los Tablas 12, 13 y 14 que se muestran a continuación.

Tabla 12. Valores finales obtenidos para el método con dos horas de hervido.

Días de rotura	Tensión media Mpa	Desviación estándar	Factor K (para n-1)	Tensión caract. Mpa	Porcentaje de Res. Caract. respecto de Res. a 28 días	Coefficiente "R" $r = \sigma_{1\text{día}}/\sigma_{28\text{días}}$
1	4,82	0,53	1,42	4,06	30,19	0,3020
28	15,58	1,49	1,42	13,46	100,00	

El coeficiente R= 0,3020, es el resultante para las ocho series ensayadas.

Se analizaron las series individualmente, comparando los resultados de los ensayos y lo que debería dar aplicando el coeficiente "R" hallado, en la tabla 14 se observan las desviaciones individuales que se producen.

Observando los porcentajes de desviación, se advierte que individualmente las desviaciones sobrepasan el límite del 15%, siendo la máxima desviación un 16,55%.

Las mayores desviaciones obtenidas de las 56 combinaciones, se observan en la Tabla 14.

Se observa que las desviaciones encontradas en el caso más desfavorable de tres series al azar superan en un 45% los mínimos y en un 18,2% los máximos, respecto del 15%, lo que acentúa lo observado en el análisis anterior.

Se hace evidente que este método no garantiza una desviación aceptable. Por ello se desestima su aplicación y se considera el método ensayado para un total de 24hs, como el límite al que se podía llegar.

Esto muestra una posible influencia negativa de una hora menos de hervido respecto del método propio.

Tabla 13. Desviaciones individuales con dos horas de hervido.

Serie	Rotura compresión	$\sigma_{28\text{días}}$ proyectada	Diferencia $\sigma_{28\text{ proy}} - \sigma_{28}$	Diferencia en porcentaje
I	4,61	15,26	0,76	5,01
	14,50			
II	5,85	19,37	0,36	1,86
	19,01			
III	4,63	15,33	0,42	2,75
	14,91			
IV	5,24	17,35	2,87	16,55
	14,48			
V	4,96	16,42	0,22	1,36
	16,20			
VI	4,48	14,83	-0,10	-0,64
	14,93			
VII	4,11	13,61	-1,53	-11,25
	15,14			
VIII	4,64	15,36	-0,09	-0,56
	15,45			

Tabla 14. Desviaciones máximas para tres series al azar para un hervido de dos horas

MAXIMOS Y MINIMOS	
Series 4,6,7	-21,9
Series 1,2,4	17,73

2.5 Método sin hervido y ensayo a compresión a 24hs.

Para completar el estudio, se elaboraron ocho series más con desmoldado a las 23 horas y ensayo a las 24 horas, pero sin colocar las probetas en agua en ebullición. Se repitieron los análisis y los resultados se observan en las Tablas 15, 16 y 17.

Se corroboró, una vez más, la gran dispersión que se obtiene entre los resultados, por lo cual resultó inaplicable.

Tabla 15. Valores finales obtenidos para el método sin hervido y ensayado a las 24hs.

Días de rotura	Tensión media Mpa	Desviación estándar	Factor K (para n-1)	Tensión caract. Mpa	Porcentaje de Res. Caract. respecto de Res. a 28 días	Coefficiente "R" $r = \sigma_{1\text{ día}} / \sigma_{28\text{ días}}$
1	4,06	0,46	1,42	3,41	22,46	0,2246
28	16,78	1,12	1,42	15,18	100,02	

Tabla 16. Desviaciones individuales sin hervido y ensayado a 24hs.

Serie	Rotura compresión	$\sigma_{28\text{días}}$ proyectada	Diferencia $\sigma_{28\text{ proy}} - \sigma_{28}$	Diferencia en porcentaje
I	4,66	20,75	4,09	19,70
	16,66			
II	4,09	18,21	2,84	15,60
	15,37			
III	4,16	18,52	2,13	11,51
	16,39			
IV	4,59	20,44	1,48	7,22
	18,96			
V	3,95	17,59	-0,15	-0,87
	17,74			
VI	3,23	14,38	-1,57	-10,91
	15,95			
VII	3,75	16,70	0,49	2,91
	16,21			
VIII	4,02	17,90	0,94	5,24
	16,96			

Tabla 17. Desviaciones máximas para tres series al azar sin hervido y ensayado a 24hs.

MAXIMOS Y MINIMOS	
Series 1,6,7	-39,43
Series 1,2,4	21,08

Con estos últimos ensayos se confirmaron los resultados y conclusiones a las que se llegó con los estudios realizados en el proyecto anterior –Schierloh et al. (2018)- respecto del método natural. Se confirmó una vez más que a medida que se baja la edad de ensayo de las probetas curadas con el método normal y se lo relaciona con los ensayos a los 28 días, las dispersiones van en aumento. Con estos nuevos estudios, se corroboró que, para edades menores a tres días, la dispersión resultante aumenta.

El total de probetas ensayadas para esta primera etapa, fue de 160, repartidas en ocho series de cuatro probetas cada una.

3. RESULTADOS

Observando los resultados de los cinco procedimientos ensayados, los que se resumen en la Tabla 18, se puede decir:

-El método de la norma IRAM 1552 – LEMIT, fue el que dio las menores desviaciones, pero el tiempo de ensayo fue cuatro horas y media mayor al método propio encontrado.

- El método modificado IRAM 1552 – LEMIT con tres horas de hervido, dio desviaciones mayores al método original bajando el tiempo de ensayo solo en media hora.
- El método propio, dio desviaciones mayores al método IRAM 1552 –LEMIT, pero dentro del límite aceptable y a su vez disminuyó mucho el tiempo de ensayo, cuatro horas y media.
- El método propio con tiempo de hervido de dos horas, dio desviaciones mayores a lo propuesto disminuyendo muy poco el tiempo de ensayo, una hora.
- El método sin cocción, dio desviaciones muy elevadas, lo que confirma los resultados obtenidos en el trabajo anteriormente desarrollado Schierloh et al.(2018), respecto a la imposibilidad de ensayar probetas, sin acelerar el proceso de curado, en edades menores a siete días para proyectar la resistencia a los 28 días.

Tabla 18. Resumen numérico de los 5 métodos ensayados.

Orden	Método	Tensión caract. acelerada [MPa]	Tensión caract. 28 días [MPa]	Coficiente "R" $\sigma_{1\text{día}}/\sigma_{28\text{días}}$	Desviaciones grupales máximas [%]
1	IRAM 1552:03 - LEMIT	5,78	14,85	0,3893	-10,71/+10,35
2	IRAM 1552 –LEMIT con hervido de 3HS.	6,31	16,16	0,3881	-13,5/+10,27
3	MÉTODO PROPIO	5,87	15,03	0,3903	-13,00/+12,43
4	METODO PROPIO con 2 hs de hervido	4,06	13,46	0,3020	-21,09/+17,73
5	Sin hervido rotura 24HS	3,41	15,18	0,2246	-39,43/+21,08

4. CONCLUSIONES

- El hormigón dosificado fue aceptable como testigo para determinar el tiempo de desmolde límite, las horas necesarias de cocción de las probetas y el tiempo mínimo de enfriado de las probetas.
- Si bien es posible que, en la aplicación del método de curado acelerado de agua en ebullición, los productos de hidratación del cemento, sean levemente diferentes a los obtenidos con el curado normal, no se considera que sea una desventaja para su aplicación en la práctica de control rápido.
- En base a los análisis efectuados, se concluyó que el método propio sería el adecuado. Si bien es un método con dispersión mayor que el desarrollado en la norma IRAM 1552, los resultados dieron valores que se encuadran dentro de límites aceptables, logrando una disminución de cuatro horas y media de tiempo en la aplicación completa del método.

Consideración final; Con los materiales usados y el cemento empleado CPC40, la metodología desarrollada y usada podría aplicarse para el control de la resistencia en obra, para hormigones de cementos con adiciones (hasta el 40%).

En el laboratorio de Civil, donde se desarrolla este proyecto, tendrá aplicación directa, ya que por solicitud de empresas u organismos estatales se realizan, habitualmente, ensayos de compresión, con el fin de controlar y proyectar la resistencia de los hormigones a los 28 días.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer en primer lugar a las autoridades de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional. Al grupo de trabajo, particularmente a los estudiantes Lautaro Alza y Fernando Tauber por su compropio y alto desempeño. Y muy especialmente al Ingeniero Héctor Retamal por su asesoramiento para el desarrollo y conclusiones.

6. REFERENCIAS

American Society for Testing and Materials. (2003). ASTM C684: *Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens*. EEUU.

Barragan B, Di Maio A.Giaccio A., Traversa L. Zerbino R. (1999). *Hormigones elaborados con distintos agregados, expuestos a altas temperaturas*. Ciencia y Tecnología del hormigón. LEMIT N°7. Pp 27-41. <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/418>

Cano Olazábal, W., Traversa, L.P, Giussi, J.H. (1976). “*Predicción de la resistencia del cemento Portland por el método del curado acelerado*”, Anales del LEMIT, La Plata, Argentina.

Centro de investigación de los reglamentos nacionales de seguridad para las obras civiles. (2005). CIRSOC 201: *Reglamento argentino de estructuras de hormigón*. Argentina.

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI. (2007). NTP 339.213: *Método de ensayo normalizado para la elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto*. Lima. Perú.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1993). IRAM1552: *Hormigón de cemento Portland, ensayo acelerado de la resistencia a la compresión*. Argentina.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2004). IRAM 1524:04: *Hormigón de cemento. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral*. Argentina.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1994). NTC 1513: *Método de ensayo para la elaboración, curado acelerado y ensayo a compresión de especímenes de concreto*. Bogotá. Colombia.

Qi-ling Luo y Wei-Lun Wang. (2011). *Accelerated test methods for cement strength based on the weighted maturity theory*. Applied Mechanics and Materials Vols. 105-107 (2012). pp 897-901.

Quispe Paye D. (2017). *Aceleración de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto hidráulico en diferentes relaciones agua cemento empleando agua en ebullición* – Tesis. Universidad Andina. Perú.

Schierloh, M.I., Retamal, H.R., Deusich L.D., Souchetti, R. (2018). “*Evaluación de la relación existente entre la resistencia a la compresión del hormigón a distintas edades y la especificada a los 28 días utilizando cemento compuesto CPC 40 y filerizado CPF 40 con áridos de la zona*.” Proyecto desarrollado en la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional.

Activadores alternativos para cementos de activación alcalina.

J. Payá ^{1*}, J. Monzó ¹, M.V. Borrachero ¹, L. Soriano ¹, M.M. Tashima ².

*Autor de Contacto: jjpaya@cst.upv.es

¹ Grupo de Investigación en Química de los Materiales (GIQUIMA), Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH), Universitat Politècnica de València, Valencia, España.

² Grupo de Pesquisa MAC– Materiais Alternativos de Construção, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

RESUMEN

Los cementos de activación alcalina (CAA) requieren de un componente alcalino para la activación del precursor. La fabricación del activador alcalino (AA) supone un consumo energético y de materias primas muy importante, de modo que la huella de carbono de los CAA está fundamentalmente influenciada por ese factor. Una alternativa es el uso de otras materias para la preparación del AA. En este trabajo se realiza un exhaustivo análisis de las diferentes alternativas: materias de base silíceas para la preparación de silicatos alternativos y materias de base alcalina. Se comparan de forma relativa las huellas de carbono con respecto a cementos Portland comerciales, y se analiza el efecto que tiene la sustitución de reactivos comerciales por activadores alternativos.

Palabras clave: Activación alcalina; activadores alternativos; cenizas de biomasa; residuos industriales; huella de carbono

ABSTRACT

Alkali activated cements (AAC) require an alkaline component for activating of the precursor. The manufacture of the alkaline activator (AA) involves a very important energy and raw material consumption, so that the carbon footprint (CF) of AAC is basically influenced by this factor. An alternative is the use of other materials for AA preparation. In this work an exhaustive analysis of the different alternatives is carried out: silica-based materials to prepare of alternative silicates and alkaline-based materials. CF is compared relative to commercial Portland cements, and the effect of replacing commercial reagents with alternative activators is analyzed.

Keywords: Alkali activation; alternative activators; biomass ash; industrial waste; carbon footprint

RESUMO

Cimentos ativados alcalinamente (CAA) requerem um componente alcalino para ativação do precursor. A fabricação do ativador alcalino (AA) está associada um consumo de energia e matéria-prima muito importante, de forma que a pegada de carbono do CAA é basicamente influenciada por este fator. Uma alternativa é o uso de outros materiais para a preparação do AA. Neste trabalho é realizada uma análise exaustiva das diferentes alternativas: materiais à base de sílica para a preparação de silicatos alternativos e materiais à base de álcali. As pegadas de carbono são comparadas com os cimentos Portland comerciais e o efeito da substituição dos reagentes comerciais por ativadores alternativos é analisado.

Palavras-chave: Ativação alcalina; ativadores alternativos; cinza de biomassa; resíduo industrial; pegada de carbono

1. INTRODUCCIÓN

El término “Economía Circular” se ha instaurado en la mayor parte de las propuestas sobre el desarrollo de la humanidad en los retos globales (cambio climático, biodiversidad, residuos y contaminación). Esta economía circular está enfocada a un modelo productivo+consumo en el que se priorice la reducción, la reutilización, la reparación, el reciclado, la recuperación y la valorización de productos. De este modo, el ciclo de vida de los productos se debe extender en la mayor medida de lo posible, minimizando tanto el consumo de recursos naturales y de energía como la generación de residuos y contaminación del entorno.

La circularidad puede y debe extenderse a cada uno de las áreas de desarrollo, científicas, tecnológicas y humanas. Dado que muchos de los procesos de fabricación están relacionados con procesos y reacciones químicas, del mismo modo que los fenómenos de contaminación y de gestión de residuos, toma especial importancia el término “Química Circular” (Keijer et al., 2019; Mohan, y Katakjwala, 2021). La Química es la ciencia esencial para la Economía Circular, donde la estrategia se enfoca hacia la innovación química a nivel atómico, molecular y estructural.

El área de la construcción y, específicamente, el área del hormigón, el material más utilizado por la humanidad después del agua, deben desarrollarse bajo el paraguas de la Química Circular. El cemento, como material clave conglomerante en la preparación de hormigones, es un material sintético fabricado a partir de diversos componentes y que está constituido por un conjunto de compuestos químicos, que por reacción con el agua desarrollan otros productos químicos que son los responsables de las propiedades tecnológicas de los conglomerantes.

En la antigüedad ya se preparaban los conglomerantes aéreos basados en yeso y cal hidratada a través de la transformación de materias naturales, y dichos conglomerantes reaccionaban con agua

y/o con dióxido de carbono para producir materiales resistentes y con estabilidad para ciertos entornos. La introducción por los ingenieros romanos de los materiales puzolánicos, fundamentalmente cenizas de origen volcánico, en las mezclas con cal hidratada, dio un giro químico trascendental (Pavía y Caro, 2008), que, muchos siglos más tarde, sería retomado para el desarrollo de nuevos cementos con adiciones puzolánicas.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX, se implementaron procesos químicos para la fabricación de conglomerantes hidráulicos, que culminaron con la patente de Joseph Aspdin en 1824: se inició, por tanto, el período del cemento Portland desplazando el uso de materiales como la cal y el yeso. El cemento es el material que conforma desde ese momento hasta nuestros días una gran parte de edificaciones e infraestructuras (Hall, 1976). El desarrollo de procesos químicos a alta temperatura (clinkerización) permitieron la elaboración de cementos de elevadas prestaciones y aceptable durabilidad. El conocimiento de las reacciones químicas de hidratación del cemento Portland y la interacción de éstas con el resto de componentes del hormigón y del entorno (humedad, CO₂, cloruros, ...) ha permitido la evolución de las características de los nuevos cementos comerciales basados en el clinker del cemento Portland.

Listado de acrónimos (por orden de aparición en el texto)

En Español		En inglés	
Acrónimo	Significado	Significado	Acrónimo
AA	Activador alcalino	Alkali activator	AA
CAA	Cemento de activación alcalino	Alkali activated cement	AAC
MK	Metacaolín	Metakaolin	MK
CV	Ceniza volante de carbón	Pulverized fly ash	FA
ESC	Escoria de alto horno	Blast furnace slag	BFS
CER	Residuo cerámico	Ceramic waste	CW
NS	Nanosílice	Nanosilica	NS
TD	Tierra de diatomeas	Diatomaceous earth	DE
FCC	Catalizador gastado de craqueo catalítico	Spent fluid catalytic cracking catalyst	FCC
SS	Silicato sódico	Sodium silicate	WG
TDR	Tierra de diatomeas residual	Wasted diatomite	WD
HS	Humo de sílice	Silica fume	SF
RV	Residuo de vidrio	Glass waste	GW
CCA	Ceniza de cáscara de arroz	Rice husk ash	RHA
CPCA	Ceniza de paja de caña de azúcar	Sugar cane straw ash	SCSA
CBCA	Ceniza de bagazo de caña de azúcar	Sugar cane bagasse ash	SCBA
CHB	Ceniza de hoja de bambú	Bamboo leaf ash	BLA
LB	Licor Bayer	Bayer Liquor	BL
LR	Lodo rojo	Red mud	RM
LLA	Líquido limpiador alcalino	Alkaline cleaning solution	ACS
CHO	Ceniza de hueso de oliva	Olive-stone biomass ash	OBA
CCAL	Ceniza de cáscara de almendra	Almond Shell biomass ash	ABA
CMAC	Ceniza de madera con alto calcio	High calcium wood ash	HCWA
CMM	Ceniza de mazorca de maíz	Corn cob ash	CCA

En las últimas décadas, la preocupación por la emisión de los gases de efecto invernadero que supone la fabricación del cemento Portland, el empeño por la reducción en el consumo de materias primas no renovables y los requerimientos en la mejora del desempeño tecnológico de los

hormigones, ha llevado a la química de los materiales a nuevos caminos más sostenibles, complementarios y más circulares (Phair, 2006). Se ha investigado en profundidad sobre cementos con mayor proporción de adiciones puzolánicas e hidráulicas, cementos belíticos, cementos de sulfoaluminato de calcio, cementos de magnesita y cementos de activación alcalina.

El presente trabajo se centra en los cementos de activación alcalina (CAA), específicamente en los activadores alcalinos (AA) utilizados, su impacto en términos de huella de carbono y en las alternativas que supone una aplicación de la Química Circular. El trabajo está desglosado en una sección inicial sobre conceptos básicos de la química de los cementos de activación alcalina, seguida de una evaluación comparativa de la huella de carbono asociada a los diferentes cementos de activación alcalina convencionales, con respecto a los cementos basados en clinker Portland, para finalizar con una descripción de los materiales alternativos, de origen residual, que pueden ser usados para la elaboración de los activadores alcalinos y la evaluación de la huella de carbono potencial.

2. NATURALEZA DE LOS CEMENTOS DE ACTIVACIÓN ALCALINA (CAA) Y ORIGEN DE LOS COMPONENTES

Básicamente, los cementos de activación alcalina (CAA) se forman por la combinación de dos componentes (two part): el mayoritario es el precursor, de base química $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ejemplos: metacaolín MK, ceniza volante de central termoeléctrica de carbón CV), aunque en algunos casos también puede contener cantidades significativas de CaO (escorias de alto horno, ESC). El otro componente, minoritario, es una disolución acuosa altamente alcalina (hidróxidos, silicatos, carbonatos de sodio o de potasio). La mezcla de estos dos componentes produce la formación de sustancias de carácter cementante del tipo silicoaluminato alcalino (Na,K) hidratado (N(K)-A-S-H) o, en el caso de presencia de calcio, silicoaluminato cálcico hidratado (C-A-S-H); también se pueden producir geles de naturaleza híbrida entre los dos anteriores, C(N,K)-A-S-H.

La gran ventaja de estos CAA, desde el punto de vista de la química circular y desde el punto de vista de la sostenibilidad, reside en que, para muchos casos, se pueden usar residuos procedentes de otras actividades antropogénicas de tipo industrial y agrícola. Este es el caso de ESC y de CV, así como residuos de construcción como los de tipo cerámico, CER. En otros casos, la circularidad no es posible puesto que el precursor se fabrica *ex profeso*, como el MK (calcinación de caolín a 800°C). En los CAA se evita la aplicación de temperaturas muy altas, como ocurre en la clinkerización del cemento Portland (1450°C).

La gran desventaja de los CAA es que el activador es una sustancia de síntesis química: hidróxidos tales como NaOH y KOH, carbonatos Na_2CO_3 y K_2CO_3 , silicatos Na_2SiO_3 (vidrio soluble, waterglass) y K_2SiO_3 . La obtención de estas sustancias supone el empleo de recursos naturales, la necesidad de procesos químicos y, sobre todo, un cuantioso consumo de energía, lo que conlleva un impacto significativo y un alejamiento de la circularidad.

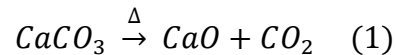
En los últimos años ha habido un desarrollo importante de los CAA en los que los dos componentes están combinados en uno solo (one part technology), de modo que su aplicación siga el mismo modelo que para los cementos tradicionales: adición de agua al cemento “one part”.

3. HUELLA DE CARBONO DE LOS CEMENTOS DE ACTIVACIÓN ALCALINA

Es bien conocido que la emisión de dióxido de carbono (CO_2) relacionada con la fabricación del clinker de cemento Portland, es decir, la huella de carbono, es muy elevada: el proceso supone una emisión de 850-1200 kg $\text{CO}_2/\text{t-clinker}$, todo ello dependiendo, fundamentalmente, de las tecnologías utilizadas y la efectividad en la recuperación del calor y el aislamiento de los elementos

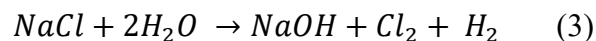
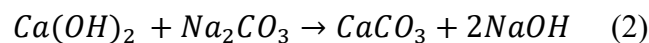
industriales. Se considera que la emisión de CO₂ tiene dos componentes: por una parte, la componente química, y, por otra, la componente energética.

La componente química es debida a la descarbonatación de la caliza de acuerdo con la siguiente ecuación química (eq 1):



Para un clínker que contiene un 64% de CaO, la cantidad de CO₂ de la componente química (CO_{2q}) es de aproximadamente 500kgCO₂/t-clínker. La cantidad de CO₂ de la componente de energía (CO_{2fd}), asociada al consumo de combustible y de energía eléctrica, es aproximadamente igual a la de CO_{2q} (Luukkonen et al., 2016). A nivel comparativo, podemos establecer un valor de 100 para la emisión de CO₂ asociada a un cemento con 95% de clínker (cemento de tipo CEM I en la nomenclatura europea), con una contribución de 50 para CO_{2q} y 50 para CO_{2fd} (Ver Figura 1, CEM I). En el caso de cementos con adiciones minerales, se reduce de forma proporcional cada una de las contribuciones: en la Figura 1 se muestran los casos de CEM II/A (con 20% de adición) y CEM II/B (con 35% de adición). En la actualidad, a nivel europeo se está trabajando con la normalización del cemento CEM II/C-M (EN 197-5, 2021), en el que existe una mezcla de adiciones (M) hasta un 50%, ejemplo que también se muestra en la Figura 1. En el caso de los cementos con adiciones, debemos considerar que puede existir un consumo de energía en la preparación de las mismas (tamizado, molienda, secado), bien en procesos independientes o bien en procesos conjuntos de mezcla con el clínker sin moler. Es por ello que, en esos casos, existe una componente adicional que hemos denominado acondicionamiento.

Los activadores alcalinos sintéticos tienen asociados determinados valores de emisión de CO₂-equivalente (CO_{2-e}, kgCO₂/kg-reactivo); dichos valores dependen mucho del proceso industrial y de la tecnología usada en la síntesis (ver Tabla 1). Así, por ejemplo, el NaOH se puede obtener por medio de la caustificación (eq 2) o por electrolisis del cloruro sódico (eq 3):



Los CAA basados en metakaolín (MK) requieren de cantidades significativas de activador, sobre todo de silicato sódico SS (Weil et al., 2009). Asimismo, la fabricación de MK requiere de la calcinación a 800°C del caolín, por lo que la síntesis del precursor conlleva un importante consumo de energía. Un cálculo aproximado de las emisiones asociadas para un CAA basado en MK se muestra en la Figura 2: puede observarse que, comparando con CEM I, no existe una diferencia significativamente ventajosa. Lógicamente, será tanto más ventajosa cuanto menor sea el consumo de silicato sódico en la dosificación. Los CAA basados en ceniza volante (CV) también requieren de cantidades muy importantes de activador, y para conseguir un buen desarrollo de la geopolimerización se necesita un curado a elevada temperatura, por lo que existe un consumo energético adicional a tener en cuenta en su aplicación (curado). En la Figura 2 se muestra que la emisión de CO₂ asociada es también muy elevada.

En los dos casos anteriores, basados en MK y CV, el contenido en calcio de dichos precursores es bajo, lo que requiere de cantidades elevadas de activador. En el caso de precursores ricos en calcio, como en la escoria de alto horno ESC, se requiere de menores cantidades de activador. Además, se puede activar el precursor solamente con NaOH, sin la necesidad de usar silicato alcalino (SS o silicato de potasio). En la Figura 2 se muestra la gran ventaja existente para CAA-ESC con respecto a la huella de carbono relativa al compararla con los anteriores CAA comentados. La escoria requiere de la molienda previa (acondicionamiento precursor) para poder facilitar la reactividad en el medio alcalino.

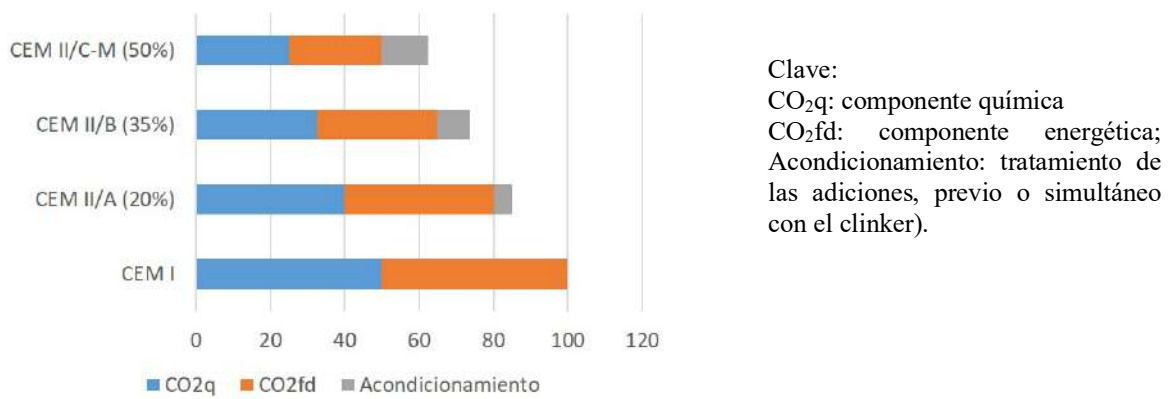


Figura 1: Comparativa de emisiones relativas de cementos basados en clinker de cemento Portland: CEM I, CEM II/A (con 20% de adición), CEM II/B (con 35% de adición) y CEM II/C-M (con 50% de adición). Escala relativa tomando 100 para el CEM I.

Tabla 1. Emisiones de CO₂ asociadas (CO₂-e, kgCO₂/kg-reactivo) de algunos reactivos alcalinos

Reactivo	CO ₂ -e
NaOH	1.12
KOH	1.94
Na ₂ CO ₃	0.59
K ₂ CO ₃	2.38
Na ₂ SiO ₃	1.64

Tomado de: https://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_Appendix_H-

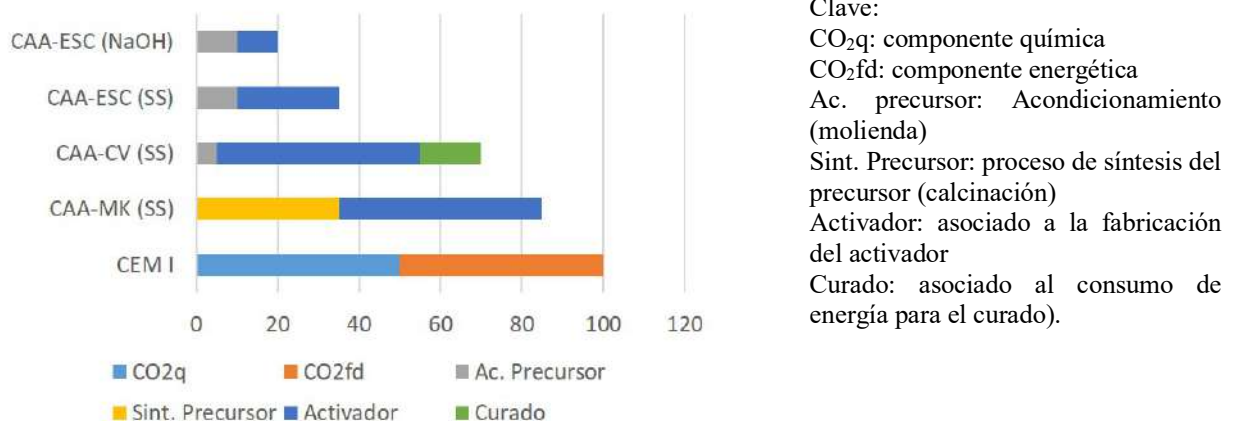


Figura 2: Comparativa de emisiones relativas de cementos CEM I con los CAA basados en metacaolín (MK), ceniza volante (CV) y escoria de alto horno (ESC). Activadores: hidróxido sódico (NaOH) y silicato sódico (SS). Escala relativa tomando 100 para el CEM I.

4. ACTIVADORES ALCALINOS ALTERNATIVOS

Como se ha podido comprobar en la sección anterior, la contribución del activador a la huella de carbono del CAA es muy relevante, por lo que las mejoras a este respecto deben centrarse en minimizar este componente. Una opción se focalizaría en la mejora de los procesos químicos de síntesis de los reactivos químicos, de modo que se reduzca el CO₂-e asociado. La otra opción, más

adecuada para la economía y química circulares, es la valorización de residuos de carácter agrícola e industrial.

En los últimos años, se ha venido produciendo una escalada en la publicación de artículos científicos en los que se valorizan residuos, con el objetivo de conseguir activadores eficientes que tengan una menor huella de carbono. En estas publicaciones podemos encontrar propuestas variadas, y que podríamos clasificar en los siguientes conjuntos:

- a) Activadores alternativos basados en sílice: son activadores relacionados con los silicatos alcalinos, donde se hace reaccionar un hidróxido alcalino con una materia prima rica en sílice, la cual se disuelve total o parcialmente.
- b) Activadores alternativos basados en álcalis: en este caso, el propio material usado es ya propiamente una sustancia alcalina, de base sódica o potásica.
- c) Sistemas de activadores combinados sílice-álcali.

4.1. Activadores alternativos basados en sílice.

En este conjunto podemos encontrar distintas estrategias; por una parte, el uso de recursos naturales de base silíceas que puedan ser disueltos en diferentes condiciones; por otra parte, disponemos de cenizas procedentes de la combustión de biomasa, cenizas con elevados porcentajes de SiO_2 ; y, finalmente, podemos usar algunos residuos industriales ricos en sílice potencialmente reactiva.

4.1.1. Activadores de base silícea procedentes de recursos naturales.

En este apartado, encontramos referencias de dos recursos: la tierra de diatomeas y el olivino. La tierra de diatomeas (TD) es un material rico en sílice (generalmente $\text{SiO}_2 > 80\%$) formado por los esqueletos de diatomeas, algas unicelulares que se han depositado a lo largo de millones de años. Esta roca de origen sedimentario presenta sílice en estado amorfo, la cual puede ser disuelta en condiciones alcalinas. Font et al. (2018) presentaron un estudio en el que se hacía reaccionar TD con NaOH en un recipiente aislado térmicamente: la disolución de los pellets de NaOH en agua aumenta la temperatura del medio acuoso y eso favorece la disolución de la sílice amorfa. Los resultados obtenidos muestran un buen comportamiento del activador preparado. Así, estos autores usaron este activador para el precursor FCC (catalizador usado de craqueo catalítico), obteniendo, en morteros, resistencias mecánicas de 30 MPa a los 7 días de curado a temperatura ambiente, sin necesidad de un curado a alta temperatura.

El olivino, $(\text{Fe,Mg})_2\text{SiO}_4$, es una materia natural que puede ser usada para la obtención de nanosílice, a partir de un proceso de disolución con ácido sulfúrico concentrado y posterior filtración (Gao et al., 2017). Estos autores usaron una disolución preparada con nanosílice (NS) y NaOH, y demostraron que la reactividad fue similar a la del silicato sódico comercial (waterglass, SS). Aplicaron este activador a una mezcla de escoria de alto horno (ESC) y de ceniza volante (CV), en una proporción 70/30, y la resistencia mecánica de los hormigones obtenidos se encontró en el intervalo 57-68 MPa a 7 días y 72-82 MPa a los 28 días, dependiendo del módulo de sílice (relación molar $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) utilizado en la activación.

4.1.2. Activadores de base silícea procedentes de residuos industriales.

En este apartado describiremos ejemplos basados en tierra de diatomeas residuales, humo de sílice y residuos de vidrio.

La tierra de diatomeas se usa frecuentemente como componente de materiales filtrantes de líquidos, especialmente cerveza y vino. Al final del proceso de filtración se genera una tierra de diatomeas residual (TDR) que sigue presentando cantidades importantes de sílice amorfa potencialmente soluble. La TDR procedente del filtrado de cerveza (TDR-C) se usó para preparar activadores con NaOH (Mejía et al., 2016); este activador se usó con un precursor formado por una mezcla de CV y MK (70/30) y la pasta se curó a 60°C durante 24 horas y posteriormente, se curó a temperatura

ambiente hasta los 360 días. Los valores de resistencia a compresión en el intervalo 7-360 días estuvieron cercanos a los 35 MPa. La TDR procedente del filtrado del vino (TDR-V) fue estudiada por Font et al. (2018); estos autores evaluaron el comportamiento del activador basado en este residuo y observaron que se producía una mejora sustancial si la TDR-V se calcinaba a 650°C para eliminar la materia orgánica procedente de la filtración: la resistencia mecánica a compresión, a los 28 días, de morteros de FCC activado era de unos 20 MPa, para el sistema sin la calcinación previa de la TDR-V, mientras que alcanzaba los 40 MPa para el sistema con la calcinación.

El humo de sílice (HS) es bien conocido por ser una puzolana excelente en los sistemas con cemento Portland, dada la elevada finura y el carácter amorfo de esa adición mineral de base silícea. Este residuo, procedente de la industria del silicio y las aleaciones de ferrosilicio, puede ser usado como materia prima para la elaboración de activadores. Así, Rouseková et al. (1997) estudiaron la activación de ESC con una mezcla de HS y NaOH, obteniendo buenos resultados. Posteriormente, Bernal et al. (2012) estudiaron el activador HS/NaOH en sistemas MK+ESC; demostraron que la sílice proveniente del HS era incorporada a tiempos muy cortos en la reacción de geopolimerización, y se formaban mezclas de geles cementantes C-A-S-H, N-A-S-H, o incluso gel N-(C)-A-S-H.

En cuanto a los residuos de vidrio (RV), podemos encontrar diversas composiciones químicas de los mismos, aunque lo más destacable es el estado amorfo y un elevado porcentaje de sílice. Desde 2014 se ha venido estudiando el potencial de RV para fabricar activadores. Los porcentajes de SiO₂ en RV están mayoritariamente en el intervalo 65-80%, y contenidos significativos de CaO y Na₂O (Liu et al., 2019). Se han realizado diversas aproximaciones para la preparación del activador alcalino, como se muestra en la Figura 3: método de fusión, métodos hidrotérmicos y método termoquímico. Se ha demostrado que la naturaleza y velocidad de formación de los hidratos cementantes depende, fundamentalmente, del tipo de precursor.

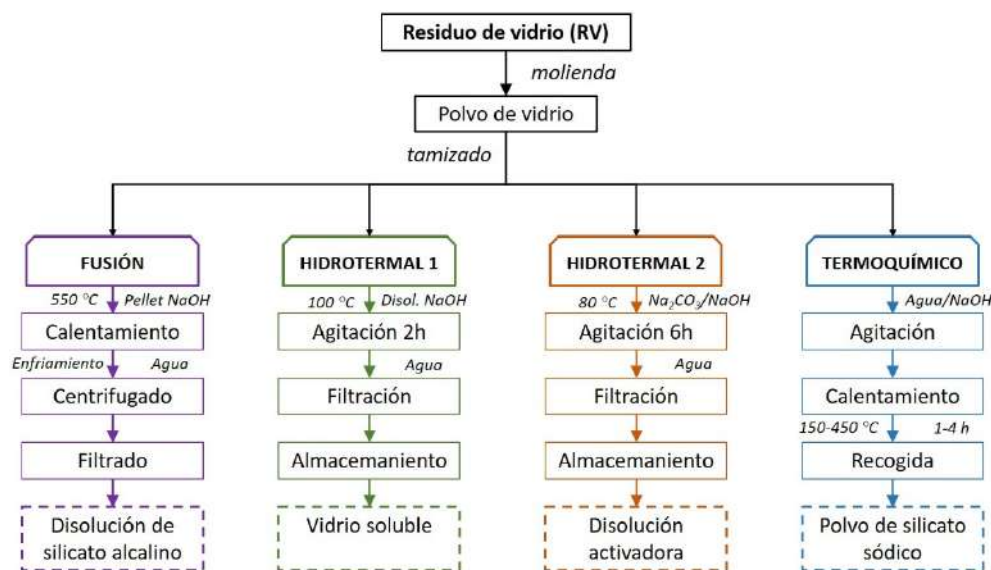


Figura 3: Métodos para la obtención de activadores alternativos a partir de residuo de vidrio (RV). (Adaptado de Lie et al, 2019).

4.1.3. Activadores de base silícea procedentes de cenizas de biomasa.

En este apartado se encuentra el mayor número de ejemplos de activadores alternativos. La combustión de biomasa, en algunos casos, genera la formación de una cantidad relativamente importante (1-4% en masa) de cenizas. Los ejemplos más significativos son los de la cáscara de arroz, los residuos procedentes del cultivo y procesado de la caña de azúcar, y la hoja de bambú (Roselló et al., 2015).

El caso de la ceniza obtenida de la cáscara de arroz (CCA) es el más estudiado. Se ha publicado un número importante de ejemplos con el uso de CCA para la fabricación de silicato sódico. La primera referencia bibliográfica se remonta a 2010 (Bejarano et al., 2010); los autores proponen un proceso hidrotermal en el que analizan diferentes variables: la relación NaOH/CCA, el tiempo de tratamiento, la temperatura de reacción y la proporción agua/CCA. La conclusión sobre los parámetros óptimos eran NaOH/CCA=2, agua/CCA=10, 100°C de tratamiento por 120 minutos. Con estas proporciones, este grupo de investigación usó este tipo de activador en la activación alcalina de diversos precursores habituales (Mejía et al., 2016). Bouzón et al (2014) aplicaron un activador obtenido por reflujo de una mezcla de disolución de NaOH con CCA parcialmente amorfa, usando FCC como precursor en la preparación del mortero. Se obtuvieron sistemas con excelentes prestaciones mecánicas, si bien se observó que el activador era más reactivo si se usaba CCA molida en el proceso hidrotermal (alrededor de 60 minutos, frente a los 120 minutos para la muestra no molida). Otros autores han profundizado en métodos y aplicaciones (entre otros: Tong et al., 2018; Rajan and Kathirvel, 2021). Villca et al. (2021) han usado un activador alternativo basado en CCA, fabricado sin consumo de energía; simplemente se ha usado el calor de disolución de los pellets de NaOH para disolver la sílice amorfa de CCA. Este activador fue aplicado, por primera vez, en sistemas binarios de cal/puzolana y geopolímero.

El cultivo de la caña de azúcar produce un residuo, la paja de la caña, que habitualmente es abandonada en el campo. El uso de esta biomasa podría repercutir en un beneficio, en cuanto a la valorización energética. El residuo generado, la ceniza de paja de caña de azúcar (CPCA) contiene cantidades elevadas de sílice (Moraes et al., 2018). En esta investigación, se demostró que el procedimiento que aprovecha el calor de disolución del NaOH para disolver la sílice es perfectamente viable para CPCA, y que el tratamiento no debe superar las 24 horas, porque se produce una gelificación del activador. La ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) también se usó (Tchakouté et al., 2017) en la geopolimerización de MK; el conglomerante preparado alcanzó los 33 MPa a los 28 días de curado.

Finalmente, la ceniza de hoja de bambú (CHB), que posee un porcentaje de SiO₂ cercano al 80% (Roselló et al., 2015), se constituye como otra opción interesante. La CHB se usó a través de un proceso termoquímico (Figura 3) con una temperatura de 300-330°C (Vinai et al., 2021). El activador se usó para el sistema CV/ESC (60/40) y se ha comprobado que, si bien, comparado con el activador SS+NaOH, la reactividad es menor en los primeros 7 días de curado, a los 28 días se alcanzan las mismas resistencias (alrededor de 43 MPa).

4.2. Activadores alternativos basados en álcalis.

La actividad humana también produce residuos de carácter alcalino, tanto de origen industrial como de origen agrícola.

4.2.1. Activadores de base alcalina procedentes de actividad industrial.

Entre ellos podemos encontrar algunos residuos relacionados con la actividad metalúrgica, tales como el licor Bayer, los líquidos limpiadores de metales y los lodos rojos.

El licor Bayer (LB) es una disolución cáustica preparada con NaOH y que se usa para la extracción del aluminio de la bauxita. La solución resultante, después del filtrado, es reutilizable, pero finalmente hay que descartarla cuando disminuye la eficiencia de la misma. Ese residuo, rico en aluminato sódico, se ha usado para la activación de la CV en diferentes condiciones (Jamieson et al. 2016).

El lodo rojo (LR) es el residuo sólido que se genera en la extracción del aluminio de la bauxita, y es muy rico en óxidos de hierro y sílice. Este lodo tiene un pH entre 9.7 y 12.8, y se ha usado para activar CV (Choo et al., 2016), aunque la resistencia alcanzada no superaba los 2 MPa.

El último ejemplo de esta categoría lo constituyen los líquidos limpiadores alcalinos (LLA), que se suelen producir como residuos en la limpieza de superficies de aluminio, de modo que son ricos en hidróxido y aluminato sódicos. Fernández-Jiménez et al. (2017) usaron LLA, con una concentración en NaOH aproximadamente de 5M, para activar CV molida y polvo de RV. En ambos casos se pudo obtener resistencias mecánicas significativas, que rondaban los 10-16 MPa para CV y 2-10 MPa para RV (curados durante 20 horas y 85°C).

4.2.2. Activadores de base alcalina procedentes de residuos agrícolas.

Algunos residuos agrícolas son biomásas valorizables para la obtención de energía y sus cenizas resultantes tienen carácter alcalino. Ese carácter alcalino viene determinado por la presencia de calcio y, especialmente, de potasio. Este es el caso de la ceniza de hueso de oliva (CHO), de la ceniza de cáscara de almendra (CCAL) y de la ceniza de mazorca de maíz (CMM), así como de cenizas procedentes de madera con alto contenido en calcio (CMAC). La gran ventaja del uso de estas cenizas es que permiten la preparación de cementos “one part”, ya que son materiales sólidos. El primer estudio sobre el uso de CHO en CAA fue presentado por Font et al. (2017); se activó ESC con CHO y se comparó con la activación por medio del reactivo químico KOH. El resultado mostró que la resistencia mecánica a compresión para el sistema ESC/CHO fue superior (29.9 MPa frente a 16.9 MPa). Estudios posteriores (De Moraes Pinheiro et al., 2018) mostraron la formación de geles cementantes del tipo C(K)-S-H, C(K)-S-A-H, además de pequeñas cantidades de hidrotalcita. Posteriormente, Alonso et al. (2019) estudiaron cenizas procedentes de biomasa de olivo, tanto cenizas volantes como cenizas de parrilla: observaron que la alcalinidad de estas cenizas no era suficiente para activar CV pero sí para activar ESC. Payá et al. (2019) emplearon el sistema ESC/CHO para la fabricación de bloques de tierra compactada de base dolomítica. Se obtuvo una resistencia a compresión de bloques compactados de unos 12 MPa a los 9 días con un curado bajo film de plástico (para evitar la evaporación de agua y mantener las condiciones óptimas de hidratación). Los bloques resultantes mostraron excelente resistencia bajo el agua.

Soriano et al. (2020) fueron los primeros en estudiar la potencialidad de ceniza de cáscara de almendra (CCAL). Encontraron que el porcentaje en K_2O para CCAL era mayor que para CHO (46.98% vs. 32.16%), y detectaron la presencia de varios minerales de carbonato de calcio y potasio ($K_2Ca(CO_3)_2$), tales como fairchildita y bütschilita, además de calcita ($CaCO_3$), portlandita ($Ca(OH)_2$) y arcanita (K_2SO_4). Esta ceniza ofreció un buen rendimiento cuando se combinaba con ESC.

Varios autores han investigado el uso de cenizas de madera con elevado contenido en calcio (CMAC); entre ellos destaca el realizado por Ban et al. (2014), en el que caracteriza la ceniza y la usa como activador sólido para la CV. La ceniza contenía una elevada proporción de CaO (61%) frente a una menor cantidad de K_2O (12%); las sales cálcicas encontradas fueron calcita, portlandita e hidroxipatito.

También se ha usado la ceniza de mazorca (raquis o coronta) de maíz (CMM) para la activación de MK (Peys et al., 2016): se alcanzó 30 MPa de resistencia a compresión para muestras con una relación CMM/MK de 1.2.

4.3. Sistemas combinados sílice-álcali.

Los CAA basados en el uso de cenizas alcalinas permite reducir el impacto, debido a que en algunos casos tanto el precursor como el activador proceden de residuos. Sin embargo, se observa que, frecuentemente, las prestaciones mecánicas no son muy elevadas por el déficit de sílice del activador. En este sentido, el desarrollo de activadores que contengan sílice y álcali permitiría minimizar este efecto. Font et al. (2020) diseñaron CAA con el sistema ternario ESC-CHO-CCA, en el que el activador se preparaba por reacción hidrotermal entre CCA y CHO, a 65°C durante 24

horas. Para una dosificación ESC-CHO-CCA de 9/4.5/1, se obtuvieron 35.0, 46.2 y 67.4 MPa, para morteros curados durante 7, 28 y 90 días, respectivamente, a 20°C.

5. HUELLA DE CARBONO DE CEMENTOS DE ACTIVACIÓN ALCALINA CON ACTIVADORES ALTERNATIVOS

La activación de la escoria con activadores sintéticos supone unas emisiones de CO₂ relativamente bajas (Figura 2). Sin embargo, se puede mejorar este aspecto cuando se trabaja con activadores alternativos. Como ejemplo, tomamos el sistema con ceniza de hueso de oliva (CHO). Además de la valorización de residuos (en el caso de la biomasa, también valorización energética) se obtiene una ligera disminución del CO₂ asociado. En el caso del sistema ESC-CHO (Figura 4), lógicamente el acondicionamiento del precursor es el mismo, y solamente hay que tener en cuenta el acondicionamiento del activador (en este caso la molienda). Las emisiones de CO₂ asociadas para el sistema ESC-CHO-RHA supone valores mayores, puesto que se debe acondicionar el activador por medio del tratamiento hidrotermal de la mezcla CHO-RHA. Pero este nuevo activador permite obtener mayores resistencias mecánicas, por lo que la emisión extra de CO₂ puede verse compensada por las prestaciones del material obtenido.

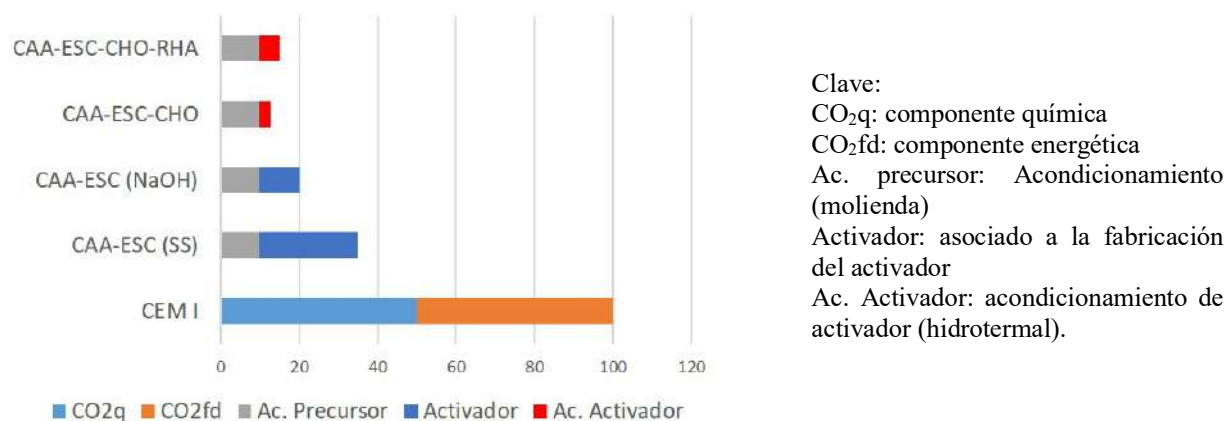


Figura 4: Comparativa de emisiones relativas de cementos CEM I con los CAA producidos con activares alternativos sobre precursor de escoria de alto horno (ESC). Activadores comerciales: hidróxido sódico (NaOH) y silicato sódico (SS); Activadores alternativos, ceniza de hueso de oliva (CHO) y ceniza de cáscara de arroz (CCA). Escala relativa tomando 100 para el CEM I.

6. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

Es evidente que el desarrollo de los CAA supone disponer tanto de precursores adecuados como de activadores. Probablemente, no existe a día de hoy suficiente capacidad para disponer de precursores en cantidad y localización suficientes para la sustitución del cemento Portland de forma completa. Por ello, es difícil plantear que los CAA sean una solución excluyente, sino que su producción hay que enfocarla desde el punto de vista de la complementariedad con los cementos Portland y otros tipos de cementos (belíticos, de sulfoaluminato de calcio, de magnesio). El hecho importante es que hay algunos entornos en donde se generan precursores potencialmente comercializables (cerámicos, residuos de construcción, diferentes tipos de escorias metalúrgicas), y deben aprovecharse todas las posibilidades. Lo mismo ocurre con los activadores alternativos: el uso de reactivos químicos de síntesis se puede sustituir en entornos en donde existan actividades agrícolas o industriales que puedan generar componentes adecuados para la preparación del activador. Esta circunstancia puede ser de especial interés en sociedades en vías de desarrollo en

las que existe dificultad (básicamente económica) para adquirir cemento Portland, pero que disponen de recursos propios para la fabricación de CAA (residuos de construcción, biomásas, ...). Como conclusiones a esta presentación del estado del arte sobre los activadores alternativos, destacan las siguientes:

- Los CAA no siempre suponen una reducción drástica de las emisiones de CO₂ asociadas: hay que considerar que en algunos casos las cantidades necesarias de reactivos químicos suponen una huella de carbono comparable con los cementos Portland.
- Los precursores como la ESC requieren de cantidades menores de activador, lo que tiene como consecuencia que las emisiones de CO₂ sean menores que para el caso de otros precursores como pueden ser la CV o el MK.
- Los activadores alternativos pueden ser de origen agrícola o industrial, pero en cualquier caso requieren de una caracterización completa, que integre tanto los estudios de acondicionamiento previo necesario como los potenciales problemas de su uso (presencia de componentes químicos dañinos para algunas aplicaciones, como por ejemplo, la presencia de cloruros).
- Los residuos de base silíceo no pueden ser usados de forma independiente, debido a su elevada acidez (sílice, fundamentalmente). Los residuos de base alcalina sí pueden ser usados de forma independiente. La combinación de ambos tipos de residuos puede mejorar el comportamiento mecánico de los CAA y puede potenciar sus usos.
- El uso de cenizas procedentes de biomasa es una alternativa interesante para la síntesis de activadores sostenibles. En el diagrama ternario de la Figura 5 se muestra un esquema modificado del diagrama de Vassilev (Vassilev et al., 2010) sobre la clasificación de las cenizas de biomasa, en la que se han modificado las zonas de reactividad y se han representado diferentes cenizas comentadas en este artículo.
- El uso de residuos sólidos como activadores alternativos permite la elaboración de cementos "one part". Adicionalmente, se puede realizar una molienda conjunta de precursor y activador lo que mejora la mezcla íntima de ambos componentes.

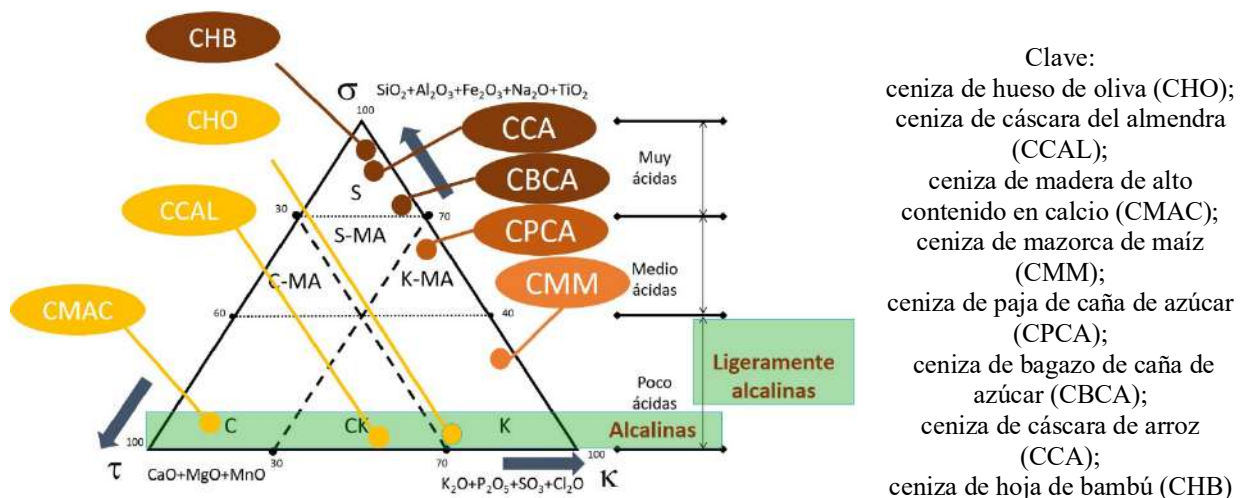


Figura 5. Diagrama de Vassilev modificado (adaptado de Vassilev et al., 2010). (

7. AGRADECIMIENTOS

Por la financiación, al Gobierno de España, Ministerio de Economía y Competitividad (Proyecto BIA2017-87573-C2-1-P) y a los fondos FEDER.

REFERENCIAS

- Alonso, M.M., Gascó, C., Morales, M.M., Suárez-Navarro, J.A., Zamorano, M., Puertas, F., 2019. Olive biomass ash as an alternative activator in geopolymer formation: A study of strength, durability, radiology and leaching behaviour. *Cem. Concr. Compos.* 104, 103384. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103384>
- Ban, C.C., Nordin, N.S.A., Ken, P.W., Ramli, M., Hoe, K.W., 2014. The high volume reuse of hybrid biomass ash as a primary binder in cementless mortar block. *Am. J. Appl. Sci.* 11, 1369–1378. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2014.1369.1378>
- Bejarano, J., Garazón, C., Mejía de Gutiérrez, R., Delvasto, S., Gordillo, M., 2010. In: II Simposio Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción, Valencia, Spain, November 8-9, 2010
- Bernal, S.A., Rodríguez, E.D., Mejia De Gutiérrez, R., Provis, J.L., Delvasto, S., 2012. Activation of metakaolin/slag blends using alkaline solutions based on chemically modified silica fume and rice husk ash. *Waste Biomass Valor.* 3, 99–108. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9093-3>
- Bouzón, N., Payá, J., Borrachero, M.V., Soriano, L., Tashima, M.M., Monzó, J., 2014. Refluxed rice husk ash/NaOH suspension for preparing alkali activated binders. *Mater. Lett.* 115, 72-74. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.10.001>
- Choo, H., Lim, S., Lee, W., Lee, C., 2016. Compressive strength of one-part alkali activated fly ash using red mud as alkali supplier. *Constr. Build. Mater.* 125, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.015>
- De Moraes Pinheiro, S.M., Font, A., Soriano, L., Tashima, M.M., Monzó, J., Borrachero, M.V., Payá, J., 2018. Olive-stone biomass ash (OBA): An alternative alkaline source for the blast furnace slag activation. *Constr. Build. Mater.* 178, 327–338. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.157>
- Fernández-Jiménez, A., Cristelo, N., Miranda, T., Palomo, A., 2017. Sustainable alkali activated materials: Precursor and activator derived from industrial wastes. *J. Clean. Prod.* 162, 1200–1209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.151>
- Font, A., Soriano, L., Moraes, J.C.B., Tashima, M.M., Monzó, J., Borrachero, M.V., Payá, J., 2017. A 100% waste-based alkali-activated material by using olive-stone biomass ash (OBA) and blast furnace slag (BFS). *Mater. Lett.* 203, 46-49. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.05.129>
- Font, A., Soriano, L., Reig, L., Tashima, M.M., Borrachero, M.V., Monzó, J., Payá, J., 2018. Use of residual diatomaceous earth as a silica source in geopolymer production. *Mater. Lett.* 223, 10–13. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.04.010>
- Font, A., Soriano, L., de Moraes Pinheiro, S.M., Tashima, M.M., Monzó, J., Borrachero, M.V., Payá, J., 2020. Design and properties of 100% waste-based ternary alkali-activated mortars: Blast furnace slag, olive-stone biomass ash and rice husk ash. *J. Clean. Prod.* 243, 118568. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118568>

EN 197-5, 2021. Cement - Part 5: Portland-composite cement CEM II/C-M and Composite cement CEM VI.

Gao, X., Yu, Q.L., Lazaro, A., Brouwers, H.J.H., 2017. Investigation on a green olivine nano-silica source based activator in alkali activated slag-fly ash blends: Reaction kinetics, gel structure and carbon footprint. *Cem. Concr. Res.* 100, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.06.007>

Hall, C., 1976. On the history of portland cement after 150 years. *Journal of Chemical Education*, 53(4), 222.

Jamieson, E., van Riessen, A., McLellan, B., Penna, B., Kealley, C., Nikraz, H., 2017. Introducing Bayer liquor-derived geopolymers. In: *Handbook of low carbon concrete*. Nazari, A. and Sanjayan, J.G. (eds), Kidlington, Oxford, United States: Elsevier.159-193. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804524-4.00008-7>

Keijer, T., Bakker, V. & Sloopweg, J.C., 2019. Circular chemistry to enable a circular economy. *Nature Chem* 11, 190–195. <https://doi.org/10.1038/s41557-019-0226-9>

Liu, Y., Shi, C., Zhang, Z., Li, N., 2019. An overview on the reuse of waste glasses in alkali-activated materials. *Resour. Conserv. Recycl.* 144, 297–309. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.007>

Luukkonen, T., Abdollahnejad, Z., Yliniemi, J., Kinnunen, P., Illikainen, M., 2018. One-part alkali-activated materials: A review. *Cem. Concr. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.10.001>

Mejía, J.M., Mejía De Gutiérrez, R., Montes, C., 2016. Rice husk ash and spent diatomaceous earth as a source of silica to fabricate a geopolymeric binary binder. *J. Clean. Prod.* 118, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.057>

Mohan, S.V., Katakojwala, R., 2021. The circular chemistry conceptual framework: A way forward to sustainability in industry 4.0, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 28, 100434. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100434>.

Moraes, J.C.B., Font, A., Soriano, L., Akasaki, J.L., Tashima, M.M., Monzó, J., Borrachero, M. V., Payá, J., 2018. New use of sugar cane straw ash in alkali-activated materials: A silica source for the preparation of the alkaline activator. *Constr. Build. Mater.* 171, 611–621. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.230>

Pavía, S., Caro, S., 2008. An investigation of Roman mortar technology through the petrographic analysis of archaeological material. *Cons. Build. Mat.* 22, 1807-1811. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.05.003>.

Payá, J., Monzó, J., Roselló, J., Borrachero, M.V., Font, A., Soriano, L., 2020. Sustainable soil-compacted blocks containing blast furnace slag (BFS) activated with olive stone biomass ash (OBA). *Sustain.* 12, 1–15. <https://doi.org/10.3390/su12239824>

- Peys, A., Rahier, H., Pontikes, Y., 2016. Potassium-rich biomass ashes as activators in metakaolin-based inorganic polymers. *Appl. Clay Sci.* 119, 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.11.003>
- Phair, J. W., 2006. Green chemistry for sustainable cement production and use. *Green chemistry*, 8(9), 763-780.
- Rajan, H.S., Kathirvel, P., 2021. Sustainable development of geopolymer binder using sodium silicate synthesized from agricultural waste. *J. Clean. Prod.* 286, 124959. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124959>
- Roselló, J., Soriano, L., Santamarina, M.P., Akasaki, J.L., José Luiz P. Melges, J.L.P., Payá, J., 2015. Microscopy characterization of silica-rich agrowastes to be used in cement binders: bamboo and sugarcane leaves. *Microsc. Microanal.* 21, 1314–1326. doi:10.1017/S1431927615015019
- Rouseková, I., Bajza, A., Živica, V., 1997. Silica fume-basic blast furnace slag systems activated by an alkali silica fume activator. *Cem. Concr. Res.* 27, 1825-1828. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00191-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00191-9)
- Soriano, L., Font, A., Tashima, M.M., Monzó, J., Borrachero, M.V., Payá, J., 2020. One-part blast furnace slag mortars activated with almond-shell biomass ash: A new 100% waste-based material. *Mater. Lett.* 272, 127882. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.127882>
- Tchakouté, Hervé Kouamo, Rüscher, C.H., Hinsch, M., Djobo, J.N.Y., Kamseu, E., Leonelli, C., 2017. Utilization of sodium waterglass from sugar cane bagasse ash as a new alternative hardener for producing metakaolin-based geopolymer cement. *Chemie der Erde* 77, 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2017.04.003>
- Tong, K.T., Vinai, R., Soutsos, M.N., 2018. Use of Vietnamese rice husk ash for the production of sodium silicate as the activator for alkali-activated binders. *J. Clean. Prod.* 201, 272–286. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.025>
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L.K., Vassileva, C.G., 2010. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel* 89, 913–933. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.022>
- Villca, A.R., Soriano, L., Font, A., Tashima, M.M., Monzó, J., Borrachero, M.V., Payá, J., 2021. Lime/pozzolan/geopolymer systems: Performance in pastes and mortars. *Cons. Build. Mat.* 276 122208. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122208>
- Vinai, R., Ntimugura, F., Cutbill, W., Evans, R., 2021. Production of sodium silicate from bamboo leaf ash for alkali activation of binders. *Open Research Exeter*. <https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10871/125925/Vinai%20et%20al.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Weil, M., Dombrowski, K., Buchwald, A., 2009. Life-Cycle analysis of geopolymers. In: Provis and van Deventer (ed), *Geopolymers Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*. <https://doi.org/10.1533/9781845696382.2.194>

Producción de hormigones verdes con la adición de Cement – Kiln – Dust (CKD)

R. Hernández- Saturno*

*Ing.rhenzelhs@yahoo.es

Facultad de Arquitectura y Urbanismo F.A.U, Universidad Central de Venezuela U.C.V, Caracas D.C - Venezuela

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de estudios de pastas de cemento con la adición de Cement - Kiln - Dust (CKD) en un rango del 1 al 10% en incrementos del 2%, y la durabilidad esperada. El objetivo es demostrar la factibilidad técnica del uso del CKD como una adición para producir hormigones verdes. Es una investigación de compilación (Eco, U., 1977), se analizan los resultados obtenidos por diversos investigadores tales como: Saleh Abd El-Aleem Mohamed El-Awney y Magdy Ali Abd-El-Aziz, Mohamed Heikal, Mohammed Khudhair, en la cual se realiza un análisis deductivo - explicativo y original por parte del autor. De los resultados se desprende la factibilidad técnica de producir hormigones verdes con CKD.

Palabras claves

Cement – Kiln – Dust; CKD; Hormigón Verde; adición; OPC

ABSTRAC

This paper presents the results of studies of cement pastes with the addition of Cement - Kiln - Dust (CKD) in a range of 1 to 10% in increments of 2%, and the expected durability. The objective is to demonstrate the technical feasibility of using CKD as an addition to produce green concrete. It is a compilation research (Eco, U., 1977), the results obtained by various researchers such as: Saleh Abd El-Aleem Mohamed El-Awney and Magdy Ali Abd-El-Aziz, Mohamed Heikal, Mohammed Khudhair are analyzed, in which a deductive - explanatory and original analysis is carried out by the author. The results show the technical feasibility of producing green concrete with CKD.

Keywords

Cement – Kiln – Dust, CKD, Green Concrete, addition, OPC

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de estudos de pastas de cimento com a adição de Cement - Kiln - Dust (CKD) em uma faixa de 1 a 10% em incrementos de 2%, e a durabilidade esperada. O objetivo é demonstrar a viabilidade técnica do uso da CKD como adição à produção de concreto verde. Trata-se de uma pesquisa de compilação (Eco, U., 1977), os resultados obtidos por vários pesquisadores como: Saleh Abd El-Aleem Mohamed El-Awney e Magdy Ali Abd-El-Aziz, Mohamed Heikal, Mohammed Khudhair, nos quais uma análise dedutiva - explicativa e original

é realizada pelo autor. Os resultados mostram a viabilidade técnica da produção de concreto verde com CKD.

Palavras-chave

Cement - Kiln – Dust; CKD; Concreto Verde; adição; OPC

1. INTRODUCCIÓN

El Cement – Kiln – Dust , CKD, es un polvo que tiene como origen el proceso industrial de producción de cemento. En algunos países se llega a producir hasta un 20%, (la media mundial 10%) de este material siendo tratado como un desecho industrial (Hernández –Saturno Rhenzel,2020) que conlleva a una deposición en áreas destinadas de acuerdo a normativas muy exigentes y específicas para su gestión y deposición como un residuo contaminante ambiental con riesgo elevado a la salud. La Environmental Protection Agency - EPA - posee los estándares **EPA530-F-99-023**, establecidos para la gestión del CKD. Ahora bien, siendo este residuo un material con un origen similar al cemento se ha pensado la posibilidad de producir pastas, morteros y hormigones incorporando el CKD como una adición menor en aquellos casos donde no se puede reincorporar al horno rotativo para cemento. Se ha pensado en producir hormigones con porcentajes menores al 10% de CKD para disminuir costos de producción de mezclas para viviendas sociales, mejoramiento del terreno y aplicaciones no estructurales. Se presentan resultados de diversos estudios realizados por investigadores tales como: Saleh Abd El-Aleem Mohamed El-Awney y Magdy Ali Abd-El-Aziz, ambos de la Fayoum University, Mohamed Heikal de la Benha University Mohammed Khudhair de la Université Ibn Tofail, y M. Maslehuddin, O.S.B. Al-Amoudi, M.K. Rahman, M.R. Ali, M.S. Barry del Center for Engineering Research, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, indicados en las referencias y se consultó material editado por los siguientes autores: Al-Harthy et al., 2003; Amin et al., 1995; Babaian et al., 2003; Batis et al., 2002; Bhatti, 1984, 1985, 1986; Dyer et al., 1999; El-Sayed et al., 1991; Heikalet al., 2002; Kjellsen et al., 1992; Konsta-Gdoutos and Shah, 2003; Ramakrishnan, 1986; Ramakrishnan and Balaguru, 1987; Salem and Ragai, 2001; Shoaib et al., 2000; Taylor,1997.

2. EL CKD: PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

De las pastas adicionadas con CKD poco se sabe sobre su forma de comportarse a largo plazo en las obras civiles de concreto armado, por la condición de desecho industrial que lo estigmatiza. En la búsqueda de reducir el impacto ambiental en dos sentidos principales, a. en la producción de Cemento Verde (Green Cement), ya que la producción del cemento Portland ordinario conlleva un importante consumo en energía y materia prima; y b. En la condición de darle uso a los desechos industriales, convirtiendo al CKD en un sub. Producto con valor técnico y comercial, y mitigar su deposición como desecho contaminante en aquellas plantas que no pueden reciclarlo introduciéndolo como materia prima en el horno de calcinación de la materia mineral; se han adelantado un importantes número de estudios alrededor del mundo para corroborar si las adiciones del CKD solas o en conjunto con algún material de características puzolánica si permiten producir pastas y hormigones de comportamiento admisible tanto en su condición fresca como endurecida, así también como es el efecto en la durabilidad a largo plazo.

Cabe decir, que en algunos estudios se ha determinado que reintroducir el CKD en el horno de calcinación afecta negativamente la resistencia obtenida del Clinker mientras que en algunas plantas se han logrado cementos con mejores comportamientos en diversidad de aspectos, y se presume que estos contrastes dependen de las propiedades de la materia prima, el proceso y del CKD resultante que puede también presentar variaciones químicas y mineralógicas muy dispersas.

Como es conocido, el proceso para la producción del cemento consiste en la trituración y mezcla de diversos componentes minerales que una vez sometidos a un proceso de calcinación en un horno rotatorio capaz de generar temperaturas entre los 1300 y 1500°C aproximadamente. De este proceso se obtiene un compuesto al que denominamos universalmente como Clinker, el cual una vez pasado por un proceso de molienda y adicionado con sulfato de calcio obtenemos el cemento portland, siendo un proceso semejante el de otros cementos como el siderúrgico, puzolánico, entre otros. En el proceso de calcinación de la materia mineral molida se requiere de un sistema de escape de gases, el cual consiste en sistemas de tuberías con dispositivos para filtrar partículas sólidas que son capturadas mediante dispositivos electroestáticos capaces de retener en un alto porcentaje las partículas PM10 en el sistema. ya que por ser de una elevada finura pueden estar en suspensión en los gases de combustión, el material sólido retenido en esos filtros es el denominado CKD. Ver figura #1. En conclusión, el CKD es una mezcla de material mineral (M.M) cruda, materia mineral (M.M) de calcinación incompleta y partículas de Clinker que de acuerdo a la planta y a la materia prima utilizada pueden estar en proporciones diferentes. Aunque por lo general tiene aspectos semejantes al cemento ordinario es frecuente la posibilidad de tener coloraciones diversas, a veces con tonos marrones a semejanza de las arcillas o gris carbón y cualquier tonalidad posible entre estos, debido a que sus tres compuestos principales: M.M. Cruda + M.M. de calcinación incompleta + Clinker, pueden tener un origen en una materia prima con características mineralógicas diversas y estar en proporciones diferentes de acuerdo a la planta, y el proceso asociado para producir el cemento, lo que se traduce en cambios sustanciales en las proporciones de los compuestos químicos que son parte del polvo, estos resultados fueron obtenidos mediante ensayos de refracción de Rx, En la Tabla #1, se puede apreciar de forma comparada la composición típica del Cemento Portland, y el CKD. El CKD tiene cierta capacidad cementante y aglomerante debido a la presencia de material original del Clinker y por la presencia de cal libre en forma de CaO. El CKD tiene marcadas diferencias en su composición química respecto al Cemento ordinario también conocido como OPC (Ordinary Portland Cement). En su composición química es una constante la presencia de potasio soluble y compuestos sódicos que podrían ser la razón de su marcada alcalinidad (pH entre 12 y 14), por lo cual al hacer contacto con el agua, estos compuestos, son los responsables de una reacción exotérmica con el resultado de la evaporación de una fracción del agua. Los valores de densidad típicos del CKD están comprendidos entre 2,42 y 2,96 g/cm³, la cual es sustancialmente menor a la del cemento ordinario. Una característica que es sumamente importante es la superficie específica que está comprendida en un rango amplio (4.000 a 14.000 cm²/g) superior en todo caso a la del OPC.

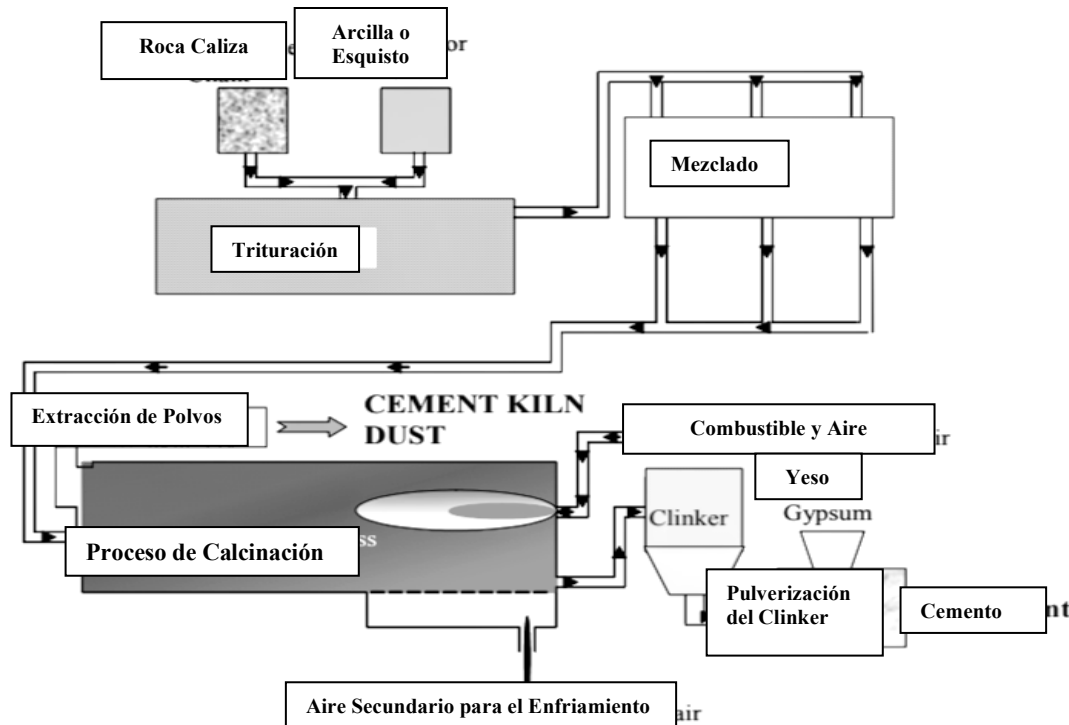


Fig. #1. Esquema de la producción del cemento y del CKD. Fuente: El-Mohsen M. Et Al

Si algo evidencia el análisis químico del CKD respecto al cemento portland son las menores proporciones de Sílice y Calcio, los cuales son fundamentales para la obtención de productos de hidratación como el SCH “*Silicato de Calcio Hidratado*” que es el capaz de traducir su existencia mineralógica en valores de resistencia mecánica de la pasta endurecida, como también se evidencia la presencia contraproducente de elevadas cantidades de *álcalis y cal libre*.

Tabla #1, Comparación composición típica entre OPC y CKD (Lizarazo-Claisse, 2009)*

Prod.	SiO2	MnO	CaO	K2O	P2O3	Al2O3	Fe2O3	SO3	MgO	Na2O	LOI
OPC	21,06	----	63,3	0,12	----	4,9	2,4	2,7	0,75	0,1	2,7
CKD	12,9	0,02	43,3	3,32	0,06	3,5	2,12	6,75	2,5	3,32	10,23

*1. Valores actualizados por el autor del trabajo; 2. Los valores presentados representan promedios, en el caso del CKD corresponde a rangos amplios

Cal Libre OPC: 0,22; CKD: 2,59

3. METODOLOGÍA

Se han escogido dos trabajos de investigación de entre muchos, esencialmente basados en tres criterios, el primero de ellos que los resultados fueran congruentes con la teoría de la química de los cementos, la segunda que reuniera los ensayos fundamentales donde se desea enfocar el actual trabajo, enfocado a la producción de hormigones y no en propósitos ingenieriles de otra índole que son muchos, y con el rango de adición bajo para que los resultados a su vez fueran congruentes con el propósito de obtener un hormigón verde con menores pérdidas de las propiedades fundamentales del hormigón ordinario que se usa como control, ya que la mayoría o combina el CKD con terceras sustancias o utilizan proporciones muy elevadas del CKD que por supuesto darán resultados muy diferentes al control, y enfoque al menos uno de los trabajos el aspecto de la durabilidad mediante algún ensayo que corrobore las conclusiones más allá de lo teórico. Por lo antes expuesto se escogieron estudios de M. Maslehuddin et Al y Saleh Abd El-Aleem et Al por ser los que satisfacían los criterios establecidos.

Se utiliza una matriz cementosa a base de Portland I, a la cual se le sustituye una fracción del cemento por una adición de CKD en la misma proporción en peso. La adición va desde 0% para el Control, hasta 10% para las pastas experimentales, con un incremento del 2% en CKD. Sobre la pasta en estado fresco y endurecido se aplican ensayos típicos para caracterizar el hormigón según los estándares ASTM respectivos. Ver tabla #2.

3. 1. Grupo de ensayos (Todos según ASTM respectivo)

Se hacen ensayos a pequeñas cantidades de CKD sustituyendo la misma proporción de cemento Portland I, también indicado como OPC. Las variaciones van desde 0 al 10% en incrementos de 2%. En la tabla #3 se muestran las proporciones de agua respecto al cementante, ver tabla #3. Los resultados se muestran gráficamente a continuación en las figuras #2 al #7,

Tabla #2, Composición de los especímenes investigados (Saleh Abd El-Aleem et Al,2005)

Mezcla N°	%OPC	%CKD
I.1	100	00
I.2	98	02
I.3	96	04
I.4	94	06
I.5	92	08
I.6	90	10

Tabla #3, Relaciones Agua/Cementante para todos los especímenes (Saleh Abd El-Aleem et Al,2005)

Mezcla N°	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	I.6
Relación A/Sólido*	0,485	0,492	0,510	0,536	0,545	0,595

*Relación agua - sólidos cementantes; siendo sólidos S: (OPC + CKD) si CKD>0%, para CKD: 0% entonces es la relación Agua / Cemento: A/C

Los ensayos se estructuran sobre hormigón fresco y sobre hormigón endurecido, y durante el proceso de fraguado y toma de resistencias.

En primera instancia se procura saber cómo se ven afectadas las propiedades reológicas y el proceso de fraguado de pastas con sin CKD y otras con esta adición de acuerdo a proporciones indicadas anteriormente. Por ello se gráfica el tiempo inicial y final del fraguado y la consistencia de la pasta de acuerdo se van incrementando la presencia del CKD hasta un 10%. Los resultados fueron graficados y pueden ser revisados en la figura #2.

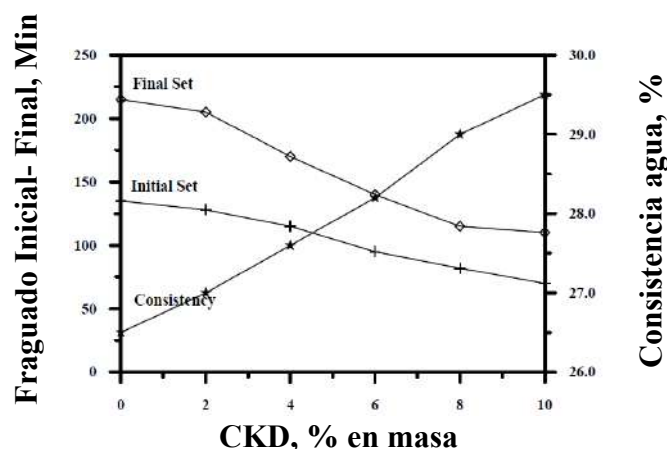


Figura #2, Consistencia y tiempos de fraguado inicial y final de acuerdo a las variaciones de contenido de CKD. (Saleh Abd El-Aleem et Al, 2005)

En un segundo grupo de ensayos se busca determinar si la presencia del CKD en proporciones que van en un rango del 2 al 10% aportan la formación de cal libre sobre aquella que se forma en el proceso de fraguado de la pasta control (OPC sin adición), ya que es un factor importante que influiría sobre la durabilidad de las estructuras. De estos pueden ser vistos los resultados en la siguiente figura #3.

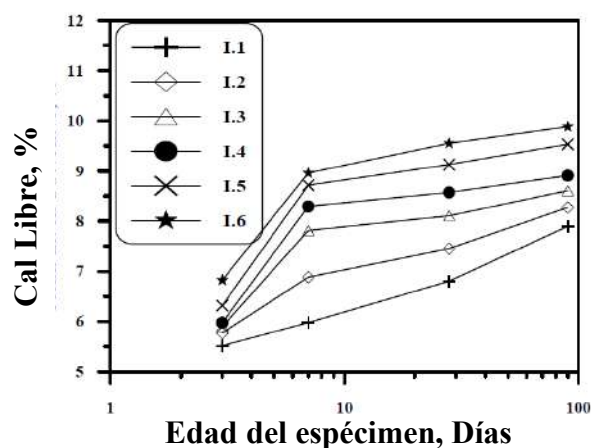


Figura #3, Contenido de cal libre de acuerdo a la variación de CKD sustituto del OPC y a la edad de curado. (Saleh Abd El-Aleem et Al, 2005)

Otro grupo de ensayos de vital importancia es determinar la físico-química vinculada a la hidratación del cemento y del cemento portland ordinario OPC con una adición de CKD hasta en un 10%. En ellos se determina los porcentajes de agua libre o evaporable y la químicamente vinculada como un indicador de la hidratación real del cristal de cemento para la formación de S-C-H. Ambos están resumidos en las figuras #4 y #5.

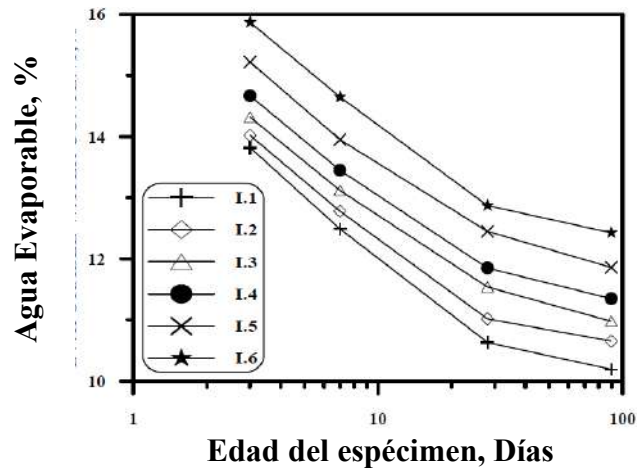


Figura #4, Cantidad de agua no vinculada químicamente de acuerdo a la variación de CKD sustituto de OPC y dependiente del tiempo de curado. (Saleh Abd El-Aleem et Al, 2005)

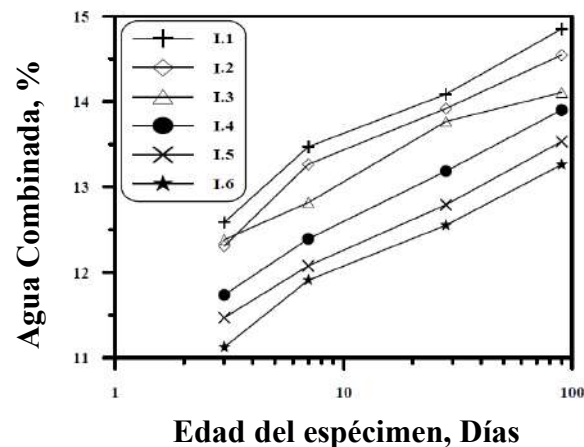


Figura #5, Cantidad de agua químicamente combinada de acuerdo al porcentaje de OPC sustituido por CKD en función del tiempo de curado. (Saleh Abd El-Aleem et Al, 2005)

El ensayo fundamental de toda evaluación de hormigón endurecido es el de la resistencia a compresión, en este caso se desea conocer como se ve afectada la resistencia en función de dos variables, la edad de la probeta, lo cual es un estándar, y la que realmente ocupa a estos estudios, que es ver como la adición en diversas proporciones del CKD puede variar la resistencia a compresión para cada una de las edades indicadas. La figura #6 puede verse los resultados de forma gráfica.

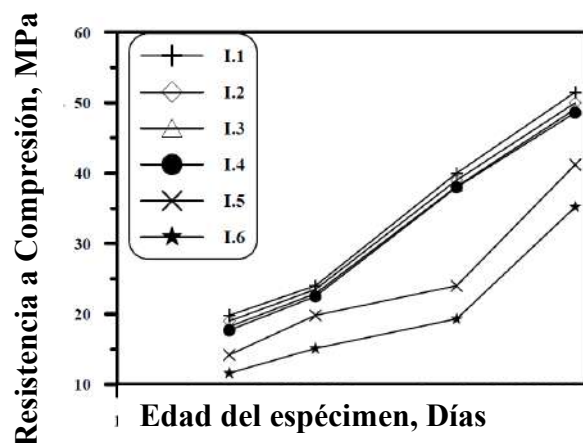


Figura #6, Evolución del valor de la resistencia a compresión para el OPC con diferentes porcentajes de CKD de acuerdo a la edad del espécimen ensayado. (Saleh Abd El-Alem et Al, 2005)

En unos ensayos realizados por Mohammed Khudhair de la Université Ibn Tofail se obtuvo información sobre la expansión, ya que ciertas sustancias químicas pueden provocar reacciones de expansión intolerables para el uso común del hormigón es importante corroborar si la presencia excesiva de Álcalis, cloruros e Hidróxido de Calcio puedan generar cambios sustanciales del volumen. En Figura #7, la gráfica indica incrementos tolerables.

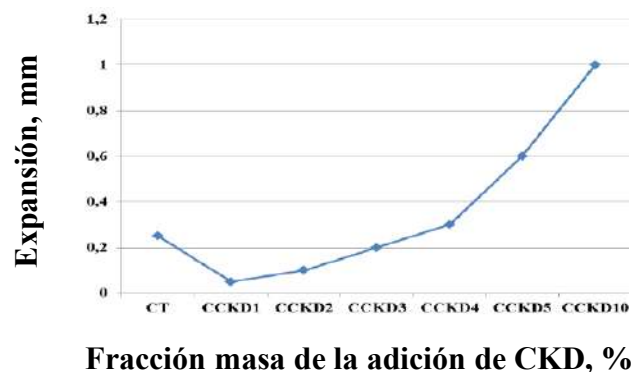


Figura #7, Valor de la expansión del cemento de acuerdo con la fracción sustituida por CKD. (Mohammed Khudhair, 2016)

3. 2. Análisis de los resultados

3.2.1. *Tiempos de fraguado Inicial y final, y la consistencia, Figura #2*

Como es sabido la finura del CKD es mayor que la del cemento OPC siendo valores que frecuentemente se encuentran entre los 4000 y los 14000 cm²/kg. Así mismo los pesos específicos del CKD y del OPC no son coincidentes, lo que hace que al sustituirse OPC por CKD se introduce igual peso, pero a diferentes densidades implica mayor masa del CKD. También se ha mencionado que el CKD es una mezcla de materia mineral sin calcinar, semi.-calcificada y calcificada (Clinker) y estas proporciones entre sí pueden variar.

Como consecuencia de lo antes mencionado se deduce:

- a. La añadidura de CKD permite una mejor dispersabilidad del cemento Portland ya que actúa como una adición mineral tipo filler. Esto facilita la hidratación de la partícula del cemento causando una aceleración del proceso de fraguado. A mayor cantidad de CKD, mejor es la dispersión del cemento dentro del rango 0-10% de CKD, estando más marcado el efecto entre 2 y 8% ya que a 10% hay un cambio de pendiente del *Final Set* y una reducción del espacio tiempo entre el inicial y el final, lo que hace presumir que este efecto se logra siempre y cuando no se supere el 10% ya que a mayor cantidad podrían variar negativamente los resultados o ser invariables respecto al 10% estabilizándose. Entonces el CKD puede ser considerado como un acelerante de fraguado, mientras se adicione en una proporción menor o igual al 10%.
- b. La hidratación temprana del OPC facilitada por la presencia del CKD no se traduce en incremento de resistencia final y de aquellas iniciales de OPC + CKD respecto al control, debido a la reducción de la cantidad de cemento ya que hubo una sustitución directa en porcentaje en peso.
- c. En la consistencia se evidencia que un incremento en la demanda de agua para la hidratación que seguramente es a consecuencia directa de la sustancial disminución del tamaño de la partícula del CKD respecto al OPC con el consiguiente incremento de la superficie específica.
- d. La presencia del CKD a medida que se incrementa su porcentaje aumenta el agua para una consistencia normal. Esto puede atribuirse a altas cantidades de álcalis, sulfatos y sales volátiles y las razones arriba señaladas.
- e. Una mayor cantidad de cal también acelera el proceso de fraguado por lo que afecta los valores de Tiempo inicial y final, y el CKD aporta cal.

3.2.2. *Cal Libre, figura #3*

- a. El incremento de la cal libre deriva inicialmente por el aporte de cal libre que hace directamente el CKD, ya que posee porcentajes elevados de esta sustancia
- b. Aquella que es liberada por la hidratación del cemento formando C-S-H.
- c. Por formación del Hidróxido de Calcio por la hidratación del Clinker contenido en el CKD y el calcio que aporta.

3.2.3. *Agua Libre y Agua químicamente vinculada, figura #4 y #5*

- a. El incremento del agua libre respecto al control en la medida que se aumenta el porcentaje del CKD se debe principalmente a dos razones:
- a.1 Una relación agua/sólido A/S mayor que la A/C del control ya que se requiere un mayor porcentaje para lograr los mismos valores de asentamiento o Trabajabilidad de las mezclas.
 - a.2 Porque una parte del CKD no vincula químicamente el agua ya que no tienen capacidad puzolánica en estado crudo.
- b. Al no tener capacidad puzolánica una fracción del CKD, no es capaz de formar esa fracción productos de hidratación C-S-H, por lo que el agua que se agrega no se puede combinar en la misma proporción respecto al control, según se explica en el apartado 1.b anterior, manteniéndose libre ya que ella no se combina. A mayor porcentaje de CKD mayor cantidad de agua libre.

3.2.4. Resistencia a compresión (ASTM C-109), figura #6

Se aprecia en las gráficas que en adiciones con contenidos hasta 6% de CKD la caída de resistencia respecto al control es escasa y poco determinante, en cambio en porcentajes de CKD entre 8 y 10% se evidencia una caída pronunciada de la resistencia a compresión. En todos los casos la resistencia se incrementa con el aumento de la edad, que es lo normal en cualquier mezcla con cemento. La caída de resistencia se puede pensar que es a causa de:

- a. Un incremento de los poros de la pasta y de la interface con los agregados, debido a un incremento de la relación agua/cemento a medida que se incrementa el contenido de CKD por dos razones:
 - a.1 Se adiciona más agua para mantener la consistencia
 - a.2 El agua vinculada es menor y el agua libre mayor.
- b. Presencia de partículas muy finas de CKD de la fracción mineral cruda en la interface
- c. Mayor cantidad de Hidróxido de Calcio en la interface
- d. Un incremento de cal libre en la pasta. De acuerdo se incrementa el CKD, aumenta la cal libre, y la consecuencia es que la cal en exceso hace más débil y frágil la pasta endurecida.
- e. El efecto Packing de las partículas de CKD sin reaccionar, que debe ser mayor en mezclas con superiores cantidades de CKD.
- f. La mayor expansión de los productos de hidratación en hormigones con superior fracción de CKD como sustituto directo de OPC.
- g. La combinación de todos estos efectos.

3.2.5. Expansión del Cemento, figura #7

Se puede notar en la figura #6 un incremento de los valores de expansión del cemento endurecido mayor al control para valores superiores o iguales al 6% de CKD, pero estos en ningún caso se supera los límites de la norma EN 196-3 + A1. Seguramente esta expansión se debe a la presencia del magnesio en la composición química del CKD.

4. DURABILIDAD

4.1. Reacción Álcalis – Sílice RAS

En el CKD están presentes importantes cantidades de álcalis y otros químicos que pueden contribuir a la formación de reacciones de álcali Sílice. Por lo que se recomienda usar una puzolana para mitigar los efectos negativos indicados en puntos anteriores, reducir los álcalis y la cal libre y proveer de mejores resistencias mecánicas. Adicionalmente es recomendable con el

uso del CKD sin puzolanas procurar agregados de muy baja a nula potencialidad de ocurrencia de esta reacción con los álcalis del cemento.

4.2. Corrosión del acero de refuerzo

La adición del CKD en un rango superior al 5% incrementa la cantidad de cloruros en la pasta de cemento de tal forma que produce una importante caída de los valores de resistividad para un nivel de humedad entre los 3 y 4,5%, de acuerdo a unos estudios reportados por M. Maslehuddin, O.S.B. Al-Amoudi, M.K. Rahman, M.R. Ali, M.S. Barry del *Center for Engineering Research, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia*. Para una adición del 5% de CKD la resistividad es menor pero poco sensible respecto al Cemento Portland tipo I al 100%. Ver figura #8

5. CONCLUSIONES

5.1 La producción de cemento y Hormigones verdes pueden ser producidos con la adición del CKD para aprovechar un desecho industrial contaminante, aunque se reconoce que el uso de esta sustancia en mezclas de cemento Portland causa una caída de resistencias, estas tienen suficiente magnitud para considerarlas estructurales. Ya que la combinación OPC+CKD permite producir hormigones con resistencia estructural suficiente para la construcción de ciertas obras a nivel de estructuras de viviendas sociales, pavimento interior, morteros para pega de bloques y revestimientos enlucido de paredes.

5.2 El provecho del CKD como una adición al Hormigón a base Cemento Portland también denominado OPC eleva la cantidad de cal libre en la pasta, pero esto al contrario de lo pensado, lejos de ser un problema debe ser visto como una ventaja porque permite adicionar cantidades mayores de una puzolana de origen industrial con la misma condición del CKD como descarte tales como el Sílica Fume, el Fly Ash, o las escorias de alto horno. El provecho de CKD con una puzolana refuerza el carácter ecológico o verde del hormigón.

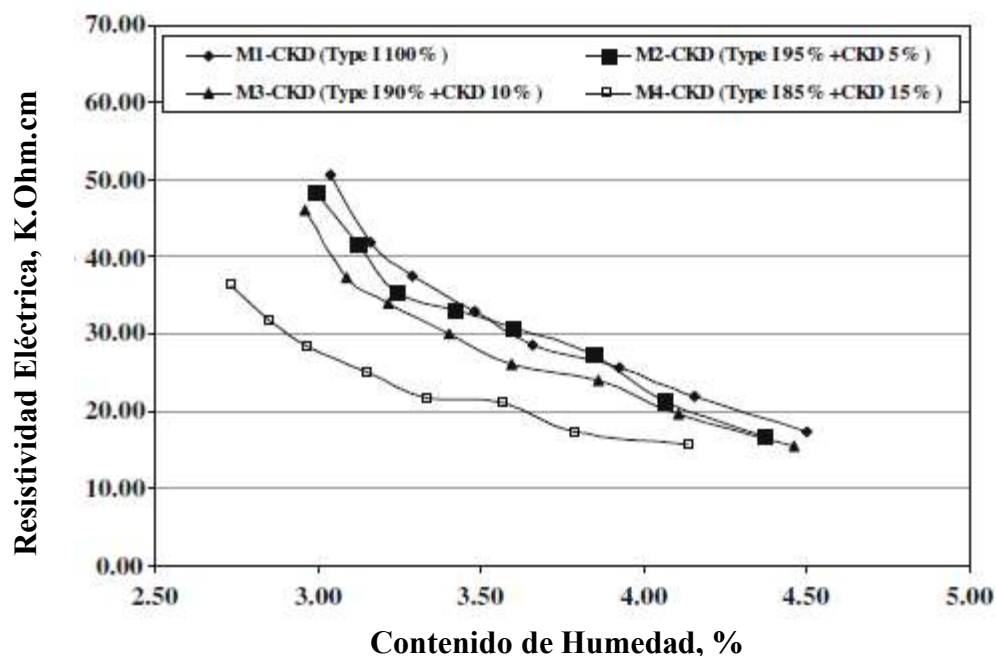


Figura #8, Variación de la Resistividad eléctrica de acuerdo a la humedad para varios porcentajes de CKD (M. Maslehuddin et Al, 2009)

5.3 El uso de una combinación de CKD + Puzolanas contribuye al consumo de la cal libre, mejora la interface con el agregado grueso, reduce la porosidad, incrementa las resistencia por varias vías, combina químicamente un porcentaje de agua mayor, permite reducir el consumo del Cemento OPC, entre otros beneficios que directamente se ven maximizados con la participación del CKD en la mezcla que sin su adicción.

5.4 La producción mezclas con CKD como sustituto parcial del cemento Portland contribuye a la reducción de costos financieros, ambientales y a mejorar la rentabilidad de las empresas del sector cemento.

5.5 El uso de una puzolana con el CKD mejora el desempeño a largo plazo y la durabilidad de las obras de hormigón, por lo que es recomendable combinar el OPC con el CKD + Puzolanas.

6. REFERENCIAS

El-Mohsen M. Et Al.(2015), "*Mechanical Properties Of Self-Consolidating Concrete Incorporating Cement Kiln Dust*", HBRC Journal Volume 11, Issue 1.

EPA, (1999), "*Management Standards Proposed for Cement Kiln Dust Waste*", EPA530-F-99-023 Fact Sheet.

Hernández Saturno, Rhenzel. (2020), "*Factibilidad De Uso del Cement – Kiln - Dust (CKD) En El Mejoramiento Y Estabilización De Suelos Granulares Y Cohesivos*", Congreso Venezolano De Geotecnia 2020, Caracas, Venezuela

M. Maslehuddin *, O.S.B. Al-Amoudi, M.K. Rahman, M.R. Ali, M.S. Barry (2009), "*Properties of cement kiln dust concrete*", Construction and Building Materials 23 (2009) 2357–2361.

M. Maslehuddin, O.S.B. Al-Amoudi, M.K. Rahman, M. R. Ali & M.S. Barry, "*Properties Concrete incorporating Cement Kiln Dust*", King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia.

Saleh Abd El-Aleem et Al. (2005), "*Effect of Cement Kiln Dust Substitution on Chemical and Physical Properties and Compressive Strength of Portland and Slag Cements*", Arabian Journal For Science And Engineering

Umberto Eco. (1977), "*Come Si Fa Una Tesi Di Laurea*", Milano, Italia.

Una comparativa normativa – experimental sobre el hormigón reforzado con fibras sometido a esfuerzo de corte directo

A. Picazo¹, M.G. Alberti², A. Enfedaque², J.C. Gálvez^{2*}

*Autor de Contacto: jaime.galvez@upm.es

¹ Departamento de Tecnología de la Edificación. E.T.S. de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Juan de Herrera 6, 28040 Madrid-España.

² Departamento de Ingeniería Civil: Construcción. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. C/ Profesor Aranguren, s/n, 28040 Madrid-España.

RESUMEN

La normativa de hormigón estructural permite considerar el carácter estructural del hormigón reforzado con fibras (HRF) en función de resistencias residuales obtenidas en ensayos de resistencia a la tracción por flexión. Sin embargo, en relación con la fractura a cortante, todavía no hay consenso en el ámbito de la investigación sobre si es apropiado el uso de resistencias a tracción en la formulación para la resistencia frente a sollicitaciones de cortante. Mediante el empleo de fibras es posible reducir el refuerzo de barras de acero y, en el caso de cortante, llegar a eliminar la armadura. Con la finalidad de profundizar en el comportamiento del HRF sometido a cortante, se desarrolló una campaña experimental con HRF con fibras de acero y poliolefina sometido a esfuerzos de cortante puro mediante ensayos “push-off”. Las probetas ensayadas procedían de ensayos previos de flexión, por lo que se conocían sus resistencias residuales a flexión. Estas resistencias se compararon con los ensayos a fractura en cortante concluyéndose que los valores normativos resultaban muy conservadores para pequeños deslizamientos a cortante. Al aumentar el deslizamiento los valores de resistencia normativos y experimentales resultaron parecidos, e incluso para deslizamientos grandes los valores experimentales resultaron superiores los normativos.

Palabras clave: esfuerzo cortante, hormigón reforzado con fibras, ensayo “push-off”, fibras de acero, fibras de poliolefina

ABSTRACT

The structural concrete standards allow to use the fibres in the design of structural concrete, performing the fibre reinforced concrete (FRC). The residual strengths used for design are obtained from bending tests. However, regarding to shear fracture, there is still no consensus in the field of research about how to use tensile strengths in the formulation for shear stress design. Through the use of fibres, it is possible to reduce the reinforcement with steel bars and, in the case of shear, even to avoid the reinforcement. In order to deepen the behaviour of FRC subjected to shear, an experimental campaign was developed with concrete reinforced with steel and polyolefin fibres subjected to pure shearing efforts through push-off tests. The tested specimens came from previous bending tests, so their residual resistances in bending were known. These resistances were compared with the fracture tests on shear, concluding that the normative values were very conservative for small shear slips. As the slippage increased, the normative and experimental resistance values were similar, and even for large slides the experimental values were higher than the normative ones.

Keywords: shear strength, fibre reinforced concrete, push-off test, steel fibres, polyolefin fibres

1. INTRODUCCIÓN

El uso de fibras como refuerzo del hormigón evita la fragilidad del material, dotándole de ductilidad (di Prisco et al., 2009). Además, mejora sus características mecánicas, consigue controlar la abertura de fisuras y aumentar la energía de fractura (Bencardino et al., 2010). Este refuerzo de fibras permite sustituir de manera parcial el refuerzo de barras de acero a flexión (You et al., 2011). En el caso de esfuerzos de cortante, el refuerzo con fibras puede sustituir al refuerzo de cercos (Yoo et al., 2017). Así, el HRF es ampliamente empleado en dovelas de túneles (Conforti et al., 2019), canalizaciones (Alberti et al., 2017), losas alveolares (Conforti et al., 2020), pasarelas peatonales (López et al., 2014) y estructuras de cubiertas (Cabo et al., 2003), entre otras. Para poder tener en cuenta la contribución estructural del refuerzo mediante fibras, las normas exigen una serie requerimientos basados en los resultados de fractura en modo I. Es decir, para cualquier tipo de esfuerzo al que esté sometida la estructura, las capacidades mecánicas se obtienen en función de resistencias residuales a tracción por flexión obtenidas de manera experimental sobre vigas a flexión en tres o cuatro puntos con entalla (International Federation for Structural Concrete (fib), 2010, Ministerio de Fomento, 2008).

El empleo de tensiones residuales a flexo-tracción para el cálculo de refuerzos de cortante muestra falta de unanimidad, por lo que es de interés su investigación. De esta forma, nos encontramos con investigaciones dispares. Así, en la referencia (Krassowska et al., 2019) analizaron vigas de hormigón reforzadas, indicando el buen ajuste de la formulación del CM-2010 (International Federation for Structural Concrete (fib), 2010). De forma similar, en (Ortiz-Navas et al., 2020) mediante ensayos sobre vigas de hormigón con fibras de polipropileno y acero, concluyeron que el empleo de tensiones residuales de flexo-tracción son apropiadas para la caracterización de piezas estructurales a cortante. Sin embargo, en la referencia (Cuenca et al., 2015) concluyeron, en su estudio sobre vigas, la necesidad de revisar la formulación a cortante en función de las características de las fibras. Usando fibras híbridas y macrosintéticas en vigas, en la referencia (Dev et al., 2020) indicaron que la formulación de la ACI y RILEM resultaba conservadora. Por último, sobre losas alveolares, los resultados han mostrado (Conforti et al., 2020) la necesidad de ajustar dicha formulación.

El presente estudio aborda el estudio del comportamiento a fractura en cortante de varios tipos de hormigón en referencia a las normas CM-2010 (International Federation for Structural Concrete

(fib), 2010) y EHE-08 (Ministerio de Fomento, 2008). Para ello se emplearon probetas tipo push-off con cuatro tipologías de hormigón: un hormigón autocompactante de alta resistencia a compresión (60 MPa) reforzado con fracciones volumétricas de 0,64% y 0,89% de fibras de acero. El segundo es un hormigón de moderada resistencia a compresión (40 MPa) y fracción volumétrica de 1,10% de fibras de poliolefina. Un tercer hormigón, de similares características al segundo, pero autocompactante e igualmente reforzado con un 1,10% de fibras de poliolefina. Y el cuarto hormigón, de baja resistencia (20 MPa) reforzado con fracciones volumétricas de 0,66% y 0,83% de fibras de poliolefina.

Los diferentes hormigones fueron previamente ensayados a flexión (Alberti et al., 2015, Alberti et al., 2019, Picazo, 2020), superando todos ellos los requerimientos estructurales del MC-2010 y la EHE-08 para poder considerar la contribución resistente de las fibras en el cálculo: ($f_{R1}/f_{LOP} > 0,4$ y $f_{R3k}/f_{R1k} > 0,5$).

2. MATERIALES Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS HORMIGONES

La dosificación empleada en la realización de los hormigones se puede ver en investigaciones previas (Picazo, 2020). Es destacable indicar la diferencia de cantidad de cemento empleado en la realización de los hormigones, lo que da lugar a tres tipologías de hormigón en relación a su resistencia a compresión. Para los hormigones de baja resistencia se empleó cemento EN 197-1 CEM II 32,5 B-M, mientras que para el resto de hormigones se empleó un EN 197-1 CEM I 52,5 R-SR 5 con adición de filler calizo y superplastificante con base de policarboxilato. En todos los casos el tamaño máximo del árido fue de 12,7 mm.

Las fibras de poliolefina empleadas tenían acabado rugoso, para facilitar la adherencia, y una resistencia a tracción de 1100 N/mm². Se emplearon con una longitud de 60 mm en los hormigones con fracción volumétrica de 1,10% y de 48 mm en los hormigones de baja resistencia y fracciones volumétricas de 0,66% y 0,83%. Con respecto a las fibras de acero lisas, con extremos conformados en patillas, se utilizaron de tipología RC80/50BN en el hormigón de fracción volumétrica de 0,64% y una mezcla al 50% de éstas con otras de tipo RC65/35BN en el hormigón de mayor fracción volumétrica (0,89%). Las características de las fibras se pueden consultar en investigaciones previas (Picazo et al., 2018).

De esta forma se realizaron seis hormigones designados como SCS70 y SCS50, autocompactantes de alta resistencia a compresión y reforzados con 0,64% y 0,89% de fibras de acero. Los VP6 y VP75, compactados por vibración, de baja resistencia y reforzados con 0,66% y 0,83% de fibras de poliolefina. Por último, SCP10 y VP10, reforzados con un 1,10% de fibras de poliolefina, autocompactante y vibrado, respectivamente.

Los resultados de los ensayos previos para obtener las resistencias a compresión (f_{cm}) y las capacidades mecánicas y tensiones residuales a tracción por flexión (f_{LOP} , f_{R1} y f_{R3}) en ensayos conforme a la norma EN14651:2007+A1 (European Committee for Standardization, 2007) se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resistencias a compresión y tensiones residuales por flexión (MPa) de los hormigones estudiados.

	f_{cm}	f_{LOP}	f_{R1}	f_{R3}
SCS50	62,2	5,69	7,29	5,27
SCS70	58,8	6,50	11,08	9,46
VP6	21,7	2,76	1,43	1,75
VP75	20,1	2,75	1,62	1,97
SCP10	51,5	5,22	2,41	3,87
VP10	39,7	4,21	1,98	2,87

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL DE ENSAYOS A CORTANTE PUSH-OFF

Las probetas tipo push-off tenían forma prismática con unas dimensiones de 270x150x150 mm³. Fueron obtenidas de las mitades residuales de ensayos a flexión, debidamente mecanizadas y eliminando la zona afectada por el ensayo de tracción por flexión. Como se puede observar en la Figura 1(a), en dicho prisma se realizaron dos entallas de 75 mm de profundidad y 9 mm de espesor. Mediante la realización de estas entallas la sección de ligamento sometida a cortante tuvo unas medidas de 150 mm de ancho y 75 mm de altura. Es importante indicar que las probetas se realizaron para los ensayos de flexión por lo que el posible posicionamiento de las fibras debe resultar paralelo a la dirección de carga en los ensayos push-off. De tal forma, la disposición de las fibras no es la mejor para soportar los esfuerzos de cortante, por lo que los resultados pueden considerarse como conservadores.

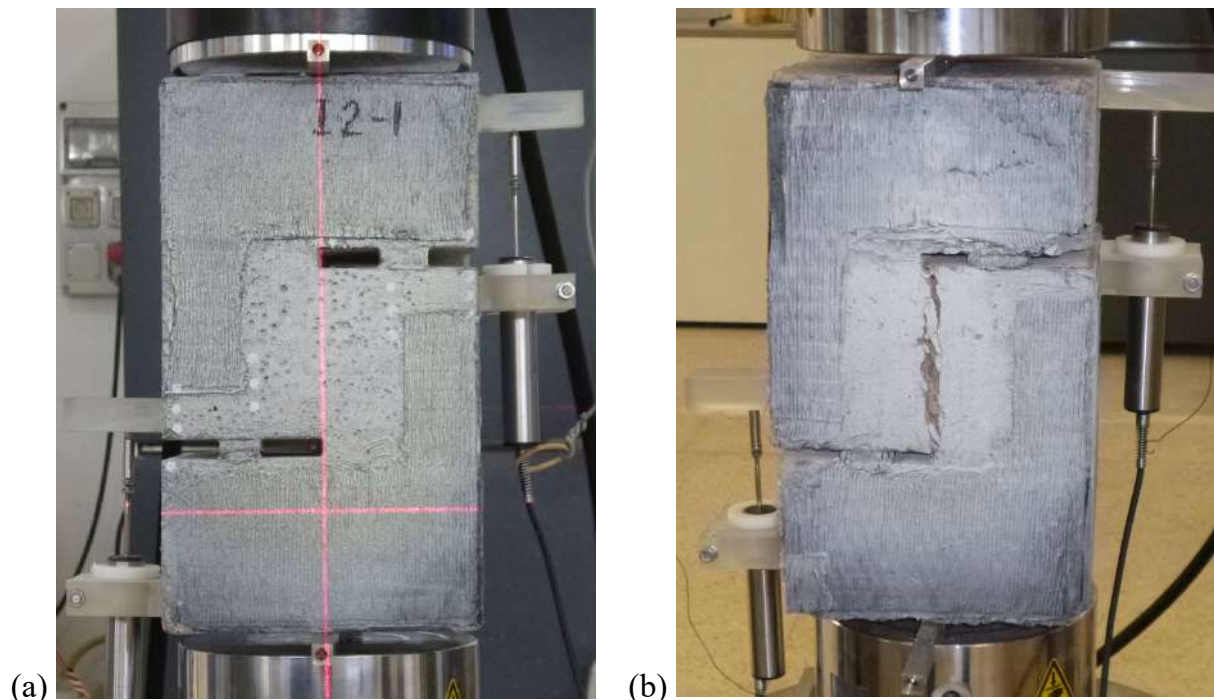


Figura 1. (a) Probeta push-off preparada para ser ensayada y (b) ensayada.

Para el correcto funcionamiento del ensayo push-off se colocaron las probetas de forma especialmente cuidadosa. Las barras de carga metálicas superior e inferior, de dimensiones 200x10x10 mm³ se posicionaron haciendo coincidir su centro con la sección de ligamento, cosa que se consiguió mediante un nivel láser. Se dispusieron, en ambas entallas, dos transductores de

desplazamiento lineal variable (LVDT) para medir la abertura o cierre de las puntas de las entallas y, como media, obtener los deslizamientos a cortante en la sección de ligamento. De tal forma, la Figura 1(b) muestra una probeta tras ser ensayada. Los ensayos se realizaron en una máquina Instron®, con una capacidad de carga de 500 kN, siendo controlados por desplazamiento del actuador a una velocidad de 1 $\mu\text{m/s}$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Contribución de las fibras en el HRC sometido a cortante

Con el fin de comparar los hormigones estudiados se consideraron las diferentes tensiones a cortante durante los ensayos como resultado de aplicar la ecuación (1), dividiendo la carga aplicada (L) entre la superficie de la sección de ligamento (S). De tal forma se obtuvieron tensiones medias, independiente de la sección resistente.

$$\tau_{aver} = L/S \quad (1)$$

La Tabla 2 muestra el número de probetas ensayadas de cada hormigón, su tensión rasante promedio máxima (τ_{MAX}), la carga máxima media soportada (L_{MAX}) y el número de fibras contadas en la sección de ligamento tras los ensayos.

Para estudiar el comportamiento de los diferentes HRC en los ensayos push-off es importante estudiar la Figura 2. Ésta muestra la gráfica tensión media a cortante frente a deslizamiento a cortante. En todos los casos el comportamiento general es el mismo, una rama de carga hasta el primer punto de inflexión donde, tras producirse la fisuración de las probetas, se produjo una rama de descarga más o menos pronunciada. Posteriormente se puede observar una rama de tensión descendente, pero con mínima inclinación, correspondiendo a la fase residual de los ensayos, gobernada por la actuación como refuerzo de las fibras.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de cortante tipo push-off.

	Prob. (uds)	τ_{MAX} (MPa)	L_{MAX} (kN)	Fibras (uds)
SCS50	2	12,2	131,4	82
SCS70	2	17,4	141,9	116
VP6	4	5,2	65,0	63
VP75	4	4,9	68,7	89
SCP10	3	9,7	105,0	69
VP10	2	7,9	99,8	79

Los hormigones pueden estudiarse agrupados de dos en dos, función de su matriz cementicia. Así el SCS50 y SCS70 presentan una rama de carga más pronunciada que el resto de los hormigones. En ambos hormigones se dio la circunstancia de que la primera fisura se produjo antes del punto de inflexión de carga máxima, por lo que dichos hormigones, tras fisurarse siguieron aumentando su capacidad resistente a cortante. Entre el SCS50 (12,2 MPa) y el SCS70 (17,4 MPa), con la misma matriz, se aprecia un aumento de resistencia del 42,6% en su valor máximo. En el resto de los hormigones la matriz se fisuró en el punto de máxima resistencia mostrado en la Figura 2.

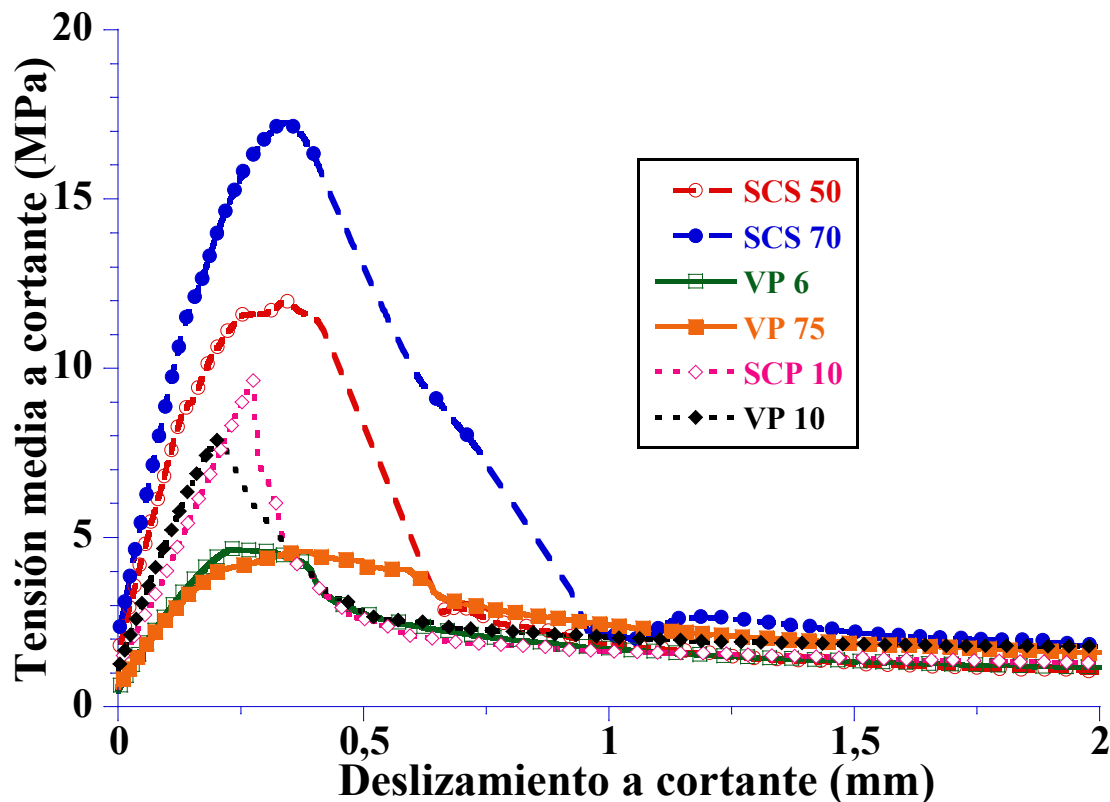


Figura 2. Curvas medias tensión – deslizamiento a cortante en los ensayos push-off. Se muestra la gráfica post-fisuración solamente hasta 2 mm de deslizamiento.

La diferencia de inclinación de los hormigones es función de la matriz de hormigón sin fisurar, por lo que se puede ver que las gráficas de los hormigones reforzados con fibras de acero, y mejor matriz, muestran una inclinación mayor. El siguiente grupo serían los hormigones reforzados con 10 kg/m^3 de fibras de poliolefina. Por último, los hormigones de baja resistencia a compresión mostraron una menor inclinación en la rama de carga.

Tras el punto de inflexión correspondiente al valor de tensión máxima cortante los hormigones SCS50 y SCS70 mostraron una caída brusca de carga asociada a un deslizamiento elevado entre las dos caras de la sección de ligamento. En el caso de los VP6 y VP75 se produjo un descenso en el valor de la tensión, pero mostrando una gran ductilidad, sin caídas bruscas de carga, tal y como se aprecia en la Figura 2 con unas ramas de descarga con baja inclinación. Por último, tanto en el SCP10 como en el VP10, su comportamiento fue intermedio a lo comentado: se produjo una rama de descarga brusca, pero no asociada a un gran deslizamiento.

Una vez se llegó, en todos los hormigones, a un deslizamiento de 1 mm los valores de resistencias residuales se igualaron en todos los casos, con valores que oscilaron entre $1,6$ y $2,5 \text{ N/mm}^2$. En este punto es cuando la gráfica de la rama residual muestra un comportamiento función de las fibras contadas en las diferentes secciones de fractura.

4.2 Resultados experimentales vs numéricos normativos a cortante

Investigaciones previas (Conforti et al., 2020, Ortiz-Navas et al., 2020, Dev et al., 2020) difieren respecto a si la formulación adoptada por las normativas de diseño estructural de hormigón armado es apropiada para el cálculo de secciones sometidas a esfuerzo cortante. De tal forma, con los valores de tensiones residuales a tracción por flexión f_{R1} y f_{R3} se pueden obtener los valores de resistencia, para el diseño, de piezas de hormigón sometidas a cortante.

Por tal motivo, se estudió el valor de las resistencias de cálculo obtenidas con dos normativas de hormigón estructural: el CM-2010 y la norma española EHE-08 sobre piezas sin armadura de cercos. De tal forma, la EHE-08 considera, de manera aditiva, la contribución de la resistencia del hormigón, el armado longitudinal y la aportación de las fibras, según la ecuación (2). Por su parte el MC-2010 permite calcular la capacidad resistente a cortante mediante la ecuación (3), función de la resistencia del hormigón, de la armadura longitudinal y las fibras.

$$V_{rd} = \left[\frac{0.18}{\gamma_c} \varepsilon (100\rho_1 f_{cv})^{1/3} + 0.15\sigma'_{cd} \right] b_0 d + 0.7\varepsilon\tau_{fd} b_0 d \quad (2)$$

$$V_{Rd,F} = \left\{ \frac{0.18}{\gamma_c} k \left[100\rho_1 \left(1 + 7.5 \frac{f_{Ftuk}}{f_{ctk}} \right) f_{ck} \right]^{1/3} + 0.15\sigma_{cp} \right\} b_w d \quad (3)$$

Siendo:

γ_c coeficiente de seguridad del hormigón.

$\varepsilon=k$ factor que toma en consideración el efecto tamaño.

ρ_l cuantía de refuerzo de la armadura longitudinal.

f_{cv} resistencia a cortante del hormigón.

f_{ck} resistencia característica a compresión del hormigón.

$\sigma'_{cd}=\sigma_{cp}$ tensión por esfuerzo axil.

$b_0=b_w$ ancho mínimo de la sección.

d canto útil de la sección.

$\tau_{fd} = 0,5f_{ctR,d} = 0,33f_{R,3,d}$ incremento de resistencia a cortante por efecto de las fibras.

f_{R3} tensión residual del HRF para un CMOD de 2,5 mm.

$f_{Ftuk} = f_{R3} / 3$ tensión residual del HRF.

$f_{ctk} = 0,3f_{ck}^{(2/3)}$.

Para poder comparar los resultados analíticos y experimentales fue necesario asumir ciertas consideraciones. Así, el coeficiente de seguridad γ_c se igualó a la unidad. Para la realización de la comparativa se analizaron los resultados numéricos y experimentales en base a una viga habitual en construcción, tomando el valor de su anchura b_0 como 300 mm y su canto útil variable entre 300 y 650 mm. Se prescindió del esfuerzo axil en vigas, por lo que el valor medio de tensión σ'_{cd} se tomó como cero. Por último, hizo falta considerar un refuerzo con armadura longitudinal de barras de acero por lo que se tomó una cuantía moderada, $\rho_l = 0,015$.

Con estos condicionantes, además de conocer las resistencias a compresión y residuales a tracción por flexión de los seis hormigones estudiados, fue posible mostrar gráfica y analíticamente la comparativa entre los resultados experimentales y numéricos. De tal forma, primero se presenta la Tabla 3 con los resultados numéricos obtenidos (V_{rd} según la EHE-08 y $V_{Rd,F}$ para el MC-2010) para una viga de dimensiones 300x450 mm² (ancho-canto útil) frente a los resultados experimentales para deslizamientos a cortante (V_{CSD}) de 0,5 y 2,5 mm.

Tabla 3. Valores de cortante (kN) normativo y experimental para una viga de sección 300x450 mm² (ancho-canto útil).

	V_{Rd}	$V_{Rd,F}$	V_{CSD} 0,5	V_{CSD} 2,5
SCS50	300,3	270,9	1096,2	119,5
SCS70	406,7	315,9	1756,4	217,6
VP6	159,8	171,9	375,3	140,4
VP75	167,1	178,2	576,5	194,4
SCP10	255,1	243,3	351,0	155,3
VP10	215,9	216,0	379,4	229,5

De manera gráfica, en las Figuras 3(a) a (c) se puede observar la comparativa de resistencias a cortante experimental frente a analítica de tres de los hormigones estudiados. Los tres que no se muestran tuvieron un comportamiento similar a los mostrados.

Analizando los resultados de los hormigones SCS cabe indicar que las resistencias esperadas a cortante según los resultados experimentales para un pequeño deslizamiento (0,5 mm) son muy superiores a los indicados por las normativas, aumentando linealmente en función del canto útil del elemento. Dichos valores son superiores en más de un 300% en relación a los valores de cálculo normativos. Sin embargo, al considerar los valores de deslizamiento a cortante de 2,5 mm, los resultados indican que la resistencia a cortante calculada analíticamente supone una resistencia que el material no alcanza.

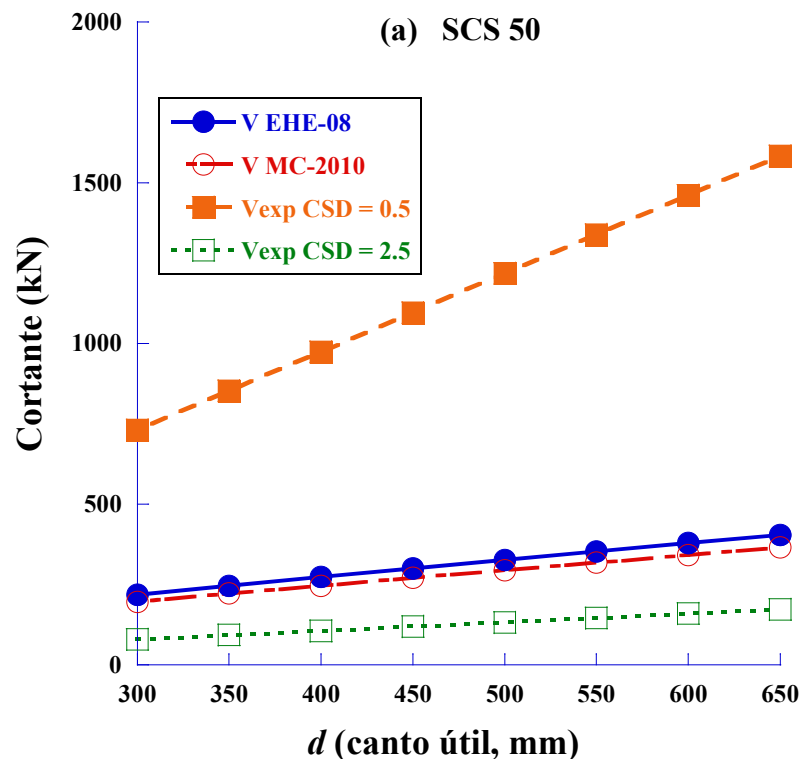


Figura 3(a). Valores de resistencia a cortante obtenidos de manera experimental frente a valores de acuerdo a la formulación normativa para el SCS50.

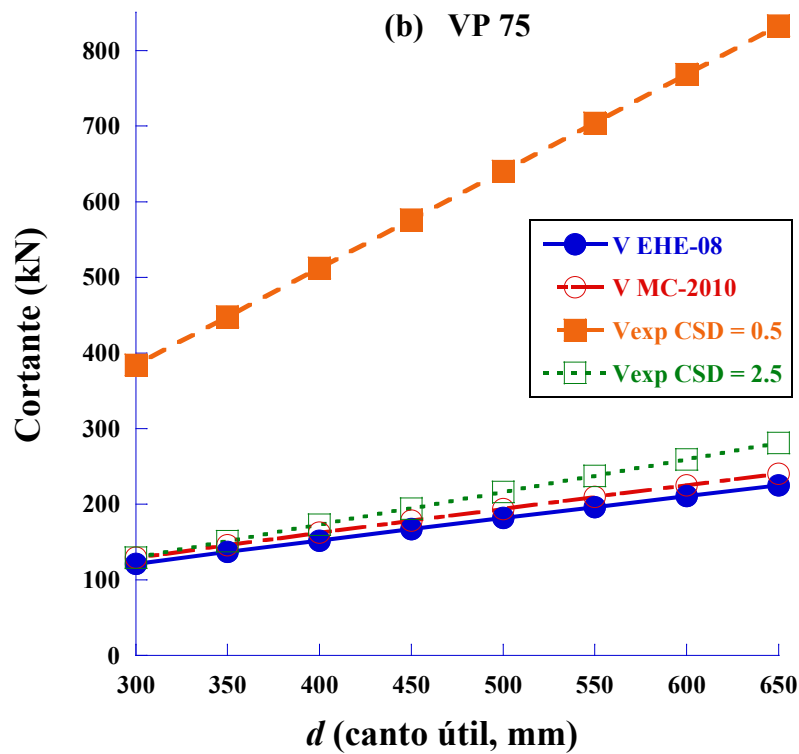


Figura 3(b). Valores de resistencia a cortante obtenidos de manera experimental frente a valores de acuerdo a la formulación normativa para el VP75.

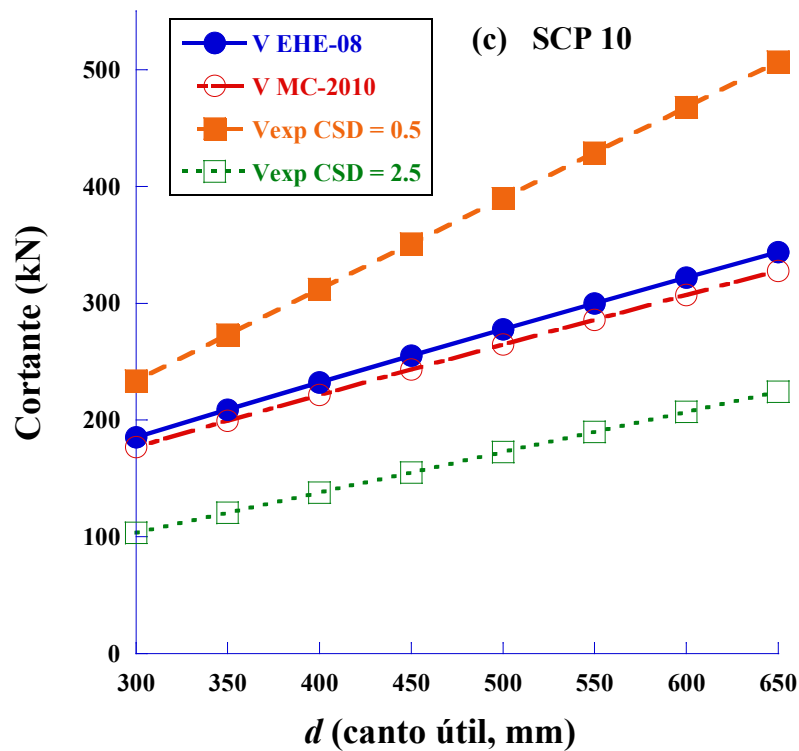


Figura 3(c). Valores de resistencia a cortante obtenidos de manera experimental frente a valores de acuerdo a la formulación normativa para el SCP10.

En el caso de los dos hormigones de moderada resistencia a compresión también los resultados experimentales para un deslizamiento a cortante de 0,5 mm son muy superiores a calculado conforme a las normas. Sin embargo, para un deslizamiento mayor los resultados analíticos y experimentales son similares. En el VP6 los valores experimentales se encuentran por debajo de los analíticos, mientras que el VP75 muestra un comportamiento superior al predicho por las normas.

Algo similar a lo expresado para el hormigón VP75 sucede en el VP10. Sin embargo, analizando los resultados del SCP10 su comportamiento se asemeja al de los hormigones reforzados con fibras de acero, todos ellos compactados por vibración. Tal y como se indicó, la orientación de las fibras en las probetas push-off se realizaron con las mitades residuales de ensayos a flexo-tracción, por lo que la orientación de las fibras no es la óptima para soportar esfuerzos cortantes.

5. CONCLUSIONES

En relación al esfuerzo cortante en el HRF nos encontramos con la inexistencia de unanimidad a la hora de considerar adecuada la formulación de cálculo indicada por las normativas vigentes. Por tal motivo se realizó el presente estudio sobre HRF con fibras de acero o de poliolefina. Las probetas empleadas, tipo push-off, se obtuvieron mediante mecanizado de las mitades resultantes de probetas ensayadas previamente a flexo-tracción, por lo que se puede decir que se consiguió un estudio mecánico bastante completo del comportamiento de los diferentes hormigones. Las conclusiones más destacadas son:

- Los valores de máxima resistencia a cortante se encuentran asociados a la matriz de hormigón en el HRF con fibras de poliolefina. Sin embargo, si el refuerzo se realiza con fibras de acero pueden observarse mejoras en la resistencia máxima en relación a un hormigón sin reforzar.
- Un incremento de fibras de acero de 20 kg/m^3 (SCS70 frente a SCS50) puede suponer un aumento de un 42% en la resistencia máxima a cortante.
- Los valores de resistencia residual a cortante se encuentran asociados a la dosificación de las fibras. Para un deslizamiento a cortante de 1,5 mm la tensión residual que se produjo en el SCS50, con fibras de acero, es equivalente a la del VP6 con fibras de poliolefina, con un valor de 1,4 MPa. Para un deslizamiento a cortante de 1,5 mm la tensión residual del SCS70 fue superior en un 61% a la del SCS50 (20 kg/m^3 menos de fibras).
- El comportamiento mostrado por el HRF en los ensayos permite concluir que los procesos de fractura se producen con un incremento importante de la ductilidad y las probetas mostraron la posibilidad de que se produzcan deslizamientos a cortante de hasta 6 mm sin que se produzca el colapso.
- La comparativa entre los resultados analíticos y experimentales mostraron que las normativas resultan muy conservadoras para deslizamientos a cortante de 0,5 mm. A medida que ese deslizamiento aumenta los resultados experimentales y numéricos son equiparables. Para deslizamientos de 2,5 mm los resultados experimentales mostraron que, en hormigones autocompactantes elaborados para piezas a flexión, la orientación de las fibras puede no ser la más adecuada para soportar esfuerzos cortantes, por lo que las normas sobrevaloran la contribución de las fibras a la resistencia a cortante. Este fenómeno no se produjo en hormigones compactados por vibración.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero prestado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España a través del Proyecto PID2019-108978RB-C31. También agradecen la contribución de Sika SAU a través de la Cátedra Universidad-Empresa "Cátedra Sika-UPM".

7. REFERENCIAS

Alberti MG, Enfedaque A, Gálvez JC. Comparison between polyolefin fibre reinforced vibrated conventional concrete and self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. 2015;85:182-94.

Alberti MG, Enfedaque A, Gálvez JC, Pinillos L. Structural Cast-in-Place Application of Polyolefin Fiber-Reinforced Concrete in a Water Pipeline Supporting Elements. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*. 2017;8(4):05017002.

Alberti MG, Enfedaque A, Gálvez JC, Álvarez C. Using Polyolefin Fibers with Moderate-Strength Concrete Matrix to Improve Ductility. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2019;31(9):04019170.

Bencardino F, Rizzuti L, Spadea G, Swamy R. Experimental evaluation of fiber reinforced concrete fracture properties. *Composites Part B: Engineering*. 2010;41(1):17-24.

Cabo AD, Lázaro C, Ros PS. Construcción de la JCHYPAR, una lámina delgada de hormigón reforzado con fibras de acero, en el oceanográfico de Valencia. *Hormigón y acero*. 2003;228:177-86.

Conforti A, Trabucchi I, Tiberti G, Plizzari GA, Caratelli A, Meda A. Precast tunnel segments for metro tunnel lining: A hybrid reinforcement solution using macro-synthetic fibers. *Engineering Structures*. 2019;199:109628.

Conforti A, Ortiz-Navas F, Piemonti A, Plizzari GA. Enhancing the shear strength of hollow-core slabs by using polypropylene fibres. *Engineering Structures*. 2020;207:110172.

Cuenca E, Echegaray-Oviedo J, Serna P. Influence of concrete matrix and type of fiber on the shear behavior of self-compacting fiber reinforced concrete beams. *Composites Part B: Engineering*. 2015;75:135-47.

Dev A, Chellapandian M, Prakash SS. Effect of Macrosynthetic and Hybrid Fibers on Shear Behavior of Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars. *Journal of Bridge Engineering*. 2020;25(7):04020031.

di Prisco M, Plizzari G, Vandewalle L. Fibre reinforced concrete: new design perspectives. *Materials and Structures*. 2009;42(9):1261-81.

European Committee for Standardization C. Test Method for Metallic Fiber Concrete. Measuring the Flexural Tensile Strength (Limit of Proportionality (LOP), Residual); EN14651:2007+A1. 2007.

International Federation for Structural Concrete (fib). The fib Model Code for Concrete Structures 2010. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete; 2010.

Krassowska J, Kosior-Kazberuk M, Berkowski P. Shear behavior of two-span fiber reinforced concrete beams. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2019;19(4):1442-57.

López JA, Serna P, Camacho E, Coll H, Navarro-Gregori J. First ultra-high-performance fibre-reinforced concrete footbridge in Spain: design and construction. *Structural Engineering International*. 2014;24(1):101-4.

Ministerio de Fomento MF. Instrucción de hormigón estructural. EHE-08, 2008.

Ortiz-Navas F, Navarro-Gregori J, Leiva G, Serna P. Comparison of macrosynthetic and steel FRC shear-critical beams with similar residual flexure tensile strengths. *Structural Engineering and Mechanics*. 2020;76(4):491-503.

Picazo Á, Gálvez JC, Alberti MG, Enfedaque A. Assessment of the shear behaviour of polyolefin fibre reinforced concrete and verification by means of digital image correlation. *Construction and Building Materials*. 2018;181:565-78.

Picazo Á. Estudio experimental y numérico del comportamiento a cortante de hormigones reforzados con fibras de poliolefina y acero: Ph. D. Thesis, Technical University Madrid, Madrid, Spain.; 2020.

Yoo D-Y, Yuan T, Yang J-M, Yoon Y-S. Feasibility of replacing minimum shear reinforcement with steel fibers for sustainable high-strength concrete beams. *Engineering Structures*. 2017;147:207-22.

You Z, Chen X, Dong S. Ductility and strength of hybrid fiber reinforced self-consolidating concrete beam with low reinforcement ratios. *Systems Engineering Procedia*. 2011;1:28-34.

Caracterização de concretos com baixo consumo de cimento Portland

T.G. Cândido^{1*}, G. R Meira², M. Quattrone³, D. E. Angulo³, V. M. John³

*Autor de Contato: taissa.guedes@cemtec.org

¹ National Institute on Advanced Eco-Efficient Cement-Based Technologies, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

² National Institute on Advanced Eco-Efficient Cement-Based Technologies - Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil

³ National Institute on Advanced Eco-Efficient Cement-Based Technologies – Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

RESUMO

O setor da construção civil vem buscando alternativas para minimizar os seus impactos ambientais. Dentro deste contexto, busca-se a redução do consumo de cimento Portland no concreto. Isto se deve ao fato da indústria do cimento ser responsável por mais de 5% das emissões antropogênicas de CO₂. Este trabalho avaliou a resistência à compressão, a absorção de água e a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em concretos com consumos de cimento de 150 kg/m³ (C150), 250 kg/m³ (C250) e 350 kg/m³ (C350), este último usado como concreto de referência. Os resultados demonstraram que o concreto C250 apresentou o melhor desempenho mecânico, e ambos os concretos com menores teores de cimento obtiveram maior eficiência quanto ao uso de ligante em relação ao concreto de referência. Esses concretos também obtiveram menor teor de vazios e absorção de água, indicando sua menor porosidade.

Palavras-chave: Concreto sustentável; baixo teor de ligante; filer calcário; desempenho mecânico; durabilidade.

RESUMEN

El sector de la construcción civil ha buscado alternativas para minimizar sus impactos ambientales. En ese contexto, hay una búsqueda en reducir el consumo de cemento Portland en el hormigón. Esto se debe al hecho de que la industria del cemento es responsable por más del 5% de las emisiones antropogénicas de CO₂. Este trabajo evaluó la resistencia a compresión, la absorción de agua y velocidad de propagación de ondas ultrasónicas en hormigones con contenidos de cemento de 150 kg / m³, 250 kg / m³ y 350 kg / m³. Este último fue usado como hormigón de referencia. Los resultados mostraron que el hormigón C250 presentó el mejor desempeño mecánico y ambos los hormigones con menor contenido de cemento presentaron mayor eficiencia en el uso de del aglomerante en relación al hormigón de referencia. Estos hormigones también presentaron menor cantidad de vacíos y absorción de agua, lo que indica su menor porosidad.

Palabras clave: Concreto sostenible; bajo contenido de cementante; filer; desempeño mecánico; durabilidad.

ABSTRACT

The civil construction sector has been looking for alternatives to minimize its environmental impacts. Within this context, there is an aim to reduce the Portland cement consumption in concrete. This is due to the fact that the cement industry is responsible for more than 5% of the anthropogenic CO₂ emissions. This work evaluated the compressive strength, water absorption, and ultrasonic pulse velocity in concretes with cement contents of 150 kg/m³ (C150), 250 kg/m³ (C250), and 350 kg/m³ (C350), this last one was used as reference concrete. The results showed that the C250 concrete presented the best mechanical performance, and both concretes with lower cement contents obtained greater efficiency regarding the use of binder in relation to the reference concrete. These concretes also had lower void content and water absorption, indicating their lower porosity.

Key words: Sustainable concrete; low binder content; limestone filer; mechanical performance; durability.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil gera impactos ambientais em toda a sua cadeia produtiva. Ela é responsável por consumir mais da metade dos recursos naturais extraídos do planeta na produção e manutenção do ambiente construído. Após a extração, o processo industrial das matérias-primas utiliza energia e emitindo gases que contribuem ao efeito estufa. Além disso, ainda ocorrem perdas de materiais nas fases de transporte, comercialização e construção, gerando grandes volumes de resíduos sólidos (CBCS, 2014).

O concreto é o material de construção mais utilizado, e seu maior impacto ambiental vem da produção do cimento Portland, que gera aproximadamente 5% das emissões antropogênicas de CO₂ do mundo. Espera-se que essa parcela aumente, uma vez que a demanda por produtos à base de cimento deve se multiplicar por um fator de 2,5 nos próximos 40 anos e as estratégias tradicionais de mitigação de emissões, focadas na produção de cimento, não serão capazes de compensar esse crescimento (Damineli *et al.*, 2010; IPCC 2021). O aumento da demanda por materiais de construção exige uma maneira alternativa de desenvolver ou derivar materiais de construção de diferentes fontes (Smol *et al.*, 2015).

Nesse contexto, a redução do teor de clínquer no cimento e de cimento no concreto surge como uma estratégia pra mitigar suas emissões de CO₂. Esta redução tem efeitos positivos na avaliação

do ciclo de vida ambiental do concreto e pode ser alcançada pela otimização da mistura (Proske *et al.*, 2014). Porém, para manter suas características de sustentabilidade, o concreto com baixo teor de cimento deve ter suas propriedades mecânicas e de durabilidade semelhantes ou superior ao concreto convencional (Müller *et al.*, 2014).

A redução do teor do cimento Portland pode ser obtida substituindo parte desse cimento por finos como calcário, cinza volante ou escória. No entanto, deve-se priorizar o filer calcário devido a sua maior disponibilidade (Proske *et al.*, 2014).

O consumo de cimento é tradicionalmente expresso em massa de cimento por volume de concreto (kg/m^3). Porém, esta forma não tem relação com as características do concreto resultante (Rebmann e Liborio, 2013). Para melhor relacionar esse consumo de cimento com o desempenho do concreto, Daminieli *et al.* (2010) propôs um indicador de Intensidade Ligante (IL) que relaciona o consumo total de ligante do concreto, em kg/m^3 , com a resistência à compressão aos 28 dias, em MPa. Desta forma, ele indica o consumo de ligante necessário para produzir uma unidade de resistência. Daminieli *et al.* (2010) realizaram um levantamento na bibliografia nacional e internacional e avaliaram que o IL mínimo observado foi de aproximadamente $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}/\text{MPa}$, em concretos com resistência acima de 50 MPa. Para concretos com resistência abaixo de 50 MPa o IL mais comum foi em torno de $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}/\text{MPa}$. Apenas aproximadamente 2,2% dos concretos catalogados foram produzidos utilizando-se menos do que $250 \text{ kg}/\text{m}^3$ de ligantes totais. Isso é provavelmente devido aos teores mínimos de cimento estabelecido nas normas técnicas.

A redução do consumo de cimento não visa apenas garantir maior longevidade para as jazidas de matérias primas do cimento ou redução dos impactos ambientais com a exploração destas jazidas e da emissão do CO_2 . Um uso reduzido de cimento é também vantajoso sob alguns pontos de vista técnicos, como a retração e fluência do concreto (Rebmann, 2011).

Diante deste cenário, o objetivo deste artigo é apresentar a caracterização mecânica e das propriedades de absorção de concretos com baixo teor de cimento e elevado teor de filer calcário.

2. PROCEDIMENTO

2.1 Materiais

Os materiais utilizados nestes concretos foram agregados naturais, cimento CP – V ARI e dois tipos de filer calcário. As propriedades físicas dos finos estão apresentadas na Tabela 1. O tipo de cimento utilizado geralmente contém uma porcentagem de adições minerais (filder calcário). A quantidade de adição foi determinada por análise termogravimétrica (TG) do pó anidro. As curvas de Termogravimetria (TG) e Curva Diferencial de 1ª ordem (DTG) dos finos estão ilustradas nas Figuras 1-3 e as curvas granulométricas na Figura 4.

Tabela 1. Caracterização dos finos

Material	Massa específica (g/cm^3)	Área superficial - BET N_2 SSA (m^2/g)
Cimento CP-V	3,06	0,9655
Filer calcário - PF1	2,76	3,73
Filer calcário - PC5	2,74	1,16

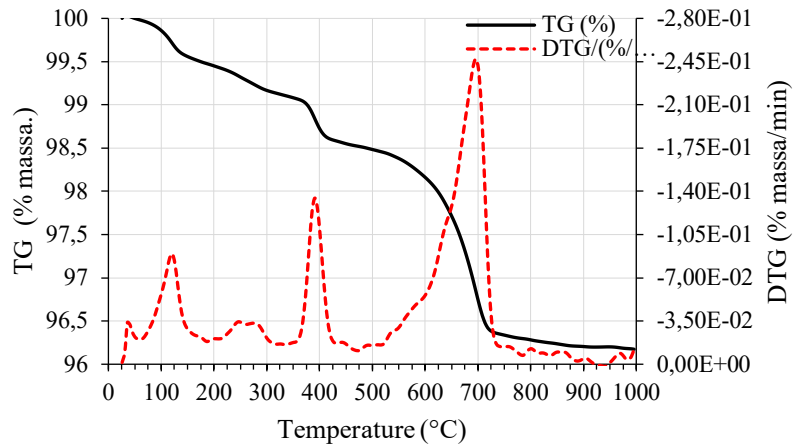


Figura 1. Termogravimetria (TG) e Curva Diferencial de 1ª ordem (DTG) do cimento anidro.

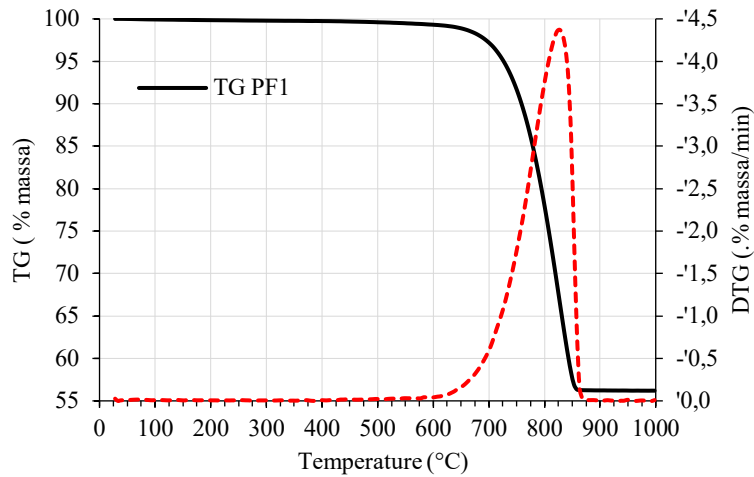


Figura 2. Termogravimetria (TG) e Curva Diferencial de 1ª ordem (DTG) do filer calcário PF1.

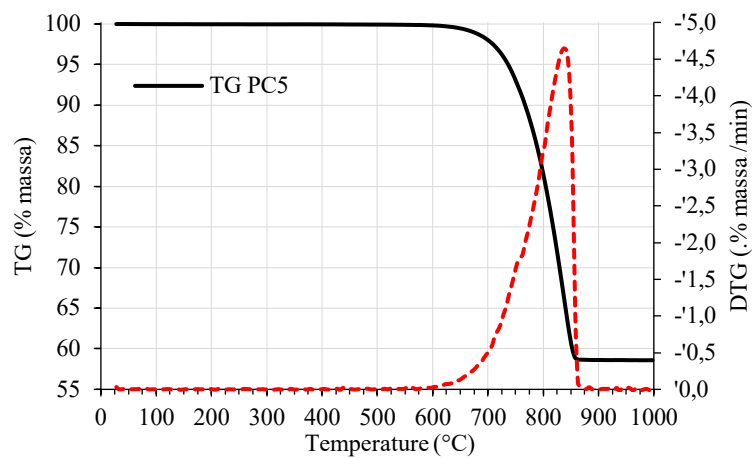


Figura 3. Termogravimetria (TG) e Curva Diferencial de 1ª ordem (DTG) do filer calcário PC5.

O resultado de TG do cimento mostra uma mudança de massa em torno de 2,2% (faixa de temperatura 540-900 ° C) correspondendo a uma quantidade de CaCO₃ próxima de 5%. Este resultado significa que o ligante é igual a 95% em peso do cimento anidro. Já o resultado de TG dos filers indicam que ambos podem ser considerados CaCO₃ puro; 98,72% para PF1 e 94,03% para PC5, respectivamente.

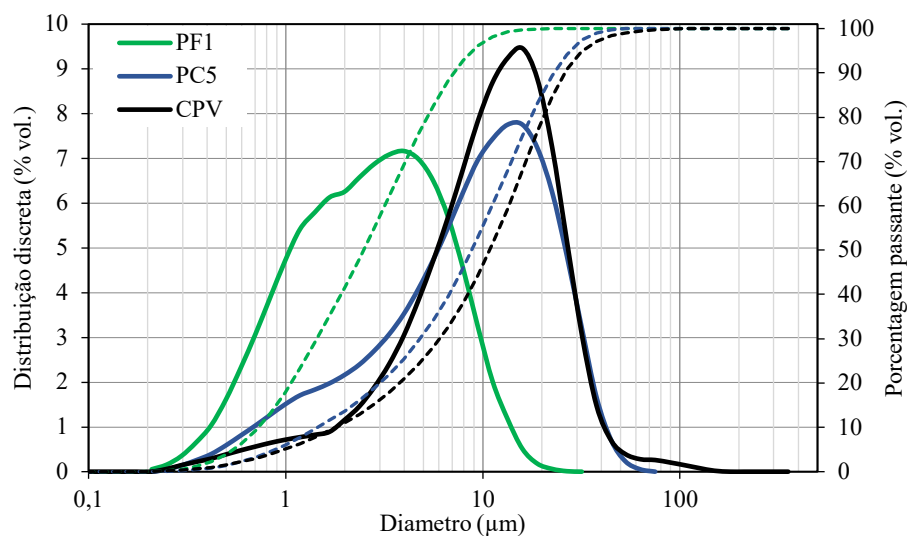


Figura 4. Distribuição granulométrica do cimento e dos filers; as linhas tracejadas indicam a porcentagem passante na peneira.

Pode-se perceber que foi utilizado um filer com curva granulométrica semelhante à do cimento, e um outro filer com partículas mais finas, e conseqüentemente, maior área superficial. Dessa forma, o cimento será parcialmente substituído por um filer com partículas de tamanho semelhante ao seu, e um outro filer mais fino que irá promover o empacotamento desses finos, reduzindo o teor de vazios.

Como agregados foram utilizados três areias e um cascalho. A caracterização destes materiais está apresentada na Tabela 2. A Figura 5 ilustra as curvas granulométricas destes materiais obtidas por análise de imagem dinâmica.

Tabela 2. Caracterização dos agregados

Material	Massa específica (g/cm ³)	VSA* (m ² /cm ³)	Dimensão máxima característica (mm)
Areia 1	2,63	0,5528	1,18
Areia 2	2,82	0,5826	1,18
Areia 3	2,74	0,0690	4,75
Pedrisco	2,74	0,0010	9,50

*calculado a partir da granulometria, assumindo partículas esféricas

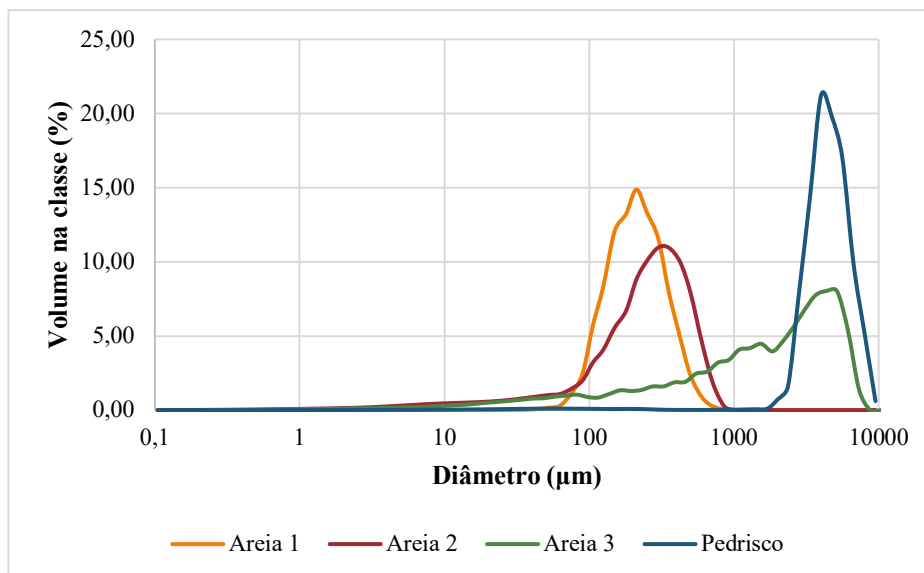


Figura 5. Curvas Granulométricas dos agregados

2.2 Produção dos concretos

Esta pesquisa se delimitou a trabalhar apenas com o cimento CP V – ARI sem adições. Foram confeccionados dois concretos com baixo consumo de cimento ($C = 250 \text{ kg/m}^3$ e $C = 150 \text{ kg/m}^3$) e um concreto de referência ($C = 350 \text{ kg/m}^3$). Tendo-se um total de três traços a serem avaliados, conforme apresenta a Tabela 3.

Tabela 3. Traços dos concretos avaliados

Material	C150	C250	C350
Cimento CP V - ARI (kg/m^3)	150,60	250,00	350,00
Filer calcário PF1 (kg/m^3)	139,85	147,01	0,00
Filer calcário PC5 (kg/m^3)	189,25	93,13	0,00
Areia 1 (kg/m^3)	248,21	248,21	260,30
Areia 2 (kg/m^3)	228,51	228,51	239,55
Areia 3 (kg/m^3)	776,12	776,42	814,03
Pedrisco (kg/m^3)	611,94	611,94	641,49
Água (kg/m^3)	164,13	179,03	188,85
Dispersante à base de policarboxilato (%)	0,298%	0,253%	0,214%
Relação água/cimento	1,09	0,72	0,54
Relação água/finos	0,34	0,37	0,54

Na produção dos concretos testes, foi verificado a necessidade de uma adaptação na sequência de mistura para que ocorra a melhor dispersão dos materiais usados, que é fundamental para aumentar o desempenho reológico das misturas cimentícias. Por isso, o procedimento de mistura desses concretos é diferente dos concretos convencionais, e foi realizado da seguinte forma:

- I. Umedecimento das paredes da betoneira;
- II. Colocação dos finos com o dispersante em pó e adição aos poucos da água, promovendo a sua mistura;
- III. Colocação de toda brita, promovendo a mistura com a pasta;
- IV. Colocação aos poucos da areia junto com o restante da água;
- V. Verificação da necessidade de adicionar mais aditivo e/ou água.

Em todo processo, verificou-se se a mistura estava ocorrendo de forma homogênea. No concreto fresco, a consistência foi medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone, segundo as recomendações da NM 67 (ABNT, 2020). Também foi realizado o ensaio de massa específica pelo método indicado na NBR 9833 (ABNT, 2008). Foram moldados corpos de prova de 10 cm x 20 cm. O concreto foi adensado utilizando uma mesa vibratória. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e, em seguida, colocados em cura em câmara úmida até a idade dos ensaios.

2.3 Caracterização do concreto

Apesar da resistência a compressão ser a propriedade mais importante no estudo do concreto, outros parâmetros também devem ser verificados quando se trata de sua durabilidade. Portanto, neste estudo, além dos ensaios de resistência à compressão, foram realizados ensaios de ultrassom, resistividade e absorção por imersão e por capilaridade.

2.3.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão seguiu as recomendações da NBR 5739 (NBR, 2007). Os ensaios foram realizados na idade de 28 dias, A Figura 6 ilustra a execução do ensaio.



Figura 6. Execução do ensaio de resistência à compressão

2.3.2 Ensaio de absorção por imersão e por capilaridade

Os ensaios de absorção foram realizados na idade de 28 dias. Foram avaliados três corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 5 cm em cada ensaio, que foram extraídos de CPs de 10 cm x 20 cm. O ensaio de absorção de água por imersão foi executado segundo as recomendações da ASTM C646-13, e o ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu as recomendações da ASTM C1585-13.

Na realização do ensaio de absorção de água por imersão, os corpos de prova foram colocados na estufa com temperatura de $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ por um período de 72 h. Após esse período, foram pesados e em seguida, colocados submersos em água a temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ por mais 72 h. Completada a saturação, os corpos de prova foram então postos em um recipiente cheio de água que foi levada à ebulição, permanecendo neste estado por 5 h. A seguir, deixou-se a água esfriar até a temperatura ambiente, quando a massa da amostra foi determinada com auxílio da balança hidrostática. Também se determinou a massa da amostra após enxugar sua superfície com um pano úmido. A partir dos resultados obtidos neste ensaio, foi possível determinar o índice de vazios, a absorção e a massa específica da amostra.

No ensaio de absorção de água por capilaridade, os corpos de prova foram secos em estufa a $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ por um período de 72 h. Em seguida, as amostras foram resfriadas até a temperatura ambiente, depois as superfícies laterais dessas amostras foram seladas e a superfície superior foi vedada com material plástico. Depois foram colocados sobre suportes, em um recipiente com nível da água até altura de 3 mm do fundo do corpo de prova (Figura 7). Os corpos de prova foram então retirados da água e enxugados com pano úmido para determinação da sua massa nos tempos de determinados pela norma.



Figura 7. Condição das amostras no ensaio de absorção por capilaridade.

2.3.3 Velocidade de propagação de onda ultrassônica

O ensaio de ultrassom foi realizado segundo o procedimento do método de ensaio da ASTM C 597-16. A partir dos resultados desse ensaio, determinou-se o módulo de elasticidade dinâmico do concreto aos 28 dias. Para a sua realização, foi utilizado o equipamento Pundit Lab. O arranjo de transmissão foi de forma direta, pois desta maneira as ondas são recebidas com mais intensidade. Portanto, os transdutores foram colocados em faces opostas, conforme ilustra a Figura 8.



Figura 8. Execução do ensaio de ultrassom

Este ensaio determina a velocidade de propagação da onda ultrassônica no corpo de prova de concreto. A frequência da onda foi de 54KHz. A velocidade de pulso, V , de ondas longitudinais numa massa de concreto está relacionada com as suas propriedades elásticas e sua massa específica. O módulo de elasticidade dinâmico pode ser obtido a partir da expressão da ASTM C 597-16 (Equação 1), isolando-se essa variável nesta equação.

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

Onde: E = módulo de elasticidade dinâmico; μ = coeficiente de Poisson dinâmico; ρ = massa específica do concreto.

3. RESULTADOS

3.1 Concreto fresco

As propriedades avaliadas no estado fresco dos concretos estão apresentadas na Tabela 4. Pode-se verificar que os concretos obtiveram valores de abatimento próximos, sendo o do C150 ligeiramente superior. Isso demonstra a possibilidade de reduzir o teor de cimento sem prejudicar a trabalhabilidade do concreto.

Tabela 4. Propriedades do concreto no estado fresco.

Propriedade	C150	C250	C350
Massa Específica (kg/dm ³)	2,417	2,325	2,293
Abatimento (cm)	24,0	21,5	21,5

3.2 Resistência à compressão

A Figura 9 ilustra os valores de resistência à compressão aos 28 dias dos concretos estudados. Observa-se que o concreto com consumo de cimento de 250 kg/m³ obteve o maior valor de resistência, sendo 38% superior à alcançada pelo C350. Esse por sua vez, apresentou resistência superior ao C150 em 20%.

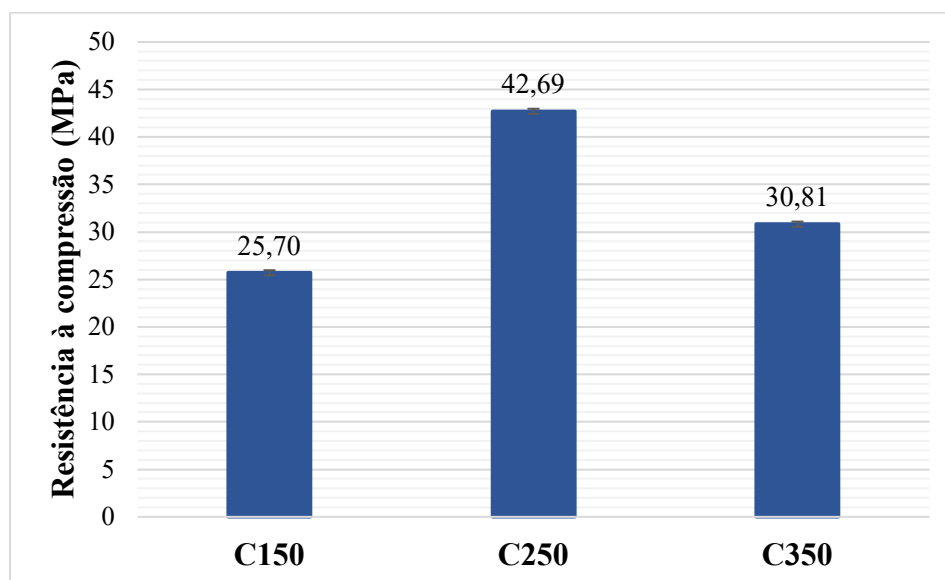


Figura 9. Resistência à compressão aos 28 dias

O indicador de Intensidade de Ligante (IL), proposto por Damineli (2010), relaciona o consumo total de ligante do concreto com a resistência à compressão. Este IL foi calculado para os concretos estudados e estão apresentados na Tabela 5. O consumo de ligante foi calculado considerando que o cimento é composto por aproximadamente 5% de CaCO₃, sendo, portanto, 95% de ligante, conforme resultados apresentados no ensaio de Termogravimetria (TG).

Tabela 5. Indicador de desempenho Intensidade Ligante

	C150	C250	C350
Resistência aos 28 dias (MPa)	25,7	42,7	30,8
Consumo de ligante (kg/m ³)	143	238	333
IL (kg.m ⁻³ .MPa-1)	5,6	5,6	10,8

Os valores do IL dos concretos com baixo consumo de ligante ficaram semelhantes e próximo ao mínimo encontrado na literatura, que são ligeiramente inferiores a 5 kg.m⁻³.MPa⁻¹. Já o concreto de referência apresenta valor dentro do intervalo mais comum, conforme pode ser visualizado na Figura 10. É possível perceber que, pelos dados da literatura, os menores valores de IL são para concretos de maiores resistências. Porém, conforme o resultado que obtivemos, fica evidenciado que é possível obter concretos mais eficientes em classes de resistências mais baixas.

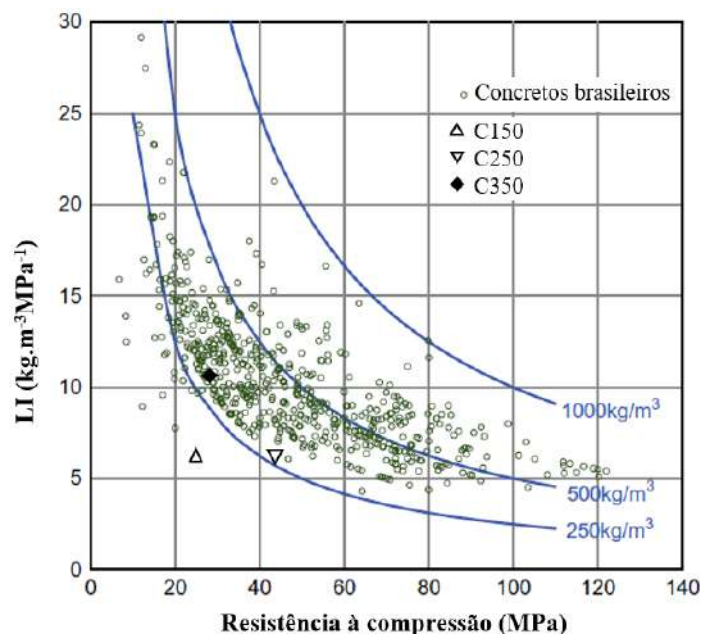


Figura 10. Intensidade Ligante *versus* Resistência à compressão aos 28 dias. Adaptado de Damineli *et al.*, 2010.

3.3 Absorção por imersão e por capilaridade

Os valores de massa específica real e da amostra seca, na idade de 28 dias, estão apresentados na Tabela 6. Os concretos com menores teores de cimento apresentam índice de vazios e de absorção próximos, como pode ser visualizado na Figura 11. Já o concreto de referência apresentou 60% de aumento no teor de vazios em relação aos concretos com baixo teor de ligante. Isso demonstra a contribuição das adições minerais no empacotamento da pasta, e conseqüentemente, no menor volume de vazios. O maior teor de vazios gerou também uma maior absorção de água no C350. Do ponto de vista de durabilidade, sabe-se que quanto menor for a porosidade do concreto, mais difícil será a entrada de agentes agressivos que podem desencadear a corrosão das armaduras. Portanto, devido ao seu baixo volume de vazios dos concretos C150 e C250, espera-se que esses concretos tenham uma durabilidade satisfatória.

Tabela 6. Massa específica dos concretos aos 28 dias.

Concreto	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)
C150	2,33	2,50
C250	2,27	2,43
C350	2,14	2,39

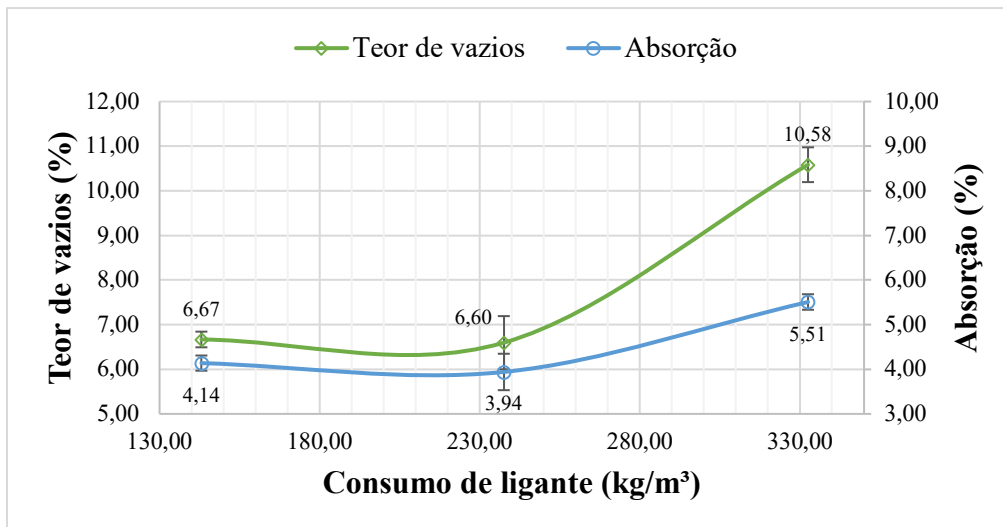


Figura 11. Teor de vazios e absorção dos concretos com diferente consumo de ligante.

Plotando-se um gráfico com os valores da absorção de água por capilaridade C (g/cm^2) em função da raiz quadrada do tempo, é possível verificar uma relação linear, ilustrando na Figura 12. A inclinação dessa curva pode ser tomada como o coeficiente de absorção capilar.

O coeficiente de absorção capilar do C150 e do C250 foi de $9,2 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{cm}^2\text{s}^{0,5}$ e $7,5 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{cm}^2\text{s}^{0,5}$, respectivamente. Já o de referência apresentou coeficiente mais elevado, no valor de $11,5 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{cm}^2\text{s}^{0,5}$. O maior coeficiente de absorção capilar do C150 em relação ao C250 pode ser justificado pela sua estrutura porosa, que possivelmente apresenta poros de menores diâmetros, favorecendo uma absorção capilar mais rápida. Já o coeficiente de absorção do C350 aproximadamente 49% superior ao C250, corroborando os resultados apresentados no ensaio de absorção por imersão que demonstrou que o seu teor de vazios que é muito mais elevado que os demais. Além disso, possivelmente sua estrutura porosa apresenta uma maior interconexão dos poros.

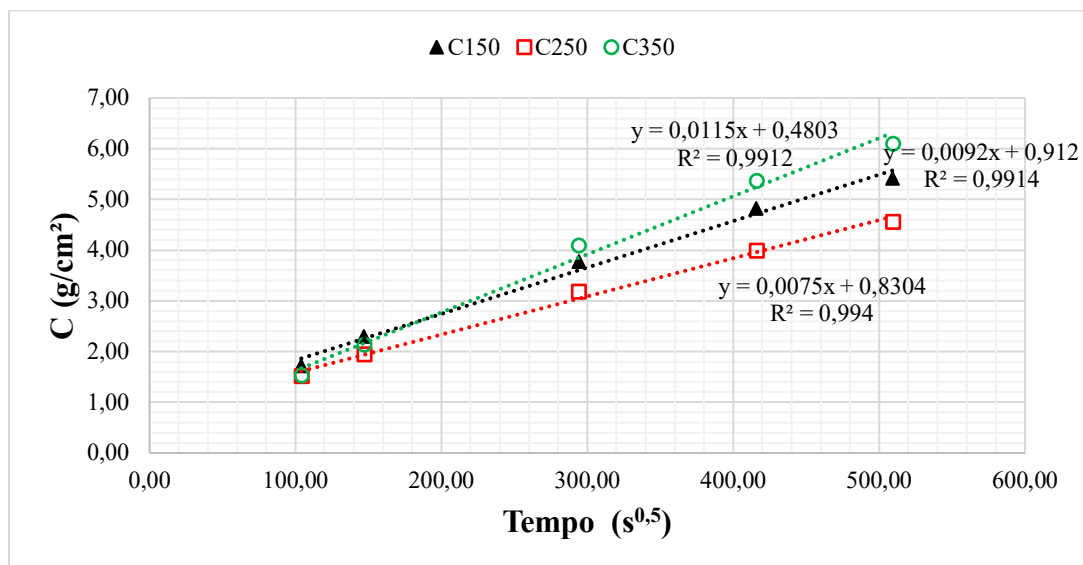


Figura 12. Absorção por capilaridade

3.4 Velocidade de propagação de onda ultrassônica

Os valores da velocidade de propagação da onda ultrassônica através do concreto estão apresentados na Tabela 7, bem como a classificação da qualidade do concreto devido a esse parâmetro, segundo a norma BIS 13311-92. O valor da velocidade do pulso no C250 foi superior em 1,2% em relação ao C150, e em 4,8% em relação ao concreto de referência. Comparando os valores de velocidade de pulso obtidos neste estudo com os valores de velocidade de pulso dados na BIS: 13311-92, a qualidade dos concretos com baixo teor de cimento pode ser classificada como excelente, e o concreto de referência, com qualidade boa. Esses resultados indicam que a qualidade das misturas de concreto com filer calcário em termos de densidade, homogeneidade e uniformidade foi boa. Isso está de acordo com o resultado de absorção e teor de vazios, comprovando que a otimização granulométrica nos finos, juntamente com a redução do fator água/ligante e uma dispersão das partículas finas, interfere na estrutura porosa, com possíveis modificações na sua distribuição, diâmetro e interligações.

Tabela 7. Classificação da qualidade do concreto de acordo com a velocidade do pulso

Concreto	Velocidade do pulso ultrassônico (m/s)	Classificação da qualidade do concreto de acordo com a norma BIS 13311-92	
	28d	Velocidade do pulso (m/s)	Qualidade do concreto
		> 4500	Excelente
C150	4591,54	3500 - 4500	Boa
C250	4646,83	3000 - 3500	Média
C350	4435,47	< 3000	Duvidosa

O módulo de elasticidade dinâmico foi obtido, indiretamente, por meio do ensaio de Ultrassom e está ilustrado na Figura 13. Apesar do C350 apresentar resistência à compressão superior ao C150, o seu valor de módulo de elasticidade foi inferior. Isso se deve à maior densidade do C150 alcançada devido à otimização de sua pasta.

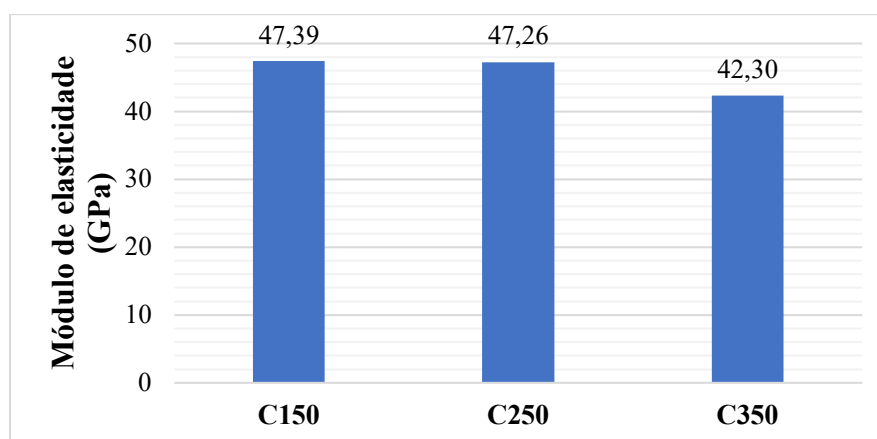


Figura 13. Módulo de elasticidade aos 28 dias.

4. CONCLUSÕES

Dos resultados apresentados nesse estudo, pode-se concluir:

1. O concreto com consumo de cimento de 250 kg/m³ apresentou a resistência à compressão superior ao concreto de referência, com consumo de cimento de 350 kg/m³. Já o concreto com teor de cimento de 150 kg/m³, apesar do menor valor de resistência mecânica, sendo 17% inferior ao de referência, obteve a melhor eficiência medida pelo indicador IL. Portanto, foi verificado que é possível produzir concretos de classe de resistência mais baixa com IL próximos aos mais eficientes encontrados na literatura.
2. Os concretos eco eficientes, C150 e C250, apresentaram características de menor absorção de água e menor teor de vazios do que o concreto de referência. É possível, portanto, que os concretos otimizados apresentem maior durabilidade do que o C350.
3. Apesar da maior resistência à compressão do C250 em relação ao C150, os valores próximos de teor de vazios demonstram que é possível elaborar concretos com diferente resistência mecânica, mas semelhante porosidade, mesmo com consumo de material ligante distintos.
4. Os menores valores de coeficiente de absorção capilar em relação ao C350 indicam que a otimização da pasta, utilizando o filer calcário, interfere na estrutura porosa do concreto, favorecendo para redução de volume de poros e possivelmente, menores interconexões.
5. A velocidade de propagação de ondas ultrassônicas nos concretos demonstrou a contribuição do empacotamento dos finos na qualidade do concreto. Os concretos C150 e C250 foram classificados como concretos de qualidade excelente, enquanto o concreto de referência foi classificado como qualidade boa.
6. A redução do consumo de cimento Portland no concreto é possível, desde que seja realizada uma otimização da pasta, com uso de filer calcário, dispersantes e adequada relação água/ligante. O concreto com menor teor de cimento pode apresentar melhor desempenho mecânico e de durabilidade, além de ter vantagens ambientais importantes no atual contexto de sustentabilidade.

5. AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa é parte do projeto CEMtec- National Institute on Advanced Eco-Efficient Cement Based Technologies, apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo 485340/2013-5) e pela Fundação de Apoio à Pesquisa de São Paulo (FAPESP) (Processo 14/50948-3 INCT/2014). Agradecemos ao Laboratório de Microestrutura e Ecoeficiência (LME) da USP, ao Grupo de Pesquisa de Materiais de Construção e Resíduo (GMAT) do IFPB e ao Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME) pelo apoio técnico oferecido.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas (1998). *NBR NM 67: Concreto- Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (2008). *NBR 9833: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (2007). *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Bureau of Indian Standards (1991). *BIS-11331: Indian Standard Specification for Non-destructive Testing of Concrete: Part-1 Ultrasonic Pulse Velocity*. New Delhi, India.

ASTM International (2002). *ASTM C597-02. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*.

ASTM International (2013). *ASTM C646-13. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*.

ASTM International (2013). *ASTM C1585-13. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*.

Conselho Brasileiro De Construção Sustentável (2014). "*Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: Subsídios para a promoção da Construção Civil Sustentável*"

Damineli, B. L.; Kemeid, F. M.; Aguiar, P. S.; John, V. M. (2010), Measuring the eco-efficiency of cement use. *Cement and Concrete Composites*, v. 32, n. 8, p. 555–562.

Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC (2021), Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Müller, H. S.; Breiner, R.; Moffatt, J. S.; Haist, M (2014), Design and Properties of Sustainable Concrete. *Procedia Engineering*, v. 95, p. 290–304.

Proske, T.; Hainer, S.; Rezvani, M.; Graubner, C (2014). A. Eco-friendly concretes with reduced water and cement content – Mix design principles and application in practice. *Construction and Building Materials*, v. 67, p. 413–421.

Rebmann, M. S. (2011), "*Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência*." Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

Rebmann, M. S.; Liborio, J. B. L. (2013), Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento. *Concreto & Construções*, n. 71.

Smol, M.; Kulczycka, J.; Henclik, A.; Gorazda, K.; Wzorek, Z.(2015) The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, v. 95, p. 45–54.

Análise Exploratória de Dados de Dosagens para modelos de previsão e estimativas de resistências à compressão de Concretos Autoadensáveis

D. Targino^{1*}, I. Sousa¹, I. Freitas¹, A. Dantas¹, L. Babadopulos¹

*Autor de Contato: daniellira@alu.ufc.br

¹ Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.

ABSTRACT

Machine learning models are capable of estimating strength parameters in concrete with high accuracy. For any of these, an initial exploratory analysis of the dataset is highly recommended, with investigation of their influence on the property or characteristic to be estimated, as well as their correlations. This study presents this analysis for a set of 505 concrete mixtures, containing consumption of raw materials, additives and additions, including specific masses of the basic material. As a result, in addition to the expected basic relationships, others not so explicit were evidenced, such as the strong influence of some specific masses on the compressive strength. Given the strong relationship of the characterization parameters, its need for the construction of more refined models, with application in different sources of inputs, is evidenced.

Key-words: exploratory data analysis; concrete mixtures; machine learning models; materials characterization.

RESUMO

Modelos de aprendizado de máquina possuem capacidade de estimar parâmetros de resistência em concretos com elevada precisão. Para qualquer destes é recomendado uma análise exploratória inicial dos dados de entrada, com investigação da influência desses na característica a ser estimada, bem como suas correlações. O presente estudo apresenta essa análise para um conjunto de 505 dosagens, contendo consumos de insumos básicos, aditivos e adições, além das massas específicas desses primeiros. Como resultado, além das relações básicas esperadas, outras não tão explícitas foram evidenciadas, como a forte influência de algumas massas específicas na resistência à compressão. Visto a forte relação dos parâmetros de caracterização, é evidenciada sua necessidade para a construção de modelos mais refinados, com aplicação em diferentes origens de insumos.

Palavras-Chave: análise exploratória de dados; dosagens de concretos; modelos de aprendizado; caracterização de materiais.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o segundo material mais consumido no mundo (MONTEIRO; MILLER; HORVATH, 2017), com inúmeras adaptações na formação de seu compósito para atender às variadas demandas e aplicações desse material. O concreto convencional pode ser caracterizado pelos consumos de seus materiais, seja cimento, areia, brita e água, podendo também conter adições que contribuam para um desempenho superior (ABREU, 1998), resistindo principalmente a esforços de compressão.

Na tentativa de suprimir a necessidade de vibração do concreto após lançamento, foram O concreto é o segundo material mais consumido no mundo (MONTEIRO; MILLER; HORVATH, 2017), com diversas adaptações na formação de seu compósito para atender às variadas demandas e aplicações. O concreto convencional pode ser caracterizado pelos consumos de seus materiais, seja cimento, areia, brita e água, podendo também conter adições que contribuam para um desempenho superior (ABREU, 1998), resistindo principalmente a esforços de compressão.

Na tentativa de suprimir a necessidade de vibração do concreto após lançamento, foram desenvolvidas no Japão na década de 1980, as primeiras formulações de concreto autoadensável (BELALIA DOUMA et al., 2017), material este com capacidade de adensamento sobre o próprio peso, além de possuir em seu estado fresco elevada fluidez, habilidade passante entre ferragens e resistência à segregação (COSTA; CABRAL, 2019; KONERU; GHORPADE, 2019).

No processo de dosagem, a determinação dessas e outras características ocorre também por métodos de tentativa e erro (SHI et al., 2015), o que é responsável por processos mais demorados e maiores custos. Para o concreto autoadensável, esse passo é ainda mais complexo, em função de requisitos no estado fresco. Nesse panorama, gerar conhecimento a partir de dosagens prévias é uma das metodologias mais utilizadas, sendo que esse problema pode ser adaptado a estudos de outras áreas do conhecimento, como *data science* e *machine learning* da tecnologia da informação.

Inteligência artificial (IA) tem sido objeto de vários estudos e aplicações nos últimos anos, principalmente devido à sua potencialidade, desde detecção de fraudes em sistemas de pagamento (RYMAN-TUBB; KRAUSE; GARN, 2018; YAZICI, 2020) até diagnóstico de COVID-19 em imagens de raios-x (BORKOWSKI, 2020; SALMAN et al., 2020), onde para a implementação de algoritmos ou modelos de aprendizado, até mesmo outras metodologias estatísticas, é necessário o tratamento e análise dos dados a serem processados através da técnica de análise exploratória de dados (AED).

Para um bom entendimento do comportamento da amostra de dados é necessária a utilização de técnicas que permitam a visualização do conjunto de dados (*dataset*) sobre diferentes perspectivas, podendo ocorrer através da análise descritiva da base de dados, análise gráfica, por meio de diagramas, histogramas ou outros gráficos pertinentes e metodologias específicas de análises de correlações, como a metodologia da correlação de Pearson, sendo que o intuito é de demonstrar correlações e dependências não percebidas inicialmente.

Dessa forma, o presente estudo se propõe a realizar uma AED em um banco de dados de 505 instâncias de dosagens de concretos autoadensáveis, onde cada instância possui atributos relativos a consumos de materiais básicos, aditivos e adições, quando utilizados, juntamente aos

dados de caracterização de massa específica dos materiais básicos. Dados de consumos são mais comuns em processos de implementação de modelos de aprendizados para dosagens de concretos, nesse caso pretende-se particularmente avaliar a correlação entre os parâmetros de caracterização dos materiais com a resistência à compressão, juntamente às análises cruzadas entre os mesmos. Essa análise e organização de dados é uma contribuição deste trabalho que será continuada em trabalhos futuros, com implementações de diferentes IA e a avaliação de suas performances.

2. METODOLOGIA

A metodologia é dividida de tal forma em que cada seção abordará um processo específico da metodologia geral apresentada na Figura 01.

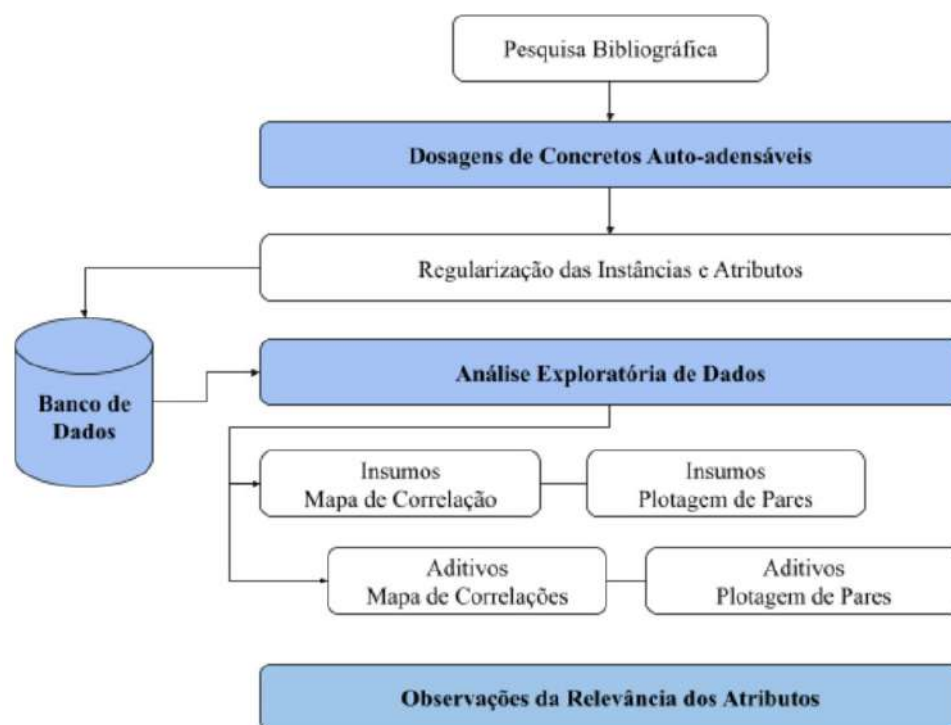


Figura 01. Fluxograma da Metodologia. Autor, 2021.

2.1 Banco de Dados, Atributos das Instâncias e Variáveis Resultados

A coleta de dosagens para o banco de dados foi feita por meio da pesquisa bibliográfica em artigos científicos e dissertações, nacionais e internacionais sobre concretos autoadensáveis (CAA). Por cada instância entende-se como uma dosagem de concreto, com os dados de consumo de cimento, areia, brita, água, aditivos e adições. O resumo dos artigos utilizados é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Resumos bibliografias utilizadas no banco de dados. Autor, 2021.

Referência	Número de Instâncias	Autor
1	123	(KONERU; GHORPADE, 2019)
2	28	(TUTIKIAN, 2004)
3	8	(BENAICHA et al., 2019)
4	69	(ABU YAMAN; ABD ELATY; TAMAN, 2017)
5	114	(BELALIA DOUMA et al., 2017)
6	15	(BASU; GUPTA; AGRAWAL, 2020)
7	12	(FERREIRA; RIBEIRO, 2018)
8	3	(ALMEIDA FILHO et al., 2008)
9	3	(ALESSANDRO ALMEIDA DINIZ et al., 2018)
10	65	(GÜNEYISI; GESOLU; ÖZBAY, 2010)
11	12	(JALAL; MANSOURI, 2012)
12	10	(RAMANATHAN et al., 2013)
13	10	(SUKUMAR; NAGAMANI; SRINIVASA RAGHAVAN, 2008)
14	10	(BOUZOUBAÂ; LACHEMI, 2001)
15	9	(BOEL et al., 2007)
16	7	(NEHDI; PARDHAN; KOSHOWSKI, 2004)
17	7	(BINGÖL; TOHUMCU, 2013)
Total	505	

Os dados de entradas foram divididos em três categorias principais: consumo de materiais básicos (cimento, areia, brita e água), consumo de aditivos e adições (sílica ativa, plastificantes, dentre outros) e os dados de caracterização das resistências (compressão axial, tração, flexão e módulo de elasticidade). Foi necessário um tratamento inicial dos dados devido à alta heterogeneidade de apresentação destes, visto que é usual que consumos sejam apresentados como fator ou como percentual em relação à massa de outro material. Dessa forma, neste processo, todas as instâncias foram convertidas para unidades de consumo de material em massa por volume de concreto, bem como suas unidades de massa específica.

Ao final, o banco de dados utilizado compreendeu um total de 505 instâncias de dosagens de concretos auto adensáveis, com 18 atributos cada, características de consumo de materiais e massas específicas, sem valores faltantes, medidos em unidade de quilograma por metro cúbico (kg/m^3), resistências em megapascal (MPa)

2.2 Análise Exploratória Inicial

Nesta etapa pretende-se investigar correlações entre parâmetros não percebidos inicialmente no *dataset*. Essa metodologia possui alguns gráficos para facilitar o processo de verificação dessas correlações, como ilustrações de mapa de calor (*heatmap*), plotagem de pares cruzadas (*pairplots*), gráficos de pontos ponderados (*weighted scatterplot*), dentre outros. Cada um desses possui a capacidade de demonstrar tendências específicas, em relação a uma fatia específica do dataset, não percebidas inicialmente. Correlações positivas indicam relação direta, consequentemente, as negativas relações inversas ou destrutivas.

Nas correlações de Pearson (*heatmap*) essa dinâmica é facilmente visualizada, através dos coeficientes gerados, já nos *pairplots* é possível observar a distribuição e disposições entre os diferentes atributos, enquanto no *weighted scatterplot* é possível correlacionar, agrupar e distribuir mais de três dimensões de variáveis, com visualização e comportamento e agrupamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 02 apresenta o mapa de calor para atributos dos materiais básicos e resistência à compressão. O mesmo utiliza a correlação de Pearson, implementada na biblioteca *Seaborn* para Python. Os valores estão normalizados, variando entre -0,68 a 0,67, adimensional.

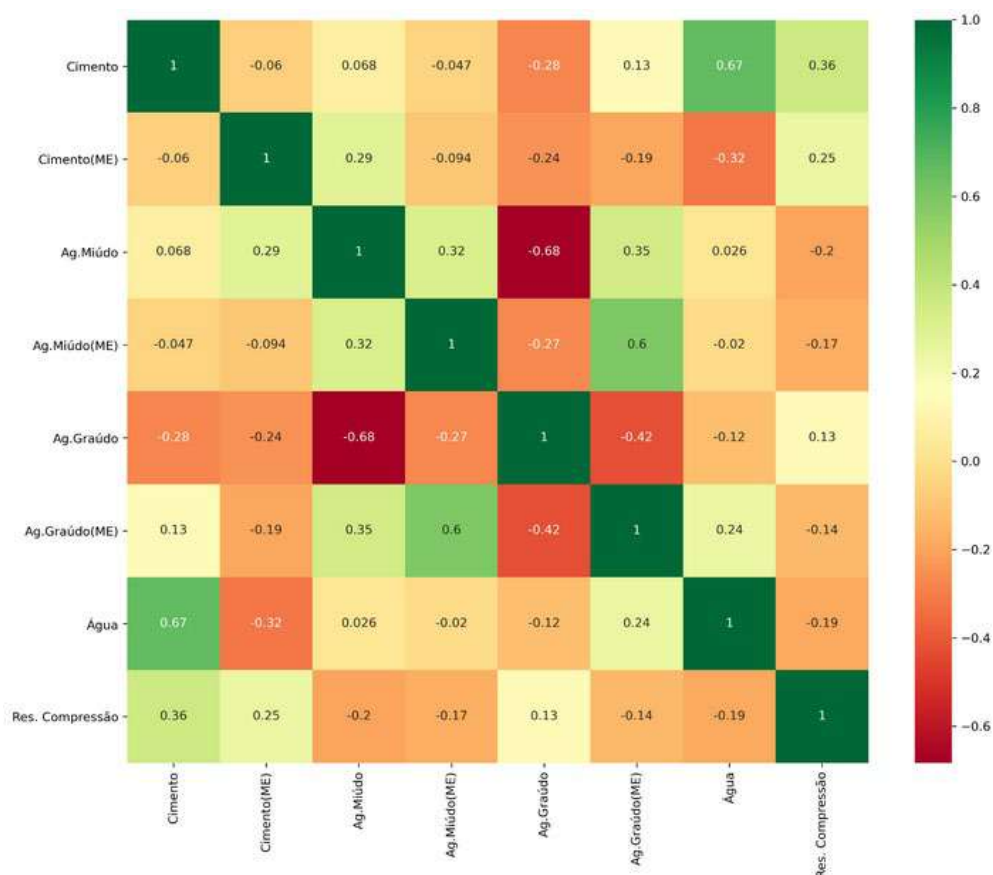


Figura 02. Heatmap de correlação entre atributos de materiais básicos e resistência. Autor, 2021.

Analisando as influências dos atributos na resistência à compressão, é possível observar a correlação positiva do consumo de cimento (0,36), seguido por sua respectiva massa específica (0,25), sendo também influenciada pelo consumo do agregado graúdo (0,13). A influência da massa específica do cimento Portland é um aspecto não tão abordado em processos de dosagem. Pelas correlações observadas é possível inferir que cimentos de maior massa específicos terão maior contribuição para a resistência. A respeito do consumo de agregado graúdo, a análise evidencia forte relação frente aos demais insumos, o que possui bom embasamento teórico, tendo em vista que ocupa um volume elevado dentro do compósito e possui elevada resistência à compressão.

Os demais componentes apresentaram correlação negativa, valendo ressaltar que tanto o consumo de agregado miúdo quanto o consumo de água apresentaram correlações negativas da ordem de -0,20. A relação do consumo de água é algo já esperado, tendo em vista a influência do fator água-cimento, contudo relativo ao consumo do agregado miúdo é outro ponto a se ressaltar, pois tanto seu consumo quanto o aumento de sua massa específica (correlação de -0,17) possuem correlação negativa com o aumento da resistência.

Analisando as correlações entre os atributos é perceptível que a maior correlação positiva ocorre entre os consumos de água e cimento (0,67), o que pode ser explicado pelo aumento da demanda de água necessária à hidratação do cimento, onde ambos valores estão diretamente relacionados à resistência final. Em segundo é observado as maiores relações das massas específicas dos agregados miúdo e graúdos (0,60), explicado pelas relações de densidade. Em contrapartida, a maior correlação negativa ocorre em relação aos consumos desses últimos insumos em si (-0,68), explicado pela tendência de preenchimento dos volumes internos de ambos os materiais, e relação entre a massa específica e consumo do graúdo (-0,42).

A Figura 03 apresenta o mapa de calor para atributos dos aditivos, adições e resistência à compressão. Os coeficientes estão normalizados, variando entre -0,25 a 0,39.

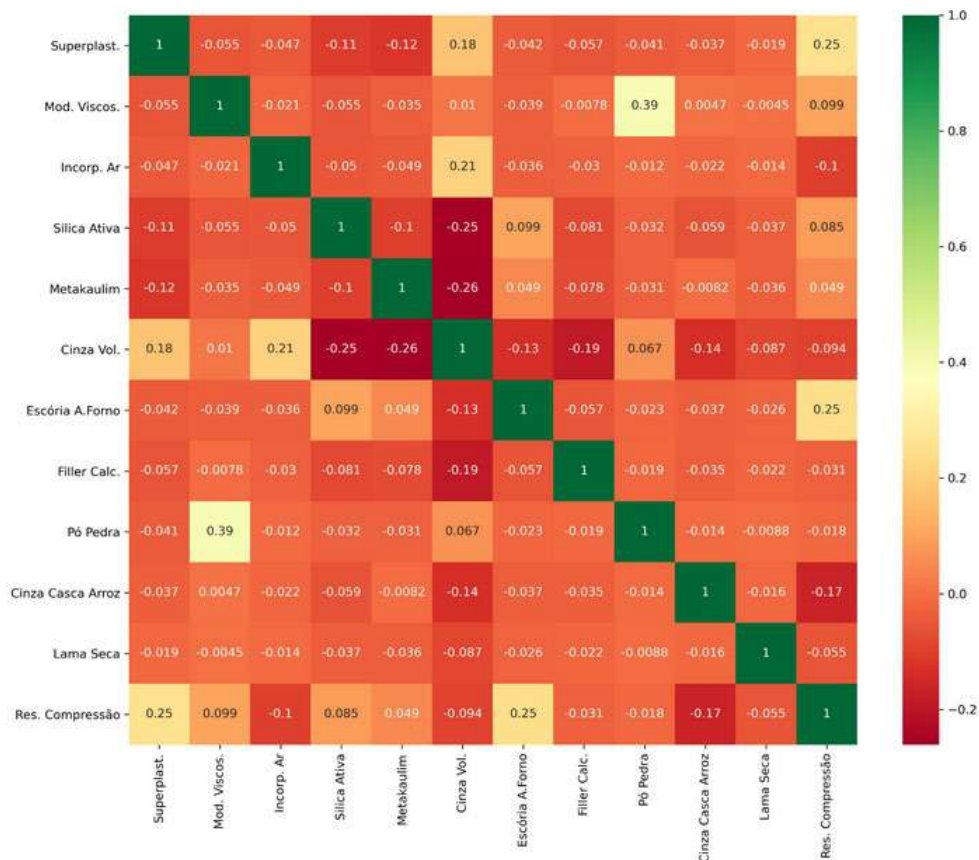


Figura 03. Heatmap de correlação entre atributos de aditivos, adições e resistência. Autor, 2021.

Analisando as influências na resistência à compressão, é possível observar a maior correlação positiva do consumo de superplastificante (0,25), juntamente ao consumo de escória de alto forno (0,25). O consumo de superplastificante permite reduzir o fator água-cimento contribuindo para a trabalhabilidade no estado fresco, influenciando diretamente a resistência. De forma similar, a escória de alto-forno possui propriedades pozolânicas, logo sua adição ao compósito deverá contribuir para o incremento da resistência. Os atributos do modificador de viscosidade, sílica ativa e metacaulim obtiveram correlações menores, porém com contribuições positivas, enquanto todos os demais foram negativos, em especial a cinza de casca de arroz com a contribuição mais negativa (-0,17).

Analisando as correlações entre os atributos é perceptível que a maior correlação positiva ocorre entre os consumos de pó de pedra e modificador de viscosidade (0,39), seguido pelo consumo de cinza volante e incorporador de ar (0,21) e superplastificante (0,18). Em geral, as relações acima evidenciam interferências direta entre consumos, onde o aumento do consumo das adições (pó de pedra e cinza volante) irão demandar o aumento do consumo desses aditivos em específico (modificador de viscosidade, incorporador de ar e superplastificante)

Em contrapartida, a maior correlação negativa ocorre em relação ao consumo da cinza em comparação à sílica ativa (-0,68), o que pode ser explicado pela similaridade de função que ambos possuem, de maneira que o aumento de consumo de uma parte deverá reduzir o outro consumo.

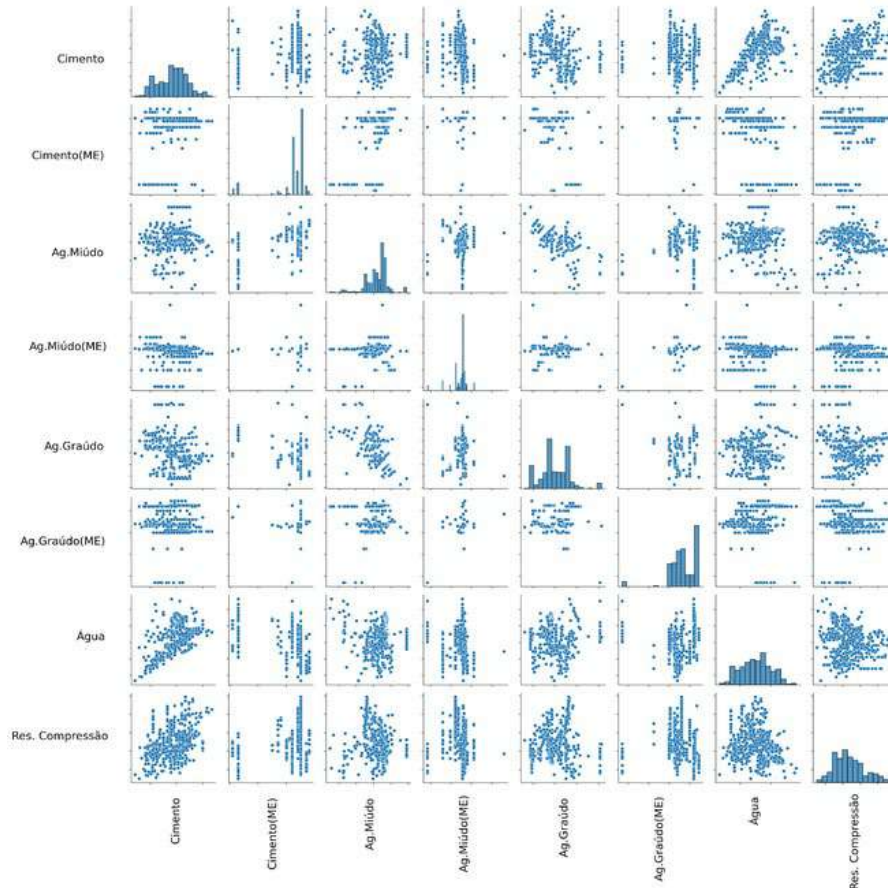


Figura 04. *Pairplot* de correlação entre materiais básicos e resistência. Autor, 2021.

A Figura 04 apresenta o *pairplot* com a correlação entre os materiais básicos e a resistência à compressão. Os gráficos apresentam as combinações dois a dois de cada atributo em acréscimo à variável de saída.

O comportamento observado dos dados é bastante heterogêneo. Na diagonal principal é apresentada as distribuições de dados dos atributos. Os pares consumo de cimento versus consumo de água e resistência compressão apresentaram distribuições próximas à uma tendência linear, indicando boa correlação. Analisando a distribuição dos dados de massa específica dos agregados é percebido que existe uma alta concentração entre diferentes dosagens, evidenciando uma similaridade dos processos de formação e obtenção desses materiais. O mesmo é observado na caracterização de massa específica dos cimentos utilizados.

A Figura 05 evidencia o pairplot com a correlação entre os aditivos, adições e resistência à compressão. Os valores estão normalizados e mostram o comportamento dos dados dispostos no gráfico.



Figura 05. *Pairplot* de correlação entre atributos de aditivos, adições e resistência. Autor, 2021.

O segundo pairplot apresenta a heterogeneidade similar ao primeiro gráfico, com comportamentos mais singulares. Em linhas gerais é possível perceber que as dosagens do banco de dados analisado tendem a abordar apenas um parâmetro de aditivo ou adição por grupo de dosagem. Essa tendência é observada pela alta concentração de dados próximos aos eixos x e y. Os gráficos que obtiveram maiores dispersões ao longo dos eixos foram os relativos aos aditivos mais comumente utilizados, como superplastificantes, sílica ativa e filler calcário, o que indica a presença desses em conjunto à análise de outras adições na literatura e dataset analisados

A Figura 06 indica uma correlação entre diferentes insumos do concreto auto adensável e a resistência à compressão.

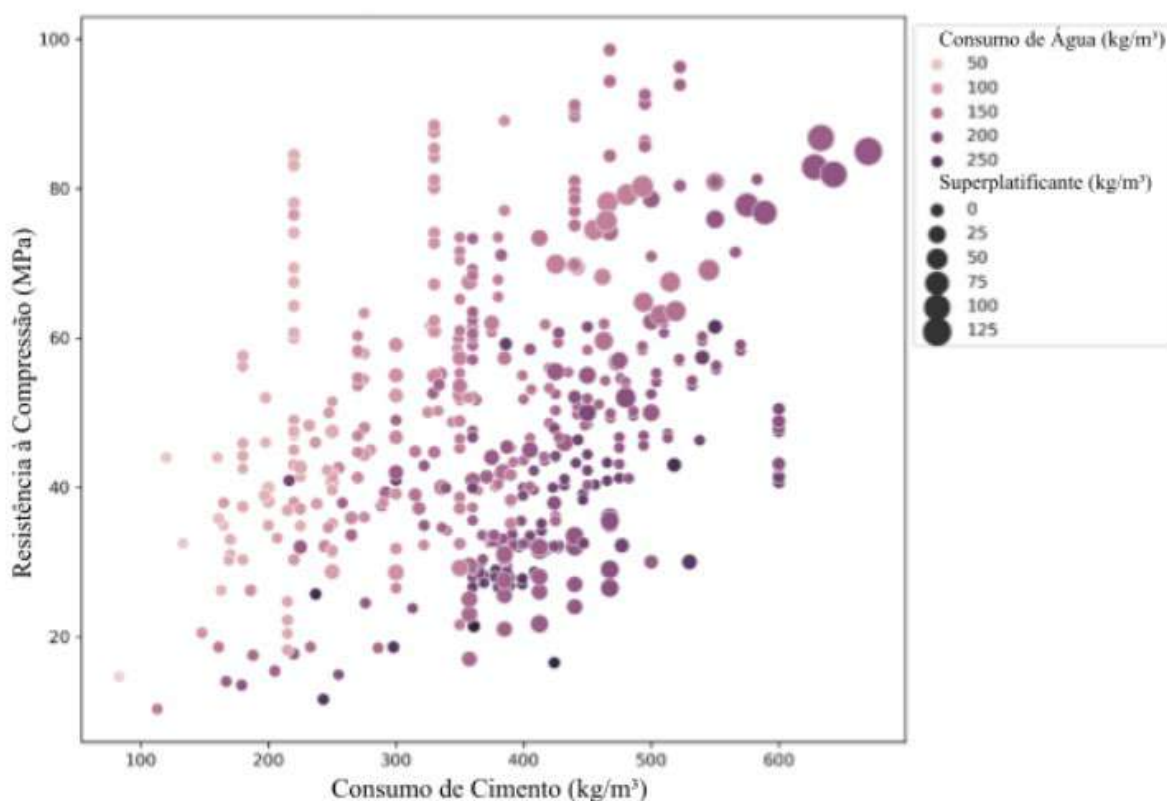


Figura 06. Consumo de cimento, água, plastificante versus resistência à compressão. Autor, 2021.

Na Figura 06, percebe-se que à medida que ocorre o aumento do consumo de cimento, ocorre também uma tendência ao aumento da resistência à compressão, onde a maior densidade de dados de alta resistência (acima de 50 MPa) está localizada entre os intervalos de 400 kg/m³ e 500 kg/m³ de consumo desse primeiro.

Da mesma forma, é evidenciada a relação entre o consumo de água e a resistência, indicando uma tendência à obtenção de maiores valores de resistência relacionados ao consumo baixo e intermediário de água, entre 50 kg/m³ e 150 kg/m³, ao passo que para maiores valores do seu consumo, observa-se uma menor resistência.

Já quanto à utilização de superplastificante, observa-se uma tendência à maior utilização desse aditivo para maiores quantidades de consumo de cimento, como observado nos valores superiores a 600 kg/m³ e na faixa de 450 kg/m³ de consumo desse insumo.

A resistência à compressão dos concretos dispostos no banco de dados tem sua curva de distribuição apresentada na Figura 07.

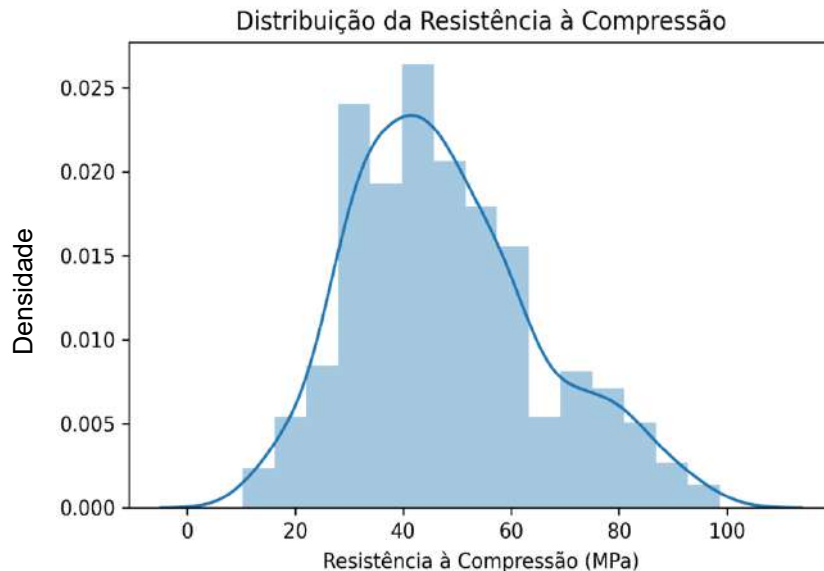


Figura 07. Curva de distribuição da resistência à compressão do banco de dados. Autor, 2021.

Portanto, percebe-se através da curva de distribuição, uma tendência à obtenção de concretos com a resistência média de 47,92, com desvio padrão de 17,51, variando de 10,30 à 98,60 MPa. O total de instâncias com resistência superior a 50 MPa possuem uma menor densidade de amostras distribuídas no banco de dados, sendo as maiores incidências nas faixas de 35 e 45 MPa.

4. CONCLUSÕES

A análise estatística exploratória inicial correlacionou os dados que possuem sentido físico nas propriedades observados no processo de dosagem (Figuras 02 e 03), como a influência do fator água-cimento na resistência, relação de consumo dos agregados, aumento na resistência por influência dos materiais pozolânicos, dentre outros.

A análise de dados acima demonstra uma forte relação não só dos consumos, como também das caracterizações dos materiais utilizados. Esse dado se faz relevante a processos de análises e modelos de aprendizado devido à alta variabilidade de materiais que podem ser empregados na elaboração de compósitos estruturais.

A exemplo, é possível perceber, pelas análises aqui executadas, a influência da massa específica do cimento na resistência à compressão, juntamente à influência positiva do consumo dos agregados graúdos, cogitando a possibilidade de formulações de dosagens maximizando esses dois atributos em específico.

Sobre a ótica dos aditivos e adições, é possível perceber a influência cruzada apenas dos itens mais básicos (Superplastificantes, Modificadores e Sílica). Nas análises bibliográficas utilizadas foi verificado que cada artigo ou bibliografia se dedica basicamente à um ou outro item de forma isolada, o que é algo positivo para investigação da influência do item investigado, contudo, deixando aquém a correlação entre diferentes aditivos e adições.

Os métodos de dosagens de concretos atuais, ainda são dependentes de validações e testes em laboratório, com os respectivos ajustes. Com base nas correlações aqui dispostas já é possível estimar influências de parâmetros para os ajustes requeridos, servindo de base também para a implementação de modelos de aprendizados ou redes neurais para a previsão de propriedades. As Tabela 2 e 3 apresenta um resumo das principais correlações dos atributos em relação à resistência à compressão.

Tabela 2. Resumos de contribuições dos materiais básicos na resistência. Autor, 2021.

Item	Coefficiente Estatístico	Atributo de Dosagem com Influência na Resistência
1	0,36	Consumo de Cimento
2	0,25	Massa Específica do Cimento
3	0,13	Consumo de Agregado Graúdo
4	(-0,17)	Massa Específica do Agregado Miúdo
5	(-0,19)	Consumo de Água
6	(-0,20)	Consumo de Agregado Miúdo

Tabela 3. Resumos de contribuições dos aditivos e adições na resistência. Autor, 2021.

Item	Coefficiente Estatístico	Atributo de Dosagem com Influência na Resistência
1	0,25	Consumo Superplastificante e Escória de Alto Forno
2	0,099	Consumo de Modificador de Viscosidade
3	0,085	Consumo de Sílica Ativa
4	(-0,094)	Consumo de Cinza Volante
5	(-0,10)	Consumo de Incorporador de Ar
6	(-0,17)	Consumo da Cinza da Casca de Arroz

As Tabelas 4 e 5 apresentam um resumo das correlações entre atributos em geral para os insumos básicos (Tabela 4) e aditivos e adições (Tabela 5).

Tabela 4. Resumos de correlações entre atributos de materiais básicos. Autor, 2021.

Item	Coefficiente Estatístico	Correlações entre Atributos
1	0,67	Consumo de Água vs. Consumo de Cimento
2	0,60	M. E. Agregado Graúdo vs. M. E. Agregado Miúdo
3	0,35	M. E. Agregado Graúdo vs. Consumo de Agregado Miúdo
4	(-0,32)	Consumo de Água vs. M. E. Cimento
5	(-0,42)	M. E. Agregado Graúdo vs. Consumo de Agregado Graúdo
6	(-0,68)	Consumo de Agregado Graúdo vs. Consumo de Agregado Miúdo

Tabela 5. Resumos de correlações entre atributos de aditivos e adições. Autor, 2021.

Item	Coefficiente Estatístico	Correlações entre Atributos (Consumos)
1	0,39	Pó de Pedra vs. Modificador de Viscosidade
2	0,21	Cinza Volante vs. Incorporador de Ar
3	0,18	Cinza Volante vs. Superplastificante
4	(-0,19)	Filler Calcário vs. Cinza Volante
5	(-0,25)	Cinza Volante vs. Sílica Ativa
6	(-0,26)	Cinza Volante vs. Metacaulim

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap).

BIBLIOGRAFIA

ABREU, A. G. DE. **Efeito das adições minerais na resistividade elétrica de concretos convencionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 142. 1998.

ABU YAMAN, M.; ABD ELATY, M.; TAMAN, M. Predicting the ingredients of self-compacting concrete using artificial neural network. **Alexandria Engineering Journal**, v. 56, n. 4, p. 523–532, 2017.

ALESSANDRO ALMEIDA DINIZ, H. et al. Caracterização E Avaliação Das Propriedades De Concretos Autoadensáveis Com Adições Minerais E Baixo Consumo De Cimento. **Holos**, v. 5, p. 51–64, 2018.

ALMEIDA FILHO, F. M. et al. Variabilidade da aderência e das propriedades mecânicas do concreto autoadensável. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 1, n. 1, p. 31–57, 2008.

BASU, P.; GUPTA, R. C.; AGRAWAL, V. Effects of sandstone slurry, the dosage of superplasticizer and water/binder ratio on the fresh properties and compressive strength of self-compacting concrete. **Materials Today: Proceedings**, v. 21, p. 1250–1254, 2020.

BELALIA DOUMA, O. et al. Prediction of properties of self-compacting concrete containing fly ash using artificial neural network. **Neural Computing and Applications**, v. 28, n. s1, p. 707–718, 2017.

BENAICHA, M. et al. Dosage effect of superplasticizer on self-compacting concrete: Correlation between rheology and strength. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 2, p. 2063–2069, 2019.

BINGÖL, A. F.; TOHUMCU, I. Effects of different curing regimes on the compressive strength properties of self-compacting concrete incorporating fly ash and silica fume. **Materials and Design**, v. 51, p. 12–18, 2013.

BOEL, V. et al. Transport properties of self-compacting concrete with limestone filler or fly ash. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, v. 40, n. 5, p. 507–516, 2007.

BORKOWSKI, A. Using Artificial Intelligence for COVID-19 Chest X-ray Diagnosis. **Federal Practitioner**, v. 19, n. Vol 37 No 9, p. 398–404, 2020.

BOUZOUBAÂ, N.; LACHEMI, M. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash: Preliminary results. **Cement and Concrete Research**, v. 31, n. 3, p. 413–420, 2001.

COSTA, A. C. S. DE S.; CABRAL, A. E. B. Estudo comparativo entre o concreto autoadensável e o concreto convencional vibrado em obra vertical. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 289–301, 2019.

FERREIRA, L.; RIBEIRO, F. Estudo Comparativo do Concreto Auto Adensável com Cinza da Casca de Arroz sem Controle de Queima e Sílica Ativa. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 20, p. 1–12, 2018.

GÜNEYISI, E.; GESOLU, M.; ÖZBAY, E. Strength and drying shrinkage properties of self-compacting concretes incorporating multi-system blended mineral admixtures. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 10, p. 1878–1887, 2010.

JALAL, M.; MANSOURI, E. Effects of fly ash and cement content on rheological, mechanical, and transport properties of high-performance self-compacting concrete. **Science and Engineering of Composite Materials**, v. 19, n. 4, p. 393–405, 2012.

- KONERU, V. S.; GHORPADE, V. G. Assessment of strength characteristics for experimental based workable self-compacting concrete using artificial neural network. **Materials Today: Proceedings**, v. 26, n. xxxx, p. 1238–1244, 2019.
- MONTEIRO, P. J. M.; MILLER, S. A.; HORVATH, A. Towards sustainable concrete. **Nature Materials**, v. 16, n. 7, p. 698–699, 2017.
- NEHDI, M.; PARDHAN, M.; KOSHOWSKI, S. Durability of self-consolidating concrete incorporating high-volume replacement composite cements. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 11, p. 2103–2112, 2004.
- RAMANATHAN, P. et al. Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 17, n. 2, p. 465–472, 2013.
- RYMAN-TUBB, N. F.; KRAUSE, P.; GARN, W. How Artificial Intelligence and machine learning research impacts payment card fraud detection: A survey and industry benchmark. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 76, n. June, p. 130–157, 2018.
- SALMAN, F. M. et al. COVID-19 Detection using Artificial Intelligence. **International Journal of Academic Engineering Research**, v. 4, n. 3, p. 18–25, 2020.
- SHI, C. et al. A review on mixture design methods for self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v. 84, p. 387–398, 2015.
- SUKUMAR, B.; NAGAMANI, K.; SRINIVASA RAGHAVAN, R. Evaluation of strength at early ages of self-compacting concrete with high volume fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 7, p. 1394–1401, 2008.
- TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concreto autoadensável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 149. 2004.
- YAZICI, Y. Approaches to Fraud Detection on Credit Card Transactions using Artificial Intelligence Methods. **Machine Learning**, p. 235–244, 2020.

Evaluación de la sostenibilidad del soterramiento de la carretera M-30 y la creación de Madrid Río en Madrid, España

A. P. Pérez-Fortes¹, L. López-de Abajo¹, M.G. Alberti¹, J. C. Gálvez^{1*}

*Autor de Contacto: jaime.galvez@upm.es

¹Departamento de Ingeniería Civil, Construcción, Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

RESUMEN

Durante los años 2004 a 2007, se produjo en el área metropolitana de Madrid (España) el soterramiento de parte de la carretera de circunvalación, M-30, y la creación de Madrid Río. Madrid Río se diseñó como un parque lineal situado a ambos lados del río Manzanares que supuso, no sólo un cambio paisajístico y la recuperación del ecosistema fluvial en la zona, sino un punto de encuentro entre los habitantes de cada margen del río con diferentes atracciones de ocio y culturales. De este modo, este artículo pretende realizar un análisis de sostenibilidad del soterramiento de la M-30 y la creación de Madrid Río, 14 años después de su construcción, incluyendo el impacto socioeconómico y ambiental de dichas obras en la zona. Para determinar dicho impacto, se han analizado las condiciones de la zona antes y después de las obras realizadas. Igualmente, se proponen mejoras al proyecto desarrollado considerando la aplicación de materiales de construcción sostenibles y de altas prestaciones. Finalmente, el modelo de análisis propuesto es un modelo multicriterio denominado MIVES (Modelo Integrado para una Evaluación Sostenible), del que se ha concluido que, en función de los indicadores de sostenibilidad elegidos, las obras realizadas en la M-30 y la creación de Madrid Río han influido positiva y significativamente la sostenibilidad de los márgenes del río Manzanares. Sin embargo, el uso de materiales mejorados frente al uso de materiales convencionales no influye significativamente en la sostenibilidad de la obra.

Palabras clave: Sostenibilidad; Madrid Río; M-30; Método MIVES; materiales de construcción.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Madrid, con 3,5 millones de habitantes en su área metropolitana, es la ciudad más grande de España y la cuarta de Europa (Perez-Prada y Monzon 2014), por lo que es una de las

ciudades con mayor estrés urbano del país. Por estos motivos, en las últimas décadas, la ciudad ha desarrollado una serie de proyectos con el fin de mejorar su sostenibilidad, siendo la red de transportes e infraestructuras una de las áreas más beneficiadas. Es bien sabido que la mejora de la red de transportes de una ciudad mejora la movilidad de sus habitantes y su seguridad, favoreciendo el desarrollo socioeconómico de la misma (Tatari y Kurmapu 2011; Aguado de Cea et al. 2017; Janssen et al. 2019).

En concreto, la ciudad de Madrid conecta con las poblaciones colindantes mediante tres carreteras principales que conforman una serie de anillos concéntricos (M-30, M-40 y M-50). De las tres, la M-30 (Figura 1) es la carretera de circunvalación más próxima al centro urbano, aportando el 24,2 % del tráfico en el área metropolitana (Perez-Prada y Monzon 2017). Esta carretera, construida en la década de los 70 y remodelada en los años 90, presentaba un diseño heterogéneo donde alternaban tramos urbanos regulados por semáforos con otros de autovía, así como una cantidad excesiva de entradas y salidas del eje principal, generando numerosos accidentes (Monzón de Cáceres et al. 2005). Además, especialmente en el sector suroeste, la M-30 atravesaba superficialmente las áreas urbanas del centro de Madrid, provocando diversos problemas medioambientales como ruidos y contaminación atmosférica (Tatari y Kurmapu 2011). Además, en este tramo, la M-30 ejercía una barrera en la movilidad de los habitantes de ambos márgenes del río Manzanares (Perez-Prada y Monzon 2017).



Figura 1. Localización de las obras de rehabilitación de la M-30 y creación de Madrid Río en Madrid (España).

Por estos motivos, el sector suroeste de la M-30 (Figura 1) fue remodelado entre los años 2004 y 2007, con la idea de mejorar la red vial de la carretera, así como el confort y condiciones ambientales de las áreas colindantes. Para ello, se construyeron 8,8 km de túneles, reubicando y homogeneizando el tráfico de la zona (Perez-Prada y Monzon 2017), lo que redujo la accidentalidad de la zona. Dicho soterramiento de la M-30 hizo también posible la creación de un nuevo corredor verde, Madrid Río, cuya finalidad era reducir el impacto medio ambiental y el efecto barrera provocado por el intenso tráfico de la zona (Monzón de Cáceres et al. 2005; Perez-Prada y Monzon 2017; Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid 2019). En este trabajo se evalúa la sostenibilidad de las obras realizadas en el sector suroeste de la carretera M-30 y de la creación de Madrid Río. El método empleado es el MIVES, Modelo Integrado para

una Evaluación Sostenible, que es un método de toma de decisiones de tipo multicriterio, capaz de considerar criterios de carácter cualitativo con evaluación cuantitativa, facilitando la integración de ciertos factores ambientales y, especialmente, sociales. Dichos factores han sido seleccionados mediante consenso por los autores de este artículo, considerando tres escenarios: el sector suroeste de la M-30 previo a la construcción de los túneles y la creación de Madrid Río; el mismo sector transcurridos 14 años del enterramiento de la M-30 y de la creación de Madrid Río; el mismo sector considerando el estado actual de la construcción si se hubieran empleado materiales sostenibles y de altas prestaciones tales como áridos reciclados o el uso de hormigones especiales.

2. PROCEDIMIENTO

A la hora de enfrentarse al análisis de sostenibilidad de un área, donde no sólo se deben tener en cuenta los factores medioambientales, sino que se debe alcanzar un cierto balance entre dichos factores y otros factores económicos y sociales, los métodos de toma de decisiones multicriterio son, probablemente, los más adecuados (Cafiso et al. 2002; Pujadas et al. 2017; Stojčić et al. 2019). En este contexto, MIVES es un método multicriterio que combina un árbol discriminatorio holístico de requisitos, criterios e indicadores (Pons y Wadel 2011; Aguado de Cea et al. 2016; Aguado de Cea et al. 2017); el concepto de función de valor (Alarcon et al. 2011) y seminarios impartidos por expertos para evaluar las funciones y pesos utilizados en el proceso de jerarquía analítica (Pons y Wadel 2011; Pujadas et al. 2017; Saaty 2012). Este método permite a los investigadores obtener una justificación científica y basada en la sostenibilidad para tomar una decisión entre diferentes alternativas (Pujadas et al. 2017) y obtener un valor o índice de sostenibilidad del problema adimensional, SI (Viñolas Prat et al. 2009).

El árbol de criterio de MIVES se compone de tres niveles: requisitos, criterios e indicadores, que son evaluados mediante funciones de valor, convirtiendo los factores cualitativos en cuantitativos, siendo los expertos quienes ponderan cada requisito, criterio e indicador para evaluar su importancia en el modelo y el SI final (Alberti et al. 2018). De este modo, para el análisis de sostenibilidad propuesto, se tuvieron en cuenta requisitos económicos, medioambientales y sociales de la obra, los criterios o estadios y procesos de la obra que tuvieron un impacto en la zona y los indicadores de dicho impacto durante los diferentes estadios de la obra. Igualmente, tanto a los requisitos, como criterios e indicadores se les confirieron diferentes pesos en el modelo, en función de su importancia relativa en el impacto final. Además, con el fin de evaluar los beneficios ambientales y socioeconómicos de rehabilitación de la zona, se definieron tres alternativas:

- a) *M-30 no enterrada*: en esta situación se consideró el antiguo trazado de la M-30, antes de la construcción de los túneles y creación del parque Madrid Río.
- b) *Soterramiento de la M-30 mediante el uso de materiales convencionales*: es el estado actual de la vía.
- c) *Soterramiento de la M-30 mediante el uso de materiales mejorados*: esta alternativa considera la aplicación de procedimientos y materiales de construcción sostenibles y de altas prestaciones para evaluar su influencia en la sostenibilidad del proyecto.

3. APLICACIÓN DEL MÉTODO MIVES A LAS OBRAS DE SOTERRAMIENTO DE LA M-30 Y LA CREACIÓN DE MADRID RÍO

Los túneles de la M-30 se construyeron como un túnel a cielo abierto con muros pantalla y falso techo (junto al río Manzanares) y un túnel construido mediante tuneladora (Martínez Paricio 2013) en otra de las zonas. Dichos túneles cuentan con altas medidas de seguridad para la prevención de

accidentes e incendios, así como varias unidades y dispositivos de control para garantizar una calidad del aire adecuada. De hecho, están equipados con diversas áreas de ventilación de unos 600 m de longitud para diluir la concentración de contaminantes en el interior (del Rey Llorente et al. 2009).

Igualmente, Madrid Río es un parque lineal con 429 hectáreas de nuevas áreas verdes distribuidas a lo largo de la ribera del río Manzanares con el objetivo de integrar el entorno fluvial en el paisaje urbano de Madrid (Hernández-Lamas et al. 2016). Así, el parque ofrece no solo una mejora de las condiciones ambientales si no también la eliminación de la barrera vial anterior, que separaba el sur del centro de Madrid, produciendo así extensa regeneración urbana de la zona (Bosch Reig et al. 2018).

Teniendo en cuenta el contexto y la finalidad de la obra, se establecieron y ponderaron los requisitos económicos (Tabla 1), medioambientales (Tabla 2) y sociales (Tabla 3) de la obra realizada, así como los diferentes criterios e indicadores, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) *Requisitos económicos (Tabla 1)*: Es bien conocido que las carreteras promueven la economía y el desarrollo, cambiando los patrones de movilidad de la población y mejorando la accesibilidad de una zona, lo que repercute directamente en el nivel de vida de las personas que residen en zonas urbanas (Junyent 2001; Aguado de Cea et al. 2016). Por tanto, es relevante evaluar el equilibrio entre los costes directos de la construcción y los beneficios económicos indirectos generados por la renovación de las áreas circundantes.

Tabla 1. Criterios e indicadores económicos considerados en el análisis MIVES

Requerimiento (% peso)	Criterios (% peso)	Indicadores (% Peso)
R1. Económico 40%	C1 Costes totales. Directos + Indirectos 30%	I1 Costes totales, incluyendo tiempo de construcción 100%
	C2 Calidad 10%	I2 Costes de calidad disconforme 100%
	C3 Desmantelamiento 10%	I3 Costes de desmantelamiento 100%
	C4 Vida útil 30%	I4 Costes de servicio, mantenimiento, energía y carga de uso 80%
		I5 Resiliencia, riesgo de desastre, costes de reconstrucción y de falta de uso 20%
	C5 Beneficios en la zona 20%	I6 Mercado inmobiliario 50%
		I7 Incremento del turismo 15%
		I8 Impulso cultural 35%

- 2) *Requisitos ambientales*: Los criterios e indicadores estudiados están relacionados con el material y consumo de energía durante la construcción, explotación y mantenimiento de la infraestructura. Igualmente, el transporte por carretera es responsable del 93% del impacto medioambiental generado en Europa (van Essen et al. 2011; Sánchez et al. 2018). Por todo ello, las emisiones contaminantes y acústicas durante la construcción, explotación y mantenimiento de la carretera y túneles analizados se han considerado también en el análisis (Tabla 2). Por último, dado que uno de los principales objetivos de la renovación de la M-30 supuso la vinculación del sistema fluvial del río Manzanares con el paisaje urbano de Madrid (Hernández-Lamas et al. 2016; Perini y Sabbion 2016), la recuperación de los ecosistemas fluviales del Manzanares en el tramo madrileño del río y criterios relacionados también fueron considerados.

Tabla 2. Criterios e indicadores medioambientales considerados en el análisis MIVES

Requerimiento (% peso)	Criterios (% peso)	Indicadores (% Peso)
R2. Medioambiental al 30%	C6 Consumo de material durante la etapa de construcción 15 %	I9 Cemento 25%
		I10 Áridos 10%
		I11 Refuerzo de hormigón (aceros y fibras) 15 %
		I12 Agua 25%
		I13 Materiales Auxiliares 15%
		I14 Material reciclado 10%
	C7 Consumo de material durante la etapa de mantenimiento 20 %	I9 Cemento 25%
		I10 Áridos 10%
		I11 Refuerzo de hormigón (aceros y fibras) 15 %
		I12 Agua 25%
		I13 Materiales auxiliares 15%
		I14 Materiales reciclados 10%
	C8 Emisiones durante la etapa de construcción 10 %	I15 Potencial impacto en el clima 80%
		I16 Residuos totales 20%
	C9 Emisiones durante la etapa de mantenimiento 10%	I15 Potencial impacto en el clima 80%
		I16 Residuos totales 20%
	C10 Emisiones durante la explotación de la infraestructura 20%	I17 Almacenamiento de CO2 por materiales derivados del cemento 15%
		I18 Calidad del aire (carretera, túnel y alrededores) 30%
		I19 Emisiones dependientes del límite de velocidad 25%
		I20 Emisión de partículas durante el uso de la infraestructura 30%
	C11 Energía 10%	I21 Energía de la infraestructura 20%
		I22 Energía de construcción 40%
		I23 Energía de servicio y mantenimiento 40%
	C12 Ecosistema del río Manzanares 15 %	I24 Contaminación 50%
I25 Recuperación del sistema fluvial 35%		
I26 Ecosistema (flora y fauna endémica) 15%		

- 3) *Requisitos sociales*: En este apartado se evalúan los efectos positivos y negativos que la renovación de la M-30 y la creación de Madrid Río implica para los trabajadores, usuarios y vecinos y su forma de vida durante el diseño del proyecto, construcción y uso de la carretera. En este caso, los criterios seleccionados se basaron en la premisa de que las

carreteras pueden producir directa o físicamente e indirecta o fisiológica y psicológicamente efectos sobre los trabajadores, los usuarios y los residentes (Tabla 3) (Cramphorn y Davies 2004).

Tabla 3. Criterios e indicadores sociales considerados en el análisis MIVES

Requerimiento (% peso)	Criterios (% peso)	Indicadores (% Peso)
R3. Social 30%	C13 Diseño 20%	I27 Confort (térmico, acústico y del aire entre otros) 10%
		I28 Contaminación acústica durante la etapa de construcción 15%
		I19 Emisión de partículas durante la etapa de construcción 15%
		I20 Perturbaciones del tráfico durante la etapa de construcción 15%
		I28 Contaminación acústica durante la etapa de mantenimiento 15%
		I29 Emisión de partículas durante la etapa de mantenimiento 15%
		I30 Perturbaciones del tráfico durante la etapa de mantenimiento 15%
	C14 Riesgos 30%	I31 Salud y seguridad durante la etapa de construcción 20%
		I32 Salud y seguridad durante la etapa de mantenimiento 20%
		I33 Seguridad de los usuarios. Riesgo de desastre y coste de vidas en caso de accidente 20%
		I34 Accidentalidad durante la etapa de explotación de la infraestructura 20%
		I35 Enfermedades y decesos debidos a la inhalación de humos.
	C15 Accesibilidad y fluencia de tráfico	I36 Fluencia del tráfico 25%
		I37 Permeabilidad de tráfico y entre distritos 25%
		I38 Acceso universal personas 25%
		I39 Sector comercial 25%
	C16 Confort durante la etapa de explotación de la infraestructura 30%	I27 Confort (térmico, acústico y del aire entre otros) 30%
		I28 Contaminación acústica durante la explotación de la infraestructura 35%
		I40 Áreas verdes y de ocio 35%

Una vez establecidos los requisitos, criterios e indicadores (Tablas 1, 2 y 3), se aplican funciones de valor para cada indicador, convirtiendo las magnitudes y unidades de los criterios en un valor

común adimensional (Pons y Wadel 2011). Dicho valor, en este caso, se estableció en un rango entre 0 y 10, siendo 10 el grado más alto de satisfacción social y sostenibilidad y 0 el más bajo. Por último, se consideró el SI de cada alternativa definida (*a*, *b* y *c*) de la M-30: es decir, no soterrado, soterrado empleando materiales convencionales y soterrados aplicando materiales de construcción de prestaciones mejoradas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS MIVES

Los valores de cada requisito considerado para el análisis MIVES de sostenibilidad de la renovación de la M-30, así como el SI para las tres soluciones alternativas estudiadas, se muestran en la Tabla 4.

Se puede observar que el SI de la situación considerando el soterramiento de la M-30 duplica el SI del trazado anterior de la vía. Sin embargo, el SI de la M-30 considerando su soterramiento empleando nuevos materiales es solo 0,5 más alto que usando materiales convencionales. Estos resultados pueden atribuirse a la premisa de que la regeneración de la M-30 se diseñó teniendo en cuenta los aspectos medioambientales y socioeconómicos necesarios para mejorar las condiciones de la zona (Cramphorn y Davies 2004; Bosch Reig et al. 2018). En este sentido, se puede observar que varios de los indicadores seleccionados tienen el mismo valor en cuanto al uso o no de productos más ecológicos y de altas prestaciones (Tabla 4).

Tabla 4. Principales resultados del análisis de sostenibilidad aplicado a las obras de rehabilitación de la M-30 y creación de Madrid Río mediante el método MIVES

Requerimientos (% peso)	Alternativa 1. M-30 no enterrada	Alternativa 2. Soterramiento M-30 y materiales convencionales	Alternativa 3. Soterramiento M-30 y uso de materiales especiales
R1. Económicos 40%	1,50	2,29	2,32
R2. Medioambientales 30%	1,17	1,62	1,99
R3. Sociales 30%	0,77	2,34	2,42
Índice de Sostenibilidad (SI)	3,43	6,26	6,74

4.1 Criterios económicos

Desde el punto de vista económico, los indicadores basados en los costes de la infraestructura, especialmente su renovación y desmantelamiento, tienen un valor contrario a la renovación de la M-30 (C1, C3, Tablas 1 y 4). Sin embargo, la renovación del trazado implicó una serie de beneficios económicos indirectos del área circundante a tener en cuenta, especialmente a largo plazo (C4, C5, Tablas 1 y 4). Además, hay que tener en cuenta el envejecimiento de la infraestructura y los costes entonces de mantenimiento de la misma. Entonces, si se tiene en cuenta la vida útil de la construcción, la primera alternativa (M-30 no soterrada) será la alternativa más penalizada, dado que las estructuras son más antiguas y requieren, por tanto, más operaciones de mantenimiento. Igualmente, mantener el trazado original de la M-30 hubiera supuesto nuevas remodelaciones e intervenciones para cumplir los estándares españoles actuales en cuanto a diseño (Ministerio de Fomento 2014) y, por ejemplo, contaminación acústica en zonas urbanas y residenciales

(Ministerio de Presidencia 2007; Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid 2019). En cuanto a la construcción de los túneles con materiales sostenibles y de altas prestaciones, cabe destacar que generaría un incremento de costes durante la construcción de la obra, pero, a largo plazo, supondría una reducción en los costes de mantenimiento, al ser materiales más duraderos. Finalmente, se ha tenido en cuenta el impacto que ha tenido la creación de Madrid Río en la economía de los barrios afectados por la obra. El precio medio de las viviendas en torno a la M-30, entre 2005 y 2015 aumentó en aproximadamente 500 euros por metro cuadrado debido a las mejoras proporcionadas por las obras (Ortiz de Andrés 2016). Este incremento en el valor de los inmuebles está directamente relacionado con el impulso de las actividades culturales y de ocio, así como las comerciales, en las proximidades de Madrid Río (Tabla 4).

4.2 Criterios medioambientales

Desde el punto de vista medioambiental, el soterramiento de la M-30 supuso el consumo de materiales de construcción como es el hormigón, frente a la alternativa de mantener el trazado original de la carretera (I3-I9, Tablas 2 y 4). Por tanto, ha de tenerse en cuenta como indicadores de impacto negativo medioambiental, el consumo de materias primas, tales como cemento, áridos y/o agua. Este impacto, además, aumentaría, por ejemplo, si se emplearan hormigones de alta resistencia, que requieren áridos especiales de alta resistencia y un mayor consumo de cemento (Zhou et al. 1995; Kiliç et al. 2008). Por el contrario, el uso de este tipo de materiales, más duraderos, reduciría las acciones de mantenimiento y renovación en la zona, reduciéndose entonces el impacto ambiental de estas acciones en la zona. Además, el uso de materiales más sostenibles, como es de áridos reciclados, reduciría el impacto de este indicador (I14, Tablas 2 y 4), por lo que el uso de materiales más ecológicos y de altas prestaciones es la alternativa más adecuada de las tres propuestas (C6, Tablas 2 y 4).

En cuanto al nuevo diseño del trazado de la M-30, el enterramiento del tramo de carretera, supuso el aumento de ruidos y emisiones de contaminantes durante la etapa de construcción, pero los beneficios ambientales en cuanto a estos dos factores han sido notables. Sin embargo, el aumento del tráfico, especialmente en el acceso a los túneles aún genera un cierto impacto negativo en la zona, considerándose finalmente el valor de la recuperación como media (I17-I20, Tablas 2 y 4). Finalmente, la creación de Madrid Río ha supuesto la recuperación del sistema fluvial y su ecosistema. El soterramiento de la vía y la reutilización del terreno del entorno como zona verde con más de 33.000 árboles recién plantados 470.000 arbustos, y 210.000 metros cuadrados de pradera de baja demanda de agua, permite una reducción de 35.000 toneladas de CO₂ de la contaminación atmosférica, así como la reducción significativa de contaminación acústica en la zona (Bosch Reig et al. 2018). Sin embargo, la mejora de estos indicadores se ha considerado media porque el diseño original de Madrid Río no contribuyó a restaurar las características naturales del río Manzanares y se realizaron acciones adicionales en años posteriores (Da Silva Faustino 2018). Cabe mencionar que los criterios relacionados con la creación del parque, sólo dependen del diseño de la estructura y no del uso de unos u otros materiales (C12, Tablas 2 y 4)

4.3 Criterios sociales

Desde el punto de vista social, se han tenido en cuenta las principales perturbaciones (por ejemplo, ruido, emisiones de polvo y otros contaminantes, o la congestión del tráfico), tanto durante las obras, como durante el uso de la infraestructura (Tablas 3 y 4). Por ejemplo, las obras provocaron interrupciones del tráfico y produjo ruido adicional y contaminantes (polvo) en el área. Sin embargo, la comodidad de los usuarios y la población ha incrementado considerablemente con la construcción de los túneles y Madrid Río. El soterramiento de la M-30 y la creación del parque

Madrid Río también ha redefinido el uso del suelo de la zona, potenciando el ocio y las actividades culturales y deportivas disponibles para residentes y visitantes. También han influido en los patrones de movilidad en el área, aumentando la permeabilidad entre los barrios que habían estado históricamente separados por la barrera del río Manzanares y la M-30 (Da Silva Faustino 2018). Estas mejoras significativas para el uso colectivo del espacio han sido percibidas positivamente por la población, aumentando el confort social en la zona (Tabla 4). Nuevamente, cabe destacar que estos indicadores son directamente dependientes del diseño de la obra, por lo que la aplicación de nuevos materiales tiene nulo o bajo impacto en esta alternativa propuesta.

5. CONCLUSIONES

A la vista del resultado obtenido del análisis MIVES, aunque se puede concluir que la alternativa existente hoy en día muestra un alto nivel de sostenibilidad, que podría haber sido mejorado utilizando materiales de prestaciones mejoradas y de menor impacto ambiental (como los áridos reciclado). Por lo tanto, los beneficios ambientales y socioeconómicos proporcionados por la renovación del trazado compensan las perturbaciones generales e interrupciones en el tráfico generadas durante las obras.

Aunque el nivel de sostenibilidad obtenido podría haber mejorado ligeramente si se hubieran utilizado nuevos materiales sostenibles y de altas prestaciones, su uso habría implicado una etapa de construcción más prolongada, costes de construcción más altos y, posiblemente la contratación de personal especializado, aumentando así el impacto económico de la obra. Además, el uso de materiales mejorados no afecta a una gran parte de los indicadores medioambientales y socioeconómicos, especialmente durante el diseño y uso de la infraestructura, sólo afectaría a la etapa constructiva y, ligeramente, al uso final de la infraestructura.

Finalmente, MIVES es un método disponible muy adecuado para evaluar la sostenibilidad de las estructuras en diversos escenarios en los que intervienen un elevado número de factores heterogéneos. Esto se debe a que es un método multicriterio que tiene capacidad para combinar criterios socioeconómicos y ambientales, así como indicadores cualitativos y cuantitativos.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España a través del Proyecto Fondo de Investigación PID2019-108978RB-C31. Los autores también quieren agradecer a Calle 30 el apoyo a la Cátedra Universitaria Empresa Calle30-UPM.

7. REFERENCIAS

- Aguado de Cea, A., Gálvez, J.C. and Fernández-Ordoñez, D., y Albert de la Fuente. 2016. “Sustainability evaluation of the concrete structures”. En *Second International Conference on Concrete Sustainability (ICCS-16)*, editado por J.C. Gálvez, A. Aguado, y D. Fernández-Ordoñez, 58–71. Madrid (Spain).
- Aguado de Cea, A., J. C. Gálvez, A. Aguado Renter, P. Pujadas Álvarez, y D. Fernández-Ordoñez. 2017. “Evaluación de la sostenibilidad de carreteras”. *Carreteras* 4 (213): 8–19. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108027/21549563.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Alarcon, B., A. Aguado, R. Manga, y A. Josa. 2011. “A value function for assessing sustainability: Application to industrial buildings”. *Sustainability* 3 (1): 35–50. <https://doi.org/10.3390/su3010035>.

- Alberti, Marcos G., J. C. Gálvez, A. Enfedaque, A. Carmona, C. Valverde, y G. Pardo. 2018. "Use of steel and polyolefin fibres in the La Canda tunnels: Applying MIVES for assessing sustainability evaluation". *Sustainability (Switzerland)* 10 (12): 1–11. <https://doi.org/10.3390/su10124765>.
- Bosch Reig, I., L. Bosch Roig, V. Marcenac, y N. Salvador Luján. 2018. "Linear parks understood as vertebration instruments of the city". En *24th ISUF International Conference. Book of Papers*, 983–93. Valencia, Spain: Editorial Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/isuf2017.2017.6136>.
- Cafiso, S., A. Di Graziano, H. R. Kerali, y J. B. Odoki. 2002. "Multicriteria analysis method for pavement maintenance management". *Transportation Research Record*, núm. 1816: 73–84. <https://doi.org/10.3141/1816-09>.
- Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid. 2019. "Informe Final: Estudio de caso. Impactos del proyecto de soterramiento de Calle 30. Exp. 300/2017/00911". Madrid (Spain). <https://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/EspecialInformativo/AuditoriaDeuda/InformesImpacto/ObraSoterramientoM30.pdf>.
- Cramphorn, B., y R. Davies. 2004. "The social impact of roads: Social capital and road planning". *Australian Planner* 41 (3): 46–47. <https://doi.org/10.1080/07293682.2004.9982372>.
- Essen, H., A. Schrotten, M. Otten, D. Sutter, C. Schreyer, R. Zandonella, M. Maibach, y C. Doll. 2011. "External costs of transport in Europe. Update Study for 2008". *A Handbook of Transport Economics*. <https://doi.org/10.4337/9780857930873.00024>.
- Hernández-Lamas, P., A. Rubio Gavilán, y J. Bernabeu-Larena. 2016. "Parks and roads build the cities: the M-30 and Madrid-Río project, building landscape". En *11th International Conference Virtual City and Territory: Back to the sense of the city*, 415–28. Krakow, Poland: Centre of Land Policy and Valuations (CPSV). Barcelona, Spain. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/90986>.
- Janssen, M. A., J. M. Anderies, A. Baeza, H. L. Breetz, T. Jasinski, H. C. Shin, y S. Vallury. 2019. "Highways as coupled infrastructure systems: an integrated approach to address sustainability challenges". *Sustainable and Resilient Infrastructure* 00 (00): 1–12. <https://doi.org/10.1080/23789689.2019.1708181>.
- Junyent, R. 2001. "Evaluating the social impact of urban highways. Application to the outer ring road in Barcelona". Luxembourg.
- Kiliç, A., C. D. Atiş, A. Teymen, O. Karahan, F. Özcan, C. Bilim, y M. Özdemir. 2008. "The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete". *Cement and Concrete Composites* 30 (4): 290–96. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.05.011>.
- Martínez Paricio, J. I. 2013. "Los túneles de la Calle 30 de Madrid. Características." *Safety & Fire Technique / Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza* 30 (2): 127–35.
- Ministerio de Fomento. 2014. "Orden Circular 35/2014 Sobre Criterios De Aplicación De Sistemas De Contención De Vehículos". Madrid (Spain). <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/11AFD57B-6604-4E4D-8F1E-D4535CB18249/124764/OC352014.pdf>.
- Ministerio de Presidencia. 2007. *Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas*. BOE-A-2007-18397.
- Monzón de Cáceres, A., J. M. Pardillo Mayora, L. Vega Báez, J. Bustinduy Fernández, A. de Vicenete González, y M. Pérez Flores. 2005. "El programa de mejoras de la M-30 en el contexto de una estrategia de movilidad sostenible para Madrid." *Revista de Obras Públicas* 3454: 7–26. http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2005/2005_abril_3454_01.pdf.

- Ortiz de Andrés, I. 2016. “Efecto de ondas concentricas en la ciudad. El impacto de los tuneles de la M-30 medido en el mercado inmobiliario limftrofe”. *Revista de Obras Publicas* 163 (3576): 63–68.
- Perez-Prada, F., y A. Monzon. 2014. “How lowering speed limits in an urban highway affects traffic perfirance and emissions: the caso of Madrid M-30 ring-road”. En *XI Congreso de Ingeniería del Transporte, CIT 2014*, 1–16. Santander, Spain.
- Perez-Prada, F., y Monzon, A. 2017. “Ex-post environmental and traffic assessment of a speed reduction strategy in Madrid’s inner ring-road”. *Journal of Transport Geography* 58: 256–68. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.12.018>.
- Perini, K., y P. Sabbion. 2016. “Madrid Río, Spain - Strategies and Techniques”. En *Urban Sustainability and River Restoration*, 117–26. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119245025.ch11>.
- Pons, O., y G. Wadel. 2011. “Environmental impacts of prefabricated school buildings in Catalonia”. *Habitat International* 35 (4): 553–63. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2011.03.005>.
- Pujadas, P., F. Pardo-Bosch, A. Aguado-Renter, y A. Aguado. 2017. “MIVES multi-criteria approach for the evaluation, prioritization, and selection of public investment projects. A case study in the city of Barcelona”. *Land Use Policy* 64: 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.014>.
- Rey Llorente, I., E. Alarcón Álvarez, y I. Espinosa Antelo. 2009. “Ventilación en caso de incendio y gestión medioambiental en los túneles de Calle 30”. En *Ingeo Túneles*, editado por Carlos López Jimeno.
- Saaty, T. L. 2012. “How to make a decision”. *International Series in Operations Research and Management Science* 175: 1–21. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6_1.
- Sánchez, M., N. López-Mosquera, F. Lera-López, y J. Faulin. 2018. “An Extended Planned Behavior Model to Explain the Willingness to Pay to Reduce Noise Pollution in Road Transportation”. *Journal of Cleaner Production* 177: 144–54. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.210>.
- Silva F., A. Da. 2018. “El río Manzanares en su paso por los tejidos urbanos de Madrid: el juego de posibilidades entre una biofilia hídrica cotidiana y la recuperación ecológica riparia”. *Territorios en formación*, núm. 14: 20–39. <https://doi.org/10.20868/tf.2019.14.3890>.
- Stojčić, M., E. Kazimieras Zavadskas, D. Pamučar, Ž. Stević, y A. Mardani. 2019. “Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008-2018”. *Symmetry* 11 (3). <https://doi.org/10.3390/sym11030350>.
- Tatari, O., y D. Kurmapu. 2011. “Sustainability assessment of highways: A Malmquist index of U.S. states”. *Proceedings of the 2011 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, ISSST 2011*. <https://doi.org/10.1109/ISSST.2011.5936849>.
- Viñolas Prat, B., F. Cortés, A. Marques, A. Josa Garcia-Tornel, y A. Aguado de Cea. 2009. “Mives: Modelo Integrado De Valor Para Evaluaciones De Sostenibilidad - ICSMM 2009”. En *II Congrès Internacional de Mesura I Modelització de La Sostenibilitat*, 1–24. Barcelona, Spain: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE). <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/9704%0Ahttps://www.etcg.upc.edu/prj/mives/herramienta-mives>.
- Zhou, F. P., F. D. Lydon, y B. I.G. Barr. 1995. “Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high performance concrete”. *Cement and Concrete Research* 25 (1): 177–86. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)00125-I](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)00125-I).

PATOLOGÍA DE LAS CONSTRUCCIONES

Manifestações Patológicas em Marquises: estudo de caso na região central de Palmeira dos Índios – AL

**E. Lopes de Sousa^{1*}, I. Maria Porfirio da Rocha², M. Mariano Alencar Filho³, J. Felipe
Barbosa Baía⁴, R. Calheiros Soares⁵**

*E. Lopes de Sousa: ericas_lopes@hotmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas, Campus Palmeira dos Índios, Brasil.

² Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas, Campus Palmeira dos Índios, Brasil.

³ Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas, Campus Palmeira dos Índios, Brasil.

⁴ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Pernambuco (UPE), Caruaru, Brasil.

⁵ Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas, Campus Palmeira dos Índios, Brasil.

RESUMO

A ausência de cuidados e o descaso com as marquises de concreto armado está sendo evidenciada em decorrência dos inúmeros acidentes que estão acontecendo no Brasil. As marquises danificadas colocam a vida das pessoas em risco, uma vez que são elementos com ruptura bruscas e são construídas sobre os passeios públicos, utilizadas constantemente por pedestres como abrigo contra intempéries. Tendo em vista os riscos associados a má utilização e a deterioração destas estruturas, realizou-se visitas nas ruas da cidade de Palmeira dos Índios – AL, para identificar e diagnosticar possíveis manifestações patológicas em marquises, através dos dados coletados e levantamento fotográfico, percebeu-se que as principais manifestações são decorrentes da umidade: infiltração, mofo e bolor; seguido de fissuras; deterioração do concreto, ação da água e corrosão da armadura. Cada manifestação patológica citada estava presente em 50% da amostra.

Palavras-Chave: Marquises; Infiltração; Concreto.

ABSTRACT

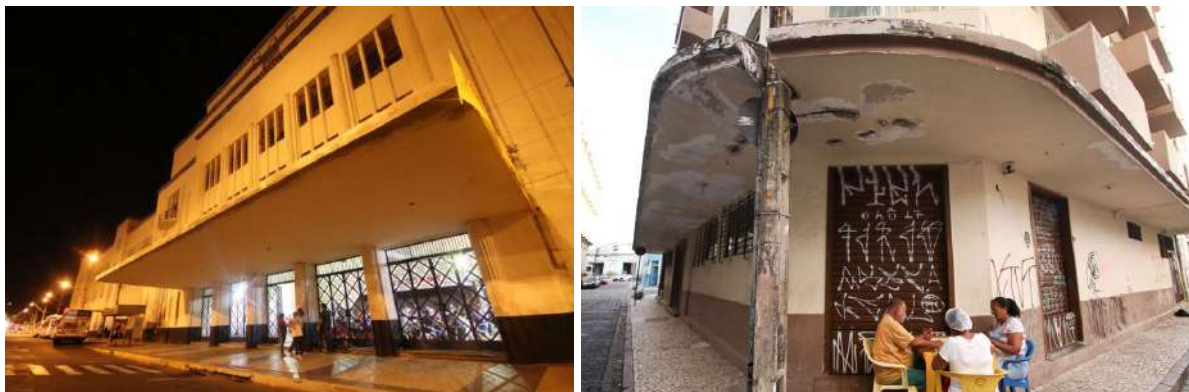
The lack of care and negligence with the reinforced concrete marquees is being evidenced due to the numerous accidents that are happening in Brazil. The damaged marquees put people's lives at risk, as they are sudden breaks elements and are built on public sidewalks, constantly used by pedestrians as shelter against bad weather. In view of the risks associated with the misuse and deterioration of these structures, visits were made to the streets of the city of Palmeira dos Índios - AL, to identify and diagnose possible pathological manifestations in marquees, through the data collected and photographic survey, it was noticed that the main manifestations are due to humidity: infiltration, mold and mildew; followed by cracks; deterioration of the concrete, action of water and corrosion of the armor. Each pathological manifestation cited was present in 50% of the sample.

Keywords: Marquees; Infiltration; Concrete.

1. INTRODUÇÃO

A marquise é um elemento arquitetônico característico nas construções modernistas no Brasil, sendo traduzida pelos projetistas como sinônimo de leveza e plasticidade, estando presente em diversas construções, possuindo dimensões variadas, podendo ser encontrada em edifícios, residências e estabelecimentos comerciais, conforme exemplificado na Figura 1.

Figura 1. (a) Marquise da estação ferroviária de Bauru; (b) Marquise de ponto comercial em Recife



(a) (b)

Fonte: (a) JCNET (2019) e (b) FOLHA PE (2018)

Formadas por vigas e lajes em balanço, as marquises avançam horizontalmente em relação a construção. As principais patologias existentes em marquises provêm de fases diferentes do processo construtivo, como as fases de projeto, construção, utilização e manutenção (SILVA et al., 2016, p. 4). Fatores como mau posicionamento das armaduras, corrosão, perfuração da laje, falta de manutenção, sobrecarga e escoramento incorreto são os mais comuns, afetando assim, a segurança das marquises.

Tendo como função proteger as edificações e os indivíduos da incidência direta do sol e da chuva, as marquises são vistas como elementos arquitetônicos de cobertura. Em Palmeira dos Índios, Alagoas, pode-se perceber que são dois os motivos responsáveis pela presença desses elementos: as questões culturais, e por esta cidade se caracterizar de clima tropical semiúmido, na qual os verões são quentes e invernos razoavelmente frios e chuvosos, tendo dessa forma, a função de proteção contra insolação e chuva.

Vale ressaltar que toda estrutura exige uma manutenção, a fim de garantir segurança e o conforto dos usuários. Quando a manutenção é de caráter preventivo, tem como objetivo evitar que os danos se agravem e dessa forma, acaba gerando uma economia, se comparada com uma manutenção emergencial. Pois, com o passar do tempo, essas estruturas passam a apresentar patologias, devido a uma série de fatores que contribuem para o desgaste, podendo causar o desabamento, ocasionando risco para as pessoas que passam e/ou se abrigam em baixo das marquises (RIOS *et al*, 2019).

Diante disso, inúmeros são os casos registrados de acidentes envolvendo marquises. A cidade que mais se destaca com base nos jornais e noticiários é Porto Alegre, que Segundo o Jornal do Comércio (2019), dois em cada três prédios não têm marquises regularizadas. O último caso ocorreu em 2016, deixando uma vítima e o maior caso ocorreu em 1988 quando uma marquise de 16 metros de comprimento caiu, deixando 9 mortos e 10 feridos.

O G1- Região Serrana, registrou em dezembro de 2018, a queda de uma marquise, deixando 3 feridos devido à sobrecargas. Em São Paulo (2019), o G1 constatou mais um caso de desabamento de marquise, desta vez, em uma delegacia da região, deixando prejuízos materiais com a perda de dois veículos.

Tendo em vista a importância das marquises e de seu uso repetitivo nas construções da cidade de Palmeira dos Índios, surge o interesse por esse estudo, cujo objetivo é realizar uma análise acerca

das patologias existentes na região central deste município, levantando as possíveis causas e propondo tratamentos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A preocupação com a vida útil e durabilidade das estruturas vem se aprimorando nos últimos anos, estando atrelada à modernização das técnicas construtivas e aos avanços tecnológicos. Melo (2011), afirma em seus estudos que até o início da década de 1970, a preservação era voltada para monumentos históricos, e que a durabilidade de edificações de modo geral, não era um assunto de grande interesse no Brasil, onde buscava-se mais destruir o antigo para dar lugar ao novo. Entretanto, com a crise econômica da década de 1970, a preocupação com os custos tornou-se necessária, com o objetivo de reduzir os gastos ao máximo, interferindo diretamente na preocupação com a vida útil das edificações e a conservação destas.

Em se tratando de comportamento e segurança estrutural, de acordo com Medeiros e Grochoski (2007), uma das grandes vantagens das estruturas de concreto armado é o caráter de ruptura dúctil. Apesar do concreto ser um material frágil, o composto formado pela união do concreto com o aço, fornece a estrutura um comportamento intermediário.

Devido a essa característica advinda da junção com o aço, é que as estruturas de concreto armado dão “avisos” antes de ruir, pois a ductilidade da armadura permite que a peça produza fissuras evidentes antes do colapso.

No entanto, no caso das marquises, há uma tendência maior a ruptura frágil, uma vez que essa estrutura quando engastada em uma viga, produz torção neste elemento de apoio, com isso, a viga deve ser dimensionada de modo que a resistência do concreto seja superior aos esforços de torção e cortante, atendendo o item 17.7.2.2 da NBR 6118, intitulada Projeto de estruturas de concreto - Procedimento (ABNT, 2014), que instrui as devidas recomendações a serem cumpridas acerca de tais solicitações.

Deve-se atentar ao fato de que, caso a marquise seja submetida a algum tipo de sobrecarga, haverá um aumento do momento tórsor atuante na viga, podendo superar a resistência à compressão diagonal do concreto de projeto, que conseqüentemente levaria a ruptura frágil da estrutura.

Ainda de acordo com Medeiros e Grochoski (2007), pelo fato da marquise ser uma estrutura em balanço, ela está sujeita a momentos negativos. Sendo assim, para resistir aos esforços atuantes, as armaduras principais devem estar posicionadas na face superior da laje, como ilustra a Figura 2, abaixo.

Figura 2. Esforços atuantes em uma estrutura em balanço



Fonte: MEDEIROS E GROCHOSKI (2007)

De acordo com Dorigo et al. (1996), o ponto crítico das marquises está na armadura superior, pois ela é a primeira afetada quando há alguma falha na impermeabilização ou quando ocorre algum tipo de trinca na parte superior da estrutura. Quando isto ocorre, o processo de corrosão inicia-se transformando ferro em óxido de ferro, que é expansivo e encunha o concreto, levando a um efeito

em cadeia, abrindo cada vez mais rachaduras no concreto, o que propicia a penetração de agentes agressivos e acelera esse processo.

Neste sentido, segundo Carmo (2009) a manifestação patológica mais frequente nas marquises são as fissuras, pelas quais percolam agentes agressivos que causam a corrosão da armadura. O cobrimento por sua vez, tem grande importância na prevenção contra a corrosão, pois busca realizar a proteção do aço, impedindo o contato direto com o meio ambiente e por consequência, a penetração de agentes externos na estrutura. Para determiná-lo de forma adequada deve-se utilizar a NBR 6118 (ABNT, 2014), a qual relaciona a classe de agressividade do ambiente com o tipo de elemento de concreto executado, visando desse modo, aumentar a durabilidade e a vida útil das estruturas.

Foi observado por Motta (2019), em seus estudos, que a presença recorrente de furos nas marquises, realizados para fixação de elementos variados, podem causar diversas patologias à estrutura, entre elas, fissuras, manchas e umidade. As fissuras podem surgir devido à força aplicada com o auxílio do equipamento para a perfuração, já as manchas e a umidade, decorrem dos danos no sistema de impermeabilização causados no entorno no furo, que vão contribuir para a entrada de agentes agressivos, deterioração e possível corrosão do elemento estrutural, podendo levar ao colapso da marquise.

Outro ponto crítico segundo Ribeiro (2014), é a posição dos letreiros, pois esta acarreta em um braço de alavanca maior. Esse acréscimo de carga é transmitido totalmente à marquise, podendo ocasionar fissuras e até o colapso da estrutura. O mesmo ocorre para a instalação de outros aparelhos como ar condicionados, pois estes geram uma sobrecarga que muitas vezes não foi prevista em projeto.

Inúmeras podem ser as patologias que acometem o elemento construtivo marquise. A eflorescência é mais uma, embora não cause danos estruturais no elemento. De acordo com Santos e Filho (2008), a eflorescência é a formação de depósitos salinos na superfície de um elemento da edificação resultante da sua exposição a água da chuva ou do solo. A água da chuva ou do solo dissolve os sais presentes fazendo-os migrar para a superfície onde a evaporação da água ocasiona então a formação dos depósitos salinos.

O bolor, também conhecido como mofo, é outra manifestação bastante presente. Se enquadra nos agentes biológicos e ocorre devido ao acúmulo de fungos nas camadas de revestimento, seja ele dos mais variados tipos, gerando colônias que se alimentam de materiais orgânicos. Os locais ideais para a sua proliferação são áreas que apresentam umidade por condensação e que não haja água corrente. O resultado da proliferação dessa manifestação patológica são manchas escuras, há também fungos que podem apresentar manchas de cores esverdeada, branca, avermelhada, etc., devido ao tipo de reação química ou devido à deposição de esporos, que são as sementes dos fungos, ou ainda, devido à cor do próprio fungo, quando visível (MELO, 2011).

Braguin (2006) apud Carmo (2009), afirma que as patologias nas marquises ocorrem em fases distintas, acrescentando ainda que o colapso da estrutura se dá não só por um agente isolado, mas sim por um conjunto deles. Medeiros e Grochoski (2007) frisam a importância da manutenção preventiva das marquises, instruindo que elas devem ser feitas em períodos mais curtos do que a estrutura principal. E que as causas mais frequentes de acidentes com marquises poderiam ser evitadas por um programa de inspeção e manutenção periódica da marquise.

Logo, a queda das marquises pode ocorrer por vários fatores, são eles: erro de projeto, erro de construção, materiais inadequados, uso incompatível da estrutura e falta de manutenção. Os três primeiros fatores apresentados são caracterizados como erros de engenharia, os demais são de responsabilidade do usuário.

3. O MÉTODO

O trabalho baseou-se na inspeção visual e revisão bibliográfica, a fim de obter o embasamento teórico voltado às marquises em concreto, em especial para os tipos, origens e causas das manifestações patológicas mais comuns nesta estrutura. Foi realizado nas principais marquises do Centro de Palmeira dos Índios, Alagoas, localizadas na Rua Antônio Matias, Rua Costa Rego e Rua Fernandes Lima (Calçadão), conforme ilustrado na Figura 3. Inicialmente percorreu-se as ruas em estudo com o objetivo de determinar as amostras.

Figura 3. Mapa das principais ruas estudadas



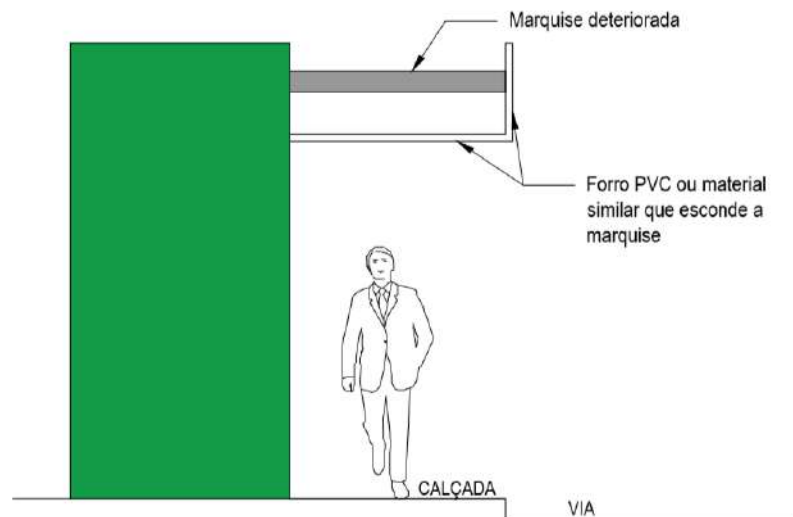
Fonte: GOOGLE MAPS (2020)

No estudo foram avaliadas através da análise visual dez marquises, consideradas mais danificadas. Além dessas, a amostra contou com cinco marquises escondidas por revestimento, mas confirmadas devido à presença de guarda-corpo em alvenaria e/ou construções acima das marquises. Houveram ainda, dez elementos construtivos que se caracterizavam como marquises, devido ao prolongamento existente nas calçadas, mas que não puderam ser confirmados como sendo de concreto armado, pois a estrutura escondida por revestimento e letreiros também poderia ser composta de outro material como madeira ou metálica. A mostra se baseou, no total, em 25 marquises, distribuídas nas classificações acima. Diante das amostras escolhidas, anotou-se todas as não conformidades encontradas nas estruturas, buscando através da literatura identificá-las e propor soluções.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Do perímetro analisado, todas as marquises, nas quais foram possíveis realizar uma análise visual, apresentaram algum tipo de manifestação patológica. Algumas delas não eram expostas diretamente, estando escondidas através de forros tipo PVC e letreiros dos pontos comerciais, conforme ilustrado na Figura 4. Isso acaba servindo como “maquiagens” para as construções, escondendo de fato os perigos relacionados as manifestações patológicas, em especial, àquelas que podem vir a causar o colapso da estrutura, colocando em risco a vida dos indivíduos que circulam embaixo desse elemento construtivo.

Figura 4. Marquises escondidas através de forros e letreiros



Fonte: OS AUTORES (2020)

4.1 Manifestações patológicas identificadas

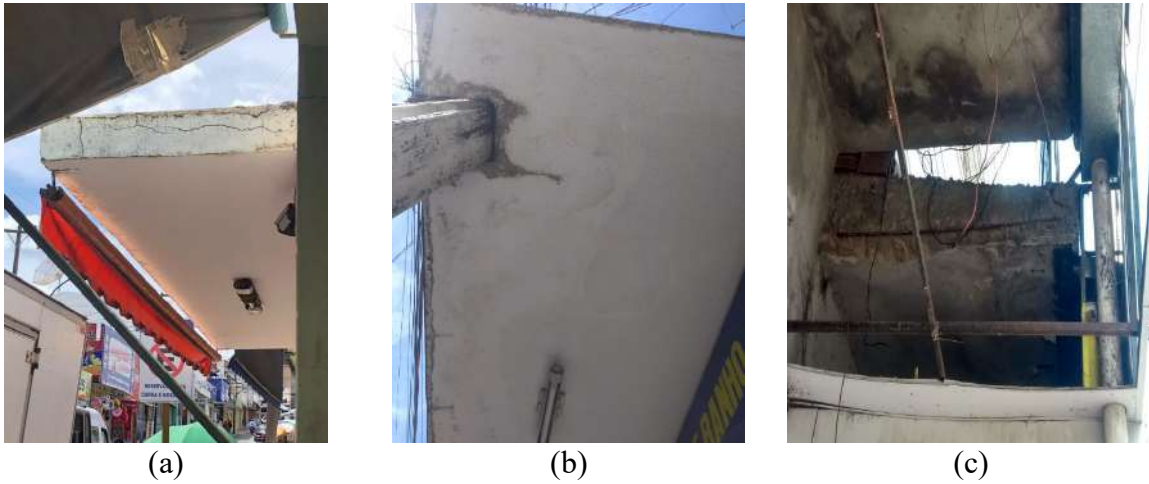
A seguir tem-se os registros fotográficos das amostras analisadas, comprovando as manifestações patológicas existentes.

Figura 5. (a) Marquise 01, (b) Marquise 02, (c) Marquise 03



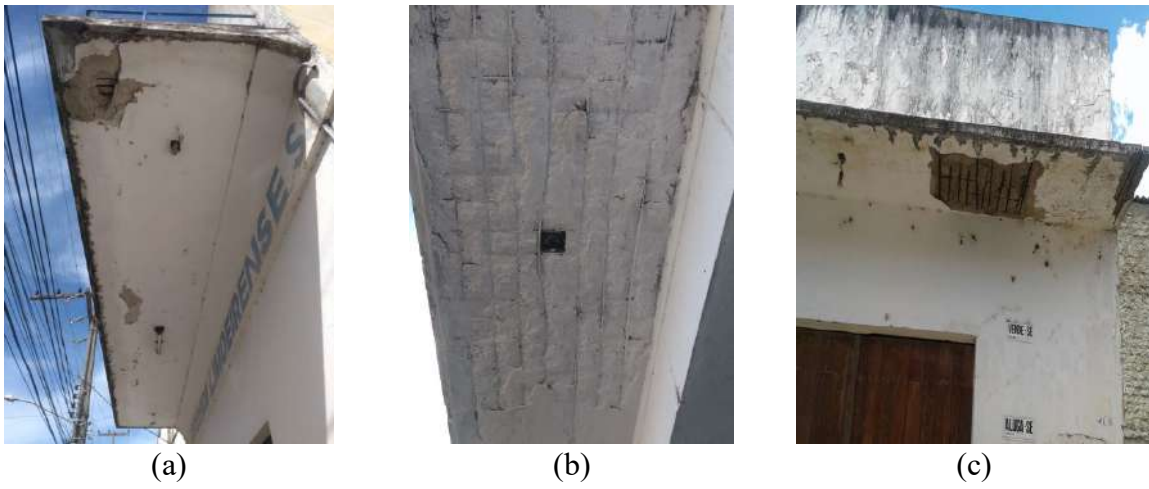
Fonte: OS AUTORES (2020)

Figura 6. (a) Marquise 04, (b) Marquise 05, (c) Marquise 06



Fonte: OS AUTORES (2020)

Figura 7. (a) Marquise 07, (b) Marquise 08, (c) Marquise 09



Fonte: OS AUTORES (2020)

Figura 8. Marquise 10



Fonte: OS AUTORES (2020)

Diante das imagens acima, verificou-se que muitas das patologias se repetem, e desse modo, organizou-se os problemas apresentados e as possíveis causas no Quadro 1, abaixo, onde é possível perceber que a maioria das marquises apresentam mais de um problema.

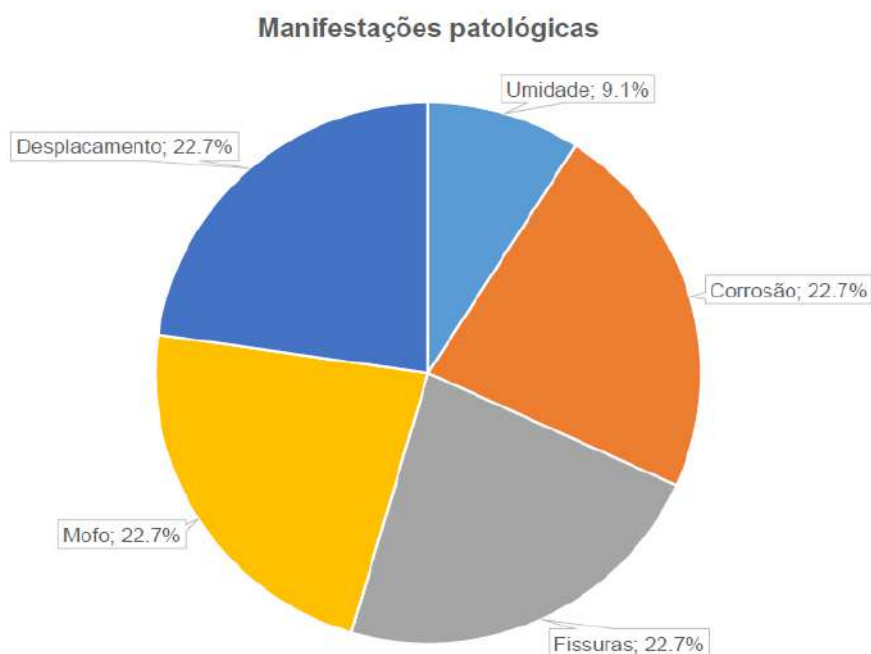
Quadro 1. Resumo das patologias encontradas e suas possíveis causas

Descrição	Patologias encontradas	Possíveis causas
Marquise 01	Presença elevada de umidade e manchas de tonalidade escura na marquise. Característico de mofo/bolor	Infiltração decorrente de chuvas, devido a impermeabilização deficiente.
Marquise 02	Fissuras e remendos	Perfuração na marquise para a instalação de um elemento de proteção contra o sol, Presença de remendos, possivelmente utilizados como uma solução, mesmo que ineficaz, para as fissuras.
Marquise 03	Umidade, bolor, deslocamento do revestimento e do concreto, e o surgimento de fissuras laterais.	Falha de projeto e/ou execução, falta de manutenção, corrosão da armadura, falhas no sistema de impermeabilização.
Marquise 04	Fissuras verticais e horizontais	Tensões na estrutura devido à pouca armadura existente.
Marquise 05	Mofo/bolor	Furos na marquise e falhas no sistema de impermeabilização
Marquise 06	Armadura exposta e corrosão	Falhas de execução/ projeto, furos na marquise, cobrimento insuficiente e falta de manutenção.
Marquise 07	Mofo/bolor, deslocamento do concreto, armadura exposta, corrosão.	Infiltrações decorrente das chuvas, falta de manutenção.
Marquise 08	Deslocamento do concreto, armadura exposta, corrosão, fissuras	Infiltrações decorrente das chuvas, cobrimento insuficiente, falta de manutenção.
Marquise 09	Mofo/bolor, deslocamento do concreto, corrosão.	Infiltrações decorrente das chuvas, cobrimento insuficiente, falta de manutenção, erros de execução.
Marquise 10	Deslocamento do concreto, armadura exposta, corrosão, fissuras	Infiltrações decorrente das chuvas, cobrimento insuficiente, falta de manutenção.

Fonte: OS AUTORES (2020)

A falta de manutenção e erros na execução são algumas das conclusões para os problemas encontrados. As principais patologias detectadas foram: umidade, corrosão, fissuras, mofo e deslocamento tanto do concreto como da pintura. A fim de visualizar melhor os dados, foi contabilizada a quantidade total de patologias identificadas e elaborado o Gráfico 1, referente a incidência de cada tipo de manifestação patológica, onde constata-se que a corrosão, fissuras e deslocamento do concreto possuem o maior percentual.

Gráfico 1. Incidência das manifestações patológicas em percentual.



Fonte: OS AUTORES (2020)

As incidências das manifestações patológicas identificadas estão em concordância com o que foi reportado por outros autores. Felten (2013) realizou uma investigação nas ruas de Cascavel – PR, identificando que as manifestações mais recorrentes nas marquises foram Mofo/bolor (26%) e Fissuras (22%). Através de uma pesquisa realizada por Ribeiro (2014) no centro de Florianópolis – SC, constatou-se a predominância de Mofo/Bolor nas marquises da região. Outro estudo foi realizado nas ruas de Campina Grande – PB, na qual Rios (2019) constatou que as principais manifestações patológicas identificadas foram em decorrência de infiltração (17,60%) e Fissuras (13,75%). Por fim, através de um levantamento realizado nas ruas de Uberlândia – MG, Fim (2021) é reportada uma ocorrência de Bolor e Fissuras em 100% das marquises analisadas.

Tais resultados indicam que mesmo em diferentes regiões do Brasil, o estado de deterioração e incidência de manifestações patológicas é semelhante. Apesar de não causar danos estruturais a estes elementos, a presença de mofo/bolor indica problemas de infiltração, que coincidente com a existência de fissuras, pode resultar na oxidação e consequente perda de capacidade resistente das armaduras, aumentando a probabilidade de ruptura brusca da estrutura e ocorrência de acidentes.

4.2 Propostas de tratamento

A partir da inspeção visual e da análise realizada com o auxílio de anotações e registros fotográficos, foi possível indicar tratamentos para as patologias identificadas. É importante ressaltar que os possíveis tratamentos e soluções dependem estritamente da origem do problema, dessa forma é necessário um estudo mais minucioso para identificação precisa do surgimento de algumas patologias, entretanto, estão descritos abaixo possíveis terapias para as principais patologias encontradas:

4.2.1 Fissuras

A fissuração é considerada uma das principais manifestações patológicas das estruturas de concreto, sendo de fácil identificação em relação às demais anomalias. O concreto fissurado pode representar tanto o estado máximo de um dano, quanto início de outra tipo de manifestação, pois

representa um meio de entrada para diversos agentes agressivos, como o dióxido de carbono (CO₂) e nos íons de cloreto (Cl⁻), acelerando o processo de corrosão de armaduras e degradação da estrutura.

As fissuras em estruturas de concreto são ocasionadas pela ação de forças que provocam o aparecimento de tensões de tração que superam a capacidade resistente do material componente da estrutura (SILVA; HELENE, 2011 *apud* NADALINE; BISPO, 2017). Dessa forma, sua presença nas marquises pode ocorrer devido à fenômenos de retração ou térmicos, a movimentações da estrutura, ou ainda, ocasionadas por falhas decorrentes do cálculo estrutural ou a submissão da estrutura a uma carga superior à que foi prevista.

De acordo com Santos (2014), o tratamento de fissuras necessita de uma identificação prévia do tipo de fissura, no que diz respeito a sua atividade. Elas podem ser do tipo ativas, nas quais deve-se realizar a vedação da fissura com material elástico e não resistente, de modo a impedir unicamente a degradação do concreto existente. Nas fissuras do tipo passiva, além desta proteção, tem-se o objetivo de garantir que a peça volte a trabalhar como um todo, empregando-se material resistente, como a nata do cimento Portland ou resina epoxídica. Deve-se também, se atentar para a espessura delas, caso possuam menos de 0,1 mm, procede-se a injeção das fissuras sob baixa pressão. Para fissuras maiores, porém pouco profundas, pode-se fazer o enchimento por gravidade. Após o preenchimento das fissuras é feita a selagem que prevê a vedação dos bordos, com o objetivo de arrematar a injeção, protegendo a própria resina. Para fissuras maiores que 30 mm, a selagem é feita como uma vedação de junta.

4.2.2 Umidade

A umidade, como vista nos resultados, provém de diversas causas, desde furos na marquise até acúmulo de água das chuvas. Em geral, esse acúmulo ocorre por falta de sistemas eficazes de drenagem, ou ausência de inclinação mínima da marquise, necessária para que o escoamento da água. Desse modo, deve-se atentar-se para uma manutenção desses sistemas, ou realizar/reforçar o sistema impermeabilizante, atentando-se para os furos existentes, de modo a identificar as falhas.

4.2.3 Corrosão da armadura

Já a corrosão, ocorre quando agentes externos penetram no concreto e muitas vezes está relacionado à falha de projeto/execução, na qual o cobrimento adotado não é necessariamente o adequado para a região, estando o aço desprotegido. Outro fator que interfere nessa patologia é a relação água/cimento pois quando menor ela for, menor será a porosidade do concreto e, portanto, menores as chances de penetração dos agentes prejudiciais. Logo, torna-se imprescindível a utilização da NBR 6118 (ABNT, 2014) para determinação da qualidade do concreto.

O tratamento dessa manifestação pode ser realizado seguindo os passos a seguir, descritos pelo Professor Marcelo Medeiros em uma matéria para a revista AECWEB:

1. Delimitação da área deteriorada;
2. Escarificação do concreto solto deteriorado;
3. Limpeza do produto de corrosão formado;
4. Pintura na superfície do metal para maior proteção através da utilização do zarcão;
5. Preenchimento com argamassa de reparo e acabamento da superfície;
6. Cura da argamassa de reparo, geralmente feita com água de rede de abastecimento de água potável.

4.2.4 Desplacamento

Como consequência do processo de corrosão, ocorrem as fissuras e o posterior deslocamento do cobrimento de concreto, uma vez que ao oxidar-se, o ferro vai criando o óxido de ferro hidratado.

Esse óxido exerce uma pressão sobre o material e, conseqüentemente, ocupa um espaço maior do que o inicial, fraturando o material.

Conforme Gouveia *et al.* (2013), o tratamento indicado para esta anomalia pode ser realizado da forma indicada abaixo:

1. Corte e remoção do revestimento descolado;
2. Aplicação de chapisco no traço 1:3;
3. Aplicação de reboco novo, com traço semelhante ao do antigo reboco.

5. CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos com o presente estudo, é notória a frequência de marquises com manifestações patológicas no centro de Palmeira dos Índios – AL.

Um fator agravante é falta manutenção preventiva, de modo que na maioria dos casos o problema é apenas ocultado com a realização de pinturas e utilização de letreiros comerciais. Com isso os riscos de acidentes são amplificados, uma vez que essa ocultação impede que os pedestres tomem ciência do nível de deterioração destes elementos, eliminando a chance de alerta visual para prevenção de acidentes.

Marquises que aparentam ter sido realizada uma recente manutenção estética, com pinturas, apresentam graves manifestações patológicas, como é o caso da Marquise 08, ilustrada na Figura 7b, a qual possui sua armadura totalmente exposta e pintura que aparenta ter sido realizada recentemente.

Com base nos dados coletados verificou-se que as marquises apresentaram patologias semelhantes, chegando a ter até três sintomas de mesma categoria. As patologias mais incidentes foram: presença de umidade, que aliada ao ambiente quente favorece o aparecimento de microrganismos na estrutura, sendo manifestado através de manchas de mofo/bolor, deslocamento do concreto, corrosão da armadura e fissuras.

Pode-se atribuir como principal causa do surgimento das manifestações patológicas as falhas de projeto e/ou execução. Contribuindo, dessa forma, para um maior número de patologias que irão desencadear a exposição e contato das armaduras com o meio externo e, conseqüentemente com agentes agressivos, o que com o passar do tempo levará à sua corrosão, caracterizando a estrutura em um grau crítico, ou seja, sem condições para o uso, apresentando risco de segurança para seus usuários.

Conclui-se, portanto, que o estudo nas marquises de concreto armado é de grande importância, a fim de evitar danos e até o colapso da estrutura. Os objetivos do trabalho foram atendidos, possibilitando realizar o levantamento das manifestações patológicas e identificar suas possíveis causas, propondo tratamentos para amostra estudada.

6. REFERÊNCIAS

AECWEB. “*Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos*”. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos/6412>. Acessado em: 30 de dez. de 2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014) *NBR 6118:2014 Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Carmo, A. M. (2009), “*Estudo da deterioração de marquises de concreto armado nas cidades Uberlândia e Bambuí*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia. Disponível

em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14131/1/dis.pdf>. Acessado em: 23 de dez. de 2020.

Dorigo, F. (1996), “*Acidentes em marquises de Edifícios*”. In: CUNHA, A. J. P.: LIMAS, N. A.: SOUZA, V. C.M. *Acidentes Estruturais na Construção Civil*. São Paulo, PINI, v. 1, Capítulo 21, p. 161-168.

Felten, D., Grahl, K. F. S., Londero, C., (2013), “*Levantamento de manifestações patológicas em marquises de concreto armado*”. *Revista Thêma et Scientia*, v. 3, n. 1, jan./jun. 2013.

Fim, V. H. P. (2021), “*Patologias da construção civil: investigação em marquises na cidade de Uberlândia-MG*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Folha PE. “*Marquises precárias em prédios do Recife estão na mira do MPPE*”. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/noticias/marquises-precarias-em-prediosdo-recife-estao-na-mira-do-mppe-veja-fo/67229/>. Acesso em: 07 de jan. de 2021.

G1 – Região Serrana. (2018), “*Marquise cai e deixa três pessoas feridas em Teresópolis, no RJ*”. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2018/12/04/marquise-cai-e-deixa-tres-pessoas-feridas-em-teresopolis-no-rj.ghtml>. Acessado em: 20 de dez. de 2020.

G1 – São Paulo. “*Desabamento de marquise*”. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/videos/t/sptv-1-edicao/v/doi-dias-apos-queda-de-marquise-de-delegacia-obras-ainda-nao-comecaram/7547133/>. Acessado em: 20 de dez. de 2020.

Gouveia, F. P *et al.* (2013), “*Levantamento, caracterização e proposição de tratamentos de manifestações patológicas presentes nas residências do Conjunto Habitacional Nova Matinha, Tucuná-PA*”. In: IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, João Pessoa.

JCNET. (2019), “*Defesa Civil cogita vistoriar marquises*”. Disponível em: <https://www.jcnet.com.br/noticias/geral/2019/12/705782-defesa-civil-cogita-vistoriar-marquises.html>. Acesso em: 20 de dez. de 2020.

Jornal do Comércio. (2019), “*Dois em cada três prédios de Porto Alegre não têm marquises regularizadas*”. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/conteudo/geral/2019/04/680503-dois-em-cada-tres-predios-de-porto-alegre-nao-tem-marquises-regularizadas.html>. Acessado em: 07 de jan. de 2021.

Medeiros, M. H. F, Grochoski, M. “*Marquises: por que algumas caem?*”. Disponível em: http://www.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Marquises_quedas.pdf. Acessado em: 23 de dez. de 2020.

Melo, A. C. D. A. (2011), “*Estudo das manifestações patológicas nas marquises de concreto armado do Recife*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Pernambuco, Recife.

Motta, D. D. A. (2019), “*Manifestação patológica em estrutura de concreto armado: marquises - W3 SUL, BRASÍLIA/DF*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS, Brasília.

Nadaline, A. C. V., Bispo, A. O, (2017), “*Patologia em estruturas de concreto armado em ambiente marítimo*”. In: XIX COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias. Foz do Iguaçu, 2017.

Ribeiro, L. C. P. (2014), “*Análise de manifestações patológicas em marquises de concreto armado em Florianópolis-SC*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Rios, F. R. A., Silva, D. D. E., Costa, J. N., Souza, B. J. S., (2019), “*Análise das manifestações patológicas das marquises de concreto armado no centro de Campina Grande-PB*”. Revista do Regne, v. 5, n. Especial, 2019.

Santos, C. F. D. (2014), “*Patologia de estruturas de concreto armado*”. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Maria.

Santos, P. H. C., Filho, A. F. S. (2008), “*Eflorescência: Causas e Consequências*”. Artigo (Curso de Engenharia Civil), Universidade Católica do Salvador, Salvador.

Silva, M. T. A., Silva, A. C., Santos, C. F., Rocha, J. H. A., Costa, C. F. B., Monteiro, E. C. B. (2016), “*Análise do Estado de Conservação de uma Marquise de Edificação Residencial por meio de Ensaio de Ultrassom: um Estudo de Caso*”. In: Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural, Recife. Anais do Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural.

Estudo sobre a substituição de armadura de aço por barras de GFRP em vigas de concreto armadas à flexão.

A. Mazzú^{1*}, G. Dalfré¹, F. Ferreira¹

*Autor de Contato: amandadescobal@hotmail.com

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil

RESUMO

Este trabalho visou analisar o comportamento mecânico apresentado por quatro vigas de concreto com dimensões de 12x20x250 cm³, sendo duas armadas com barras de aço com diâmetro de 10 mm e duas com barras de GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer* – Polímero Reforçado com Fibras de Vidro) com diâmetro de 10 mm. As vigas foram submetidas a ensaio de flexão em três pontos para a determinação da capacidade resistente e deslocamento vertical a meio vão. Concluiu-se que as vigas com armadura de GFRP apresentaram capacidade resistente e deslocamento vertical a meio vão cerca de 10 kN e 25 mm superiores, respectivamente, e rigidez após a fissuração cerca de 66% inferior em relação às vigas com armadura de aço.

Palavras-chave: GFRP, FRP, aço, armadura, concreto.

ABSTRACT

This work aimed to analyze the mechanical behavior presented by four reinforced concrete beams with dimensions of 12x20x250 cm³, being two reinforced with steel bars with 10 mm diameter and two with GFRP bars (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) with 10 mm diameter. The beams were subjected to three point bending tests to determine the load capacity and vertical displacement in the middle span. It was concluded that the concrete beams with GFRP reinforcement presented load capacity and vertical displacement in the middle span of about 10 kN and 25 mm higher, respectively, and stiffness after cracking about 66% lower than the concrete beams with steel reinforcement.

Keywords: GFRP, FRP, steel, reinforcement, concrete.

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo analizar el comportamiento mecánico presentado por cuatro vigas de hormigón con dimensiones de 12x20x250 cm³, dos reforzadas con barras de acero de 10 mm de diámetro y dos con barras de GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer* – Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio) de 10 mm de diámetro. Las vigas se sometieron a ensayo de flexión en tres puntos para determinar la capacidad resistente y el desplazamiento vertical en el tramo medio. Se concluyó que las vigas con refuerzo de GFRP tenían una capacidad resistente y desplazamiento vertical en el tramo medio de unos 10 kN y 25 mm más altos, respectivamente, y una rigidez después de fisurarse un 66% más baja que las vigas con refuerzo de acero.

Palabras clave: GFRP, FRP, acero, refuerzo, hormigón.

1. INTRODUÇÃO

Ao contrário do que por muito tempo se acreditou, a alcalinidade do concreto não é suficiente para proteger as armaduras de aço das estruturas de concreto armado quando submetidas a condições ambientalmente agressivas, observando-se, em muitos casos, a presença de processos corrosivos nas armaduras. Segundo Graeff (2007), a degradação das estruturas pela ação da corrosão afeta diretamente a aderência entre o aço e o concreto, causa a redução da seção transversal da armadura, provoca o surgimento de tensões radiais de tração no concreto e seu deslocamento, alterando a capacidade resistente à tração e a ductilidade das barras.

De acordo com Head *et al.* (2015), visando a minimização dos problemas relacionados à corrosão das armaduras de aço, ao longo do tempo foram desenvolvidas novas técnicas e materiais, tais como a aplicação de barras revestidas com epóxi ou com uma combinação de zinco e epóxi, armaduras de aço galvanizadas, de aço inoxidável, revestidas com aço inoxidável ou a utilização de armaduras de Polímeros Reforçados com Fibras (de sigla internacional FRP – *Fiber Reinforced Polymer*).

Tavares (2006) afirma que a utilização de barras de FRP como alternativa à utilização de armadura de aço apresenta vantagens como maior durabilidade, menor massa e a não existência de campo eletromagnético. Além disso, conforme afirma José (2013), tais barras não sofrem corrosão.

Segundo o ACI 440.9R (2015), se corretamente projetados e fabricados, os FRPs podem prover uma vida útil mais longa e menores custos de manutenção do que quando aplicadas armaduras de aço convencional nas estruturas de concreto armado.

Os Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono (CFRP – *Carbon Fiber Reinforced Polymer*), Vidro (GFRP – *Glass Fiber Reinforced Polymer*), Aramida (AFRP – *Aramid Fiber Reinforced Polymer*) e Basalto (BFRP – *Basalt Fiber Reinforced Polymer*) são os mais utilizados. Dentre estes, Teng *et al.* (2003) afirmam que os compósitos de GFRP (em forma de mantas, barras ou laminados) e de CFRP (em forma de mantas, barras ou laminados) são os mais utilizados.

1.1 Justificativa

A utilização de barras de aço como armadura ativa e passiva em estruturas de concreto armado é muito comum na indústria da construção civil no Brasil, fato que se deve ao baixo custo de execução de uma obra em concreto armado com barras de aço quando comparado ao custo de execução de estruturas metálicas, e à existência de normas bem definidas para aplicação deste sistema construtivo (LIMA E PRADO, 2014). Entretanto, problemas são encontrados na aplicação deste sistema, principalmente os relacionados à corrosão das armaduras pelo ataque de cloretos ou pela carbonatação, gerando a necessidade da aplicação de novas tecnologias.

Conforme afirma Head *et al.* (2015), em 1997, nos EUA, foram gastos 2,5 bilhões de dólares com o Programa de Substituição de Pontes Rodoviárias (*Highway Bridge Replacement Program*) pela Lei de Eficiência do Transporte Intermodal de Superfície (ISTEA – *Intermodal Surface Transportation Efficiency Act*), sendo a maioria do montante destinado à substituição ou reabilitação de tabuleiros de pontes que foram deteriorados por problemas de corrosão das armaduras. De acordo com Oliveira, Greco e Bittencourt (2019), com relação ao Brasil, em um inventário realizado pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes), 66% dos danos observados nas 4725 pontes registradas estão associadas à corrosão das armaduras de aço e a degradação do concreto.

A aplicação de materiais tradicionais em estruturas complexas ou excepcionais tais como um reservatório submetido a um ambiente de grande agressividade ou uma instalação hospitalar com uma unidade de ressonância magnética, pode afetar a durabilidade e a funcionalidade da estrutura (CAMACHO, 2011). Além disso, grande parte das grandes cidades do Brasil estão localizadas em

regiões litorâneas, as quais apresentam maiores índices de corrosão nas armaduras metálicas devido à ação do ambiente mais agressivo. Assim, a utilização de barras não metálicas de FRP em estruturas de concreto pode minimizar e até evitar estes problemas.

1.2 Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo analisar comparativamente o comportamento mecânico, mais especificamente a capacidade resistente e o deslocamento vertical a meio vão, apresentado por vigas de concreto armadas com barras de aço e de GFRP submetidas à esforços de flexão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As barras de FRP são fabricadas por meio de um processo chamado pultrusão, o qual é realizado a uma velocidade de 0,9 m/min e que produz barras de seção transversal constante e comprimento limitado somente pelo transporte e o tamanho do galpão da fábrica. Este processo consiste no banho dos filamentos de fibra com resina, catalisador e aditivos. Durante este banho as fibras são impregnadas, o excesso de resina líquida é removido e, posteriormente, as fibras são estiradas para a formação do perfil desejado (COUTO, 2007). A Figura 1 apresenta um esquema do processo de fabricação das barras.

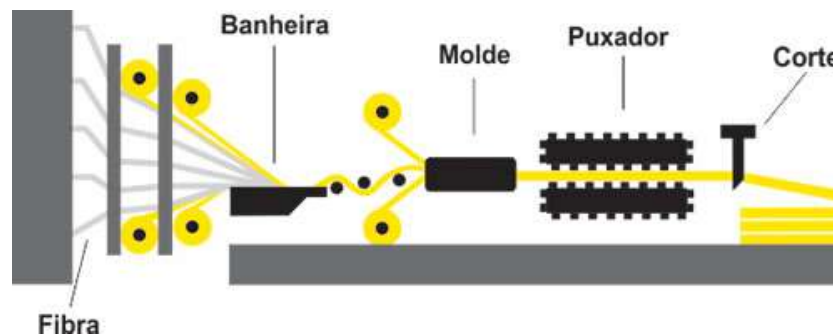


Figura 1. Processo de fabricação das barras de FRP.

Fonte: Stratus, 2020.

Barros (2004) afirma que a matriz polimérica (resina) possui a função de garantir que as fibras funcionem em conjunto, fornecendo proteção contra ambientes agressivos, danos mecânicos e fenômenos de instabilidade. A matriz, na maioria das vezes, é composta por resinas termoendurecíveis do tipo epóxi, uma vez que estas conferem boa aderência à maior parte dos materiais, boa resistência mecânica em ambientes agressivos e não absorvem água. As propriedades mecânicas dos compósitos de FRP são influenciadas pela escolha das fibras e resina, pela orientação das fibras, por efeitos dimensionais, controle de qualidade da produção e pelo tipo e duração do carregamento, temperatura e umidade (ACI 440.1R, 2015).

De acordo com o ACI 440.1R (2015), as barras de FRP atingem a resistência última sem apresentar patamar de escoamento, apresentam comportamento elástico linear e ruptura brusca, como ilustra a Figura 2. Segundo José (2013), as barras de FRP apresentam comportamento anisotrópico, o que significa dizer que a sua alta capacidade resistente é dada apenas na direção longitudinal. A resistência última depende da disposição e quantidade de fibras e do tipo de resina em cada barra. Segundo Pilakoutas *et al.* (2011), o FRP apresenta comportamento elástico linear até a ruptura do material e, em geral, pode desenvolver uma resistência à tração muito maior que o aço, embora seja menos rígido.

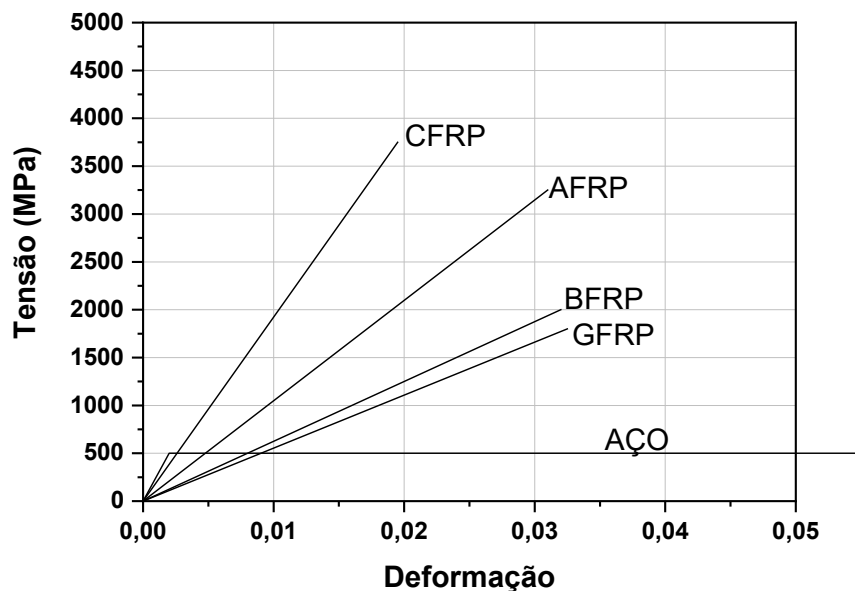


Figura 2. Diagrama tensão *versus* deformação do CFRP, AFRP, BFRP, GFRP e aço.
Fonte: Adaptado de *FIB BULLETIN 90*, 2010.

3. METODOLOGIA

Considerando-se o objetivo de avaliar a viabilidade da substituição de armadura de aço por barras de GFRP em vigas de concreto armado tendo em vista seu comportamento mecânico, foram moldadas quatro vigas de concreto armado, sendo duas com armadura longitudinal composta por duas barras de aço e duas com armadura longitudinal composta por duas barras de GFRP.

As vigas apresentam seção transversal de 12x20 cm, 250 cm de comprimento e 230 cm de vão livre entre apoios. A armadura das vigas é composta por duas barras de aço CA-50 com diâmetro de 10 mm ou duas barras de GFRP com diâmetro de 10 mm (taxa de armadura longitudinal de 0,75%). A fim de se evitar a ruptura por cisalhamento, foram utilizados, em todas as vigas, estribos de aço CA-60 com diâmetro de 5 mm espaçados a cada 10 cm. Foram utilizadas duas barras de aço CA-50 com diâmetro de 6,3 mm como porta estribos e cobrimento de concreto de 15 mm em todas as vigas. O concreto utilizado foi dosado em central e fornecido por meio de caminhão betoneira, apresentando resistência à compressão nominal de 30 MPa. Foi realizado ensaio de abatimento de tronco de cone no concreto utilizado, de acordo com as recomendações da ABNT NBR NM 67 (1998), de forma a se determinar a consistência do concreto. A Figura 3 apresenta as seções transversais das vigas de concreto armadas com barras de aço e de GFRP e o esquema estático de ensaio, enquanto a Figura 4 apresenta o posicionamento das armaduras na fôrma e a execução de ensaio de abatimento de tronco de cone.

As vigas foram submetidas a ensaio de flexão em três pontos 45 dias após a concretagem, obtendo-se os diagramas de tensão *versus* deformação das vigas, modos de ruptura e as deformações no concreto e na armadura longitudinal frente a aplicação de carregamento. Os ensaios de flexão em três pontos, os quais consistem na aplicação gradativa de carregamento a meio vão das vigas até que se atinja a ruptura, foram realizados utilizando-se uma máquina de ensaios universal da marca EMIC, modelo DL 600000, com capacidade de 200 tf, célula de carga com capacidade máxima de 600 kN, resolução de leitura de 0,1 kN e velocidade de 500 $\mu\text{m/s}$. Ao longo dos ensaios o deslocamento foi controlado por meio da utilização de transdutor interno à máquina de ensaios, a uma velocidade de 1 mm/min, e a força total aplicada foi medida por meio de célula de carga.

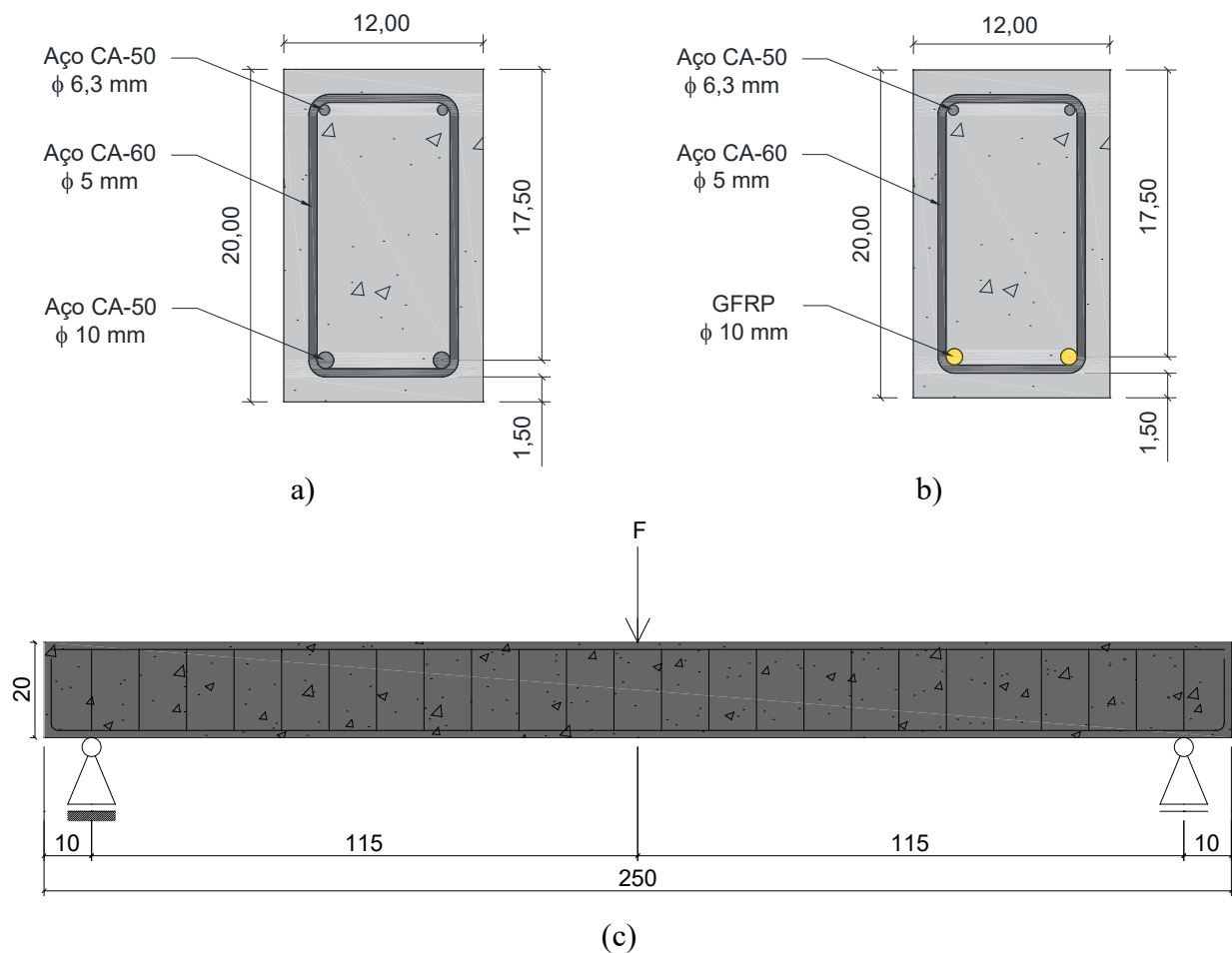


Figura 3. Seções transversais das vigas de concreto armadas com barras de aço (a) e GFRP (b) e esquema de ensaio de flexão em três pontos (c). Medidas em centímetros.

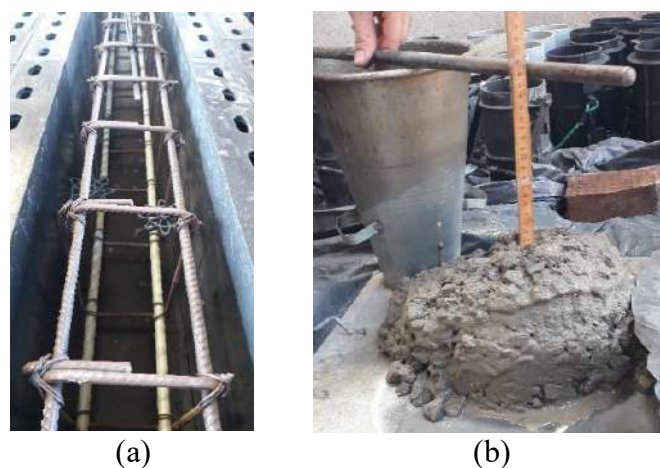


Figura 4. Posicionamento da armadura na fôrma (a) e ensaio de abatimento de tronco de cone no concreto fresco (b).

Para medir o deslocamento vertical das vigas foi utilizado um transdutor de deslocamento (LVDT) com campo de leitura de 100 mm ($\pm 0,01$ mm), fixado ao suporte externo da máquina de ensaios, posicionado a meio vão das vigas. Para medir as extensões na armadura longitudinal e no substrato de concreto foram utilizados extensômetros elétricos com resistência de 120 Ω , aderidos ao

concreto na face superior das vigas (SG1), a meio vão, e aderidos a uma das barras da armadura longitudinal positiva das vigas (SG2), também a meio vão. Os comprimentos da grade de leitura dos extensômetros fixados na armadura e no concreto foi de 10 mm e 50 mm, respectivamente. A Figura 5 apresenta o posicionamento do LVDT e extensômetros.

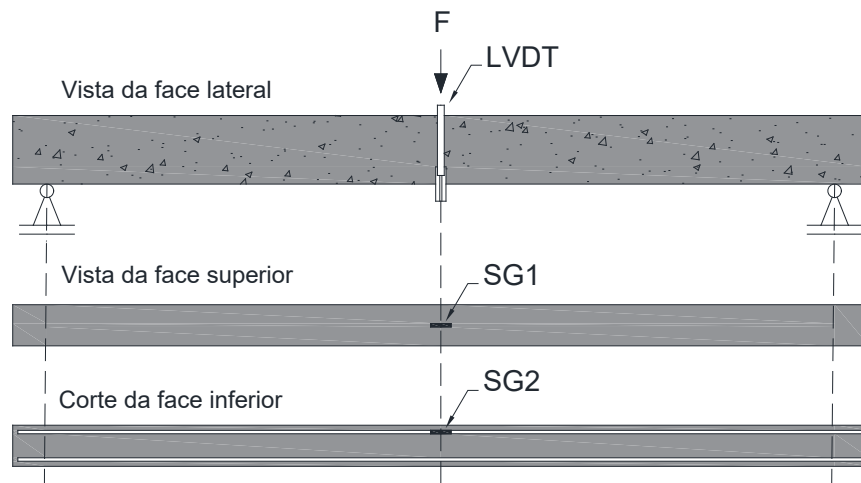


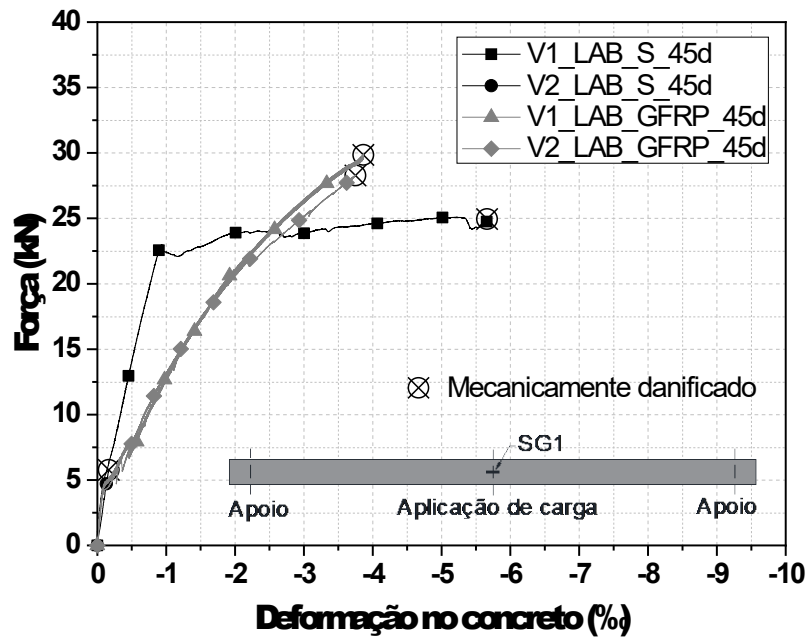
Figura 5. Posicionamento do LVDT e extensômetros.

Foram confeccionados corpos de prova de concreto segundo os procedimentos de moldagem e cura definidos pela ABNT NBR 5738 (2015), os quais foram ensaiados para obtenção da resistência à compressão do concreto, segundo as diretrizes da ABNT NBR 5739 (2018). As armaduras de aço foram submetidas à ensaio de tração direta, segundo a norma ABNT NBR 6892-1 (2018), obtendo-se, desta forma, o comportamento tensão *versus* deformação e o módulo de elasticidade do material. Com relação às barras de GFRP, não foi possível a realização de ensaio para determinação das propriedades do material, sendo consideradas as propriedades fornecidas pelo fabricante (resistência à tração igual a 1047 MPa e módulo de elasticidade igual a 48 GPa).

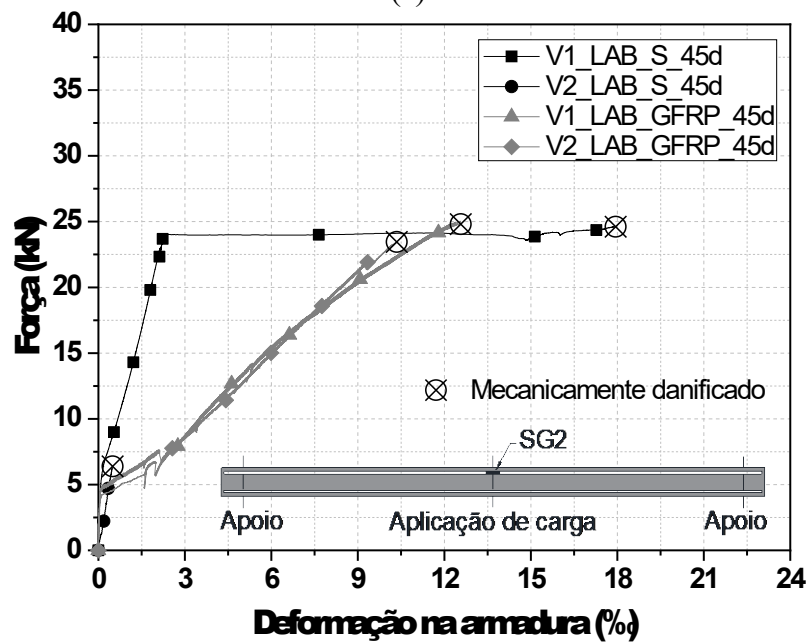
Os ensaios de caracterização dos materiais foram realizados 45 dias após a concretagem e foi obtida uma resistência à compressão média do concreto de 32,79 MPa, com coeficiente de variação de 10,21%, o qual foi calculado dividindo-se o desvio padrão pelo valor médio obtido. Foram obtidos resultados de abatimento de tronco de cone de 180 e 160 mm, no início e durante a concretagem das vigas e corpos de prova. Com relação às barras de aço, por meio de ensaio de tração direta nas amostras de barra de aço CA-50 com diâmetro de 10 mm foi possível observar que o aço começou a escoar com uma tensão de 565,35 MPa e deformação de 3,07%, apresentou módulo de elasticidade igual a 194,33 GPa e tensão última de 594,87 MPa.

4. RESULTADOS

A Figura 6 apresenta o diagrama de força *versus* deformação no concreto e na armadura para as vigas armadas com barras de aço e barras de GFRP. Foi utilizada uma nomenclatura para a qual S representa a utilização de armadura de aço e GFRP representa a utilização de armadura de GFRP.



(a)



(b)

Figura 6. Diagramas de força *versus* deformação no concreto (a) e na armadura (b).

Como o apresentado na Figura 6a, as deformações apresentadas pelo concreto das vigas armadas com barras de GFRP são maiores do que as apresentadas pelo concreto das vigas armadas com barras de aço. Tomando-se como exemplo uma força de 15 kN, a deformação no concreto das vigas V_LAB_S_45d é de cerca de -0,5‰ enquanto a deformação no concreto das vigas V_LAB_GFRP_45d é de cerca de -1,2‰. O mesmo acontece para as deformações apresentadas pelas barras de GFRP, as quais apresentam uma deformação próxima de 6‰ enquanto a deformação nas barras de aço é de cerca de 1,5‰ para a mesma força de 15 kN, como pode ser visto na Figura 6b. Analisando a Figura 6 é possível observar o comportamento típico das armaduras de aço e de GFRP, sendo que a primeira apresenta comportamento elástico linear até o

escoamento, seguido de um patamar no qual a deformação aumenta sem grandes incrementos de força, e a segunda apresenta comportamento elástico linear até a ruptura.

Por fim, apresenta-se, na Figura 7, o diagrama de força *versus* deslocamento vertical das vigas armadas com barras de aço e de GFRP.

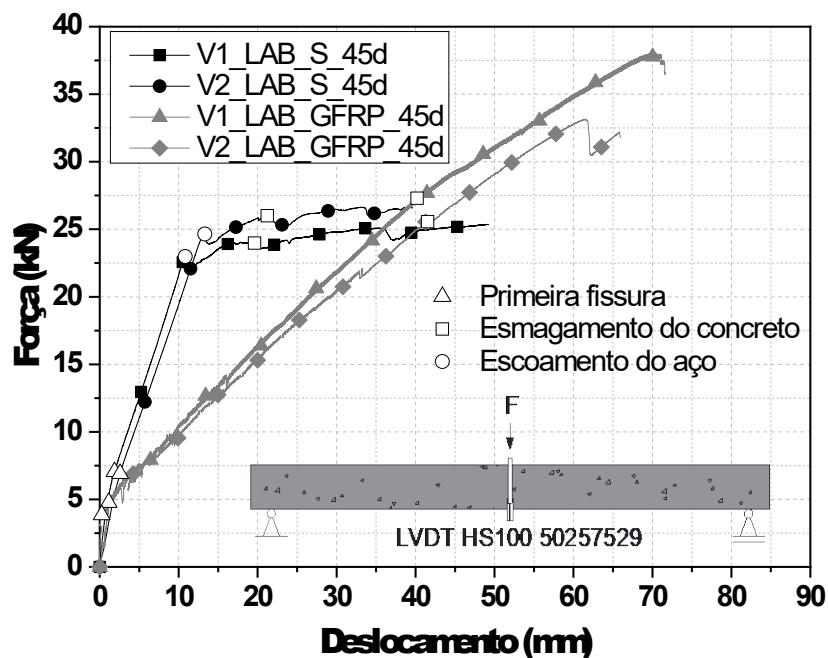


Figura 7. Diagramas de força *versus* deslocamento vertical.

Para as vigas armadas com barras de aço foram observados três estágios bem definidos, sendo o primeiro representado pelo concreto não fissurado, em regime elástico, o segundo representado pelo concreto fissurado e a armadura de aço em regime elástico linear até o início do escoamento e o terceiro representado pelo escoamento da armadura. Com relação às vigas armadas com barras de GFRP, foram observados dois estágios, sendo o primeiro representado pelo concreto não fissurado, em regime elástico, e o segundo pela armadura em regime linear até a ruptura. Na Figura 7 é possível observar que as vigas armadas com barras de aço apresentaram capacidade resistente inferior a apresentada pelas vigas armadas com barras de GFRP, sendo por volta de 25 kN para as vigas armadas com barras de aço e por volta de 35 kN para as vigas armadas com barras de GFRP. Entretanto, as vigas armadas com barras de GFRP apresentaram deslocamento vertical a meio vão superior ao apresentado pelas vigas armadas com barras de aço, sendo entre 40 e 50 mm para as vigas armadas com barras de aço e entre 65 e 75 mm para as vigas armadas com barras de GFRP, o que já era esperado tendo em vista a diferença entre os módulos de elasticidade dos materiais. Nota-se que o modo de ruptura das vigas armadas com barras de aço foi o escoamento da armadura com posterior início de esmagamento do concreto, enquanto o modo de ruptura das vigas armadas com barras de GFRP foi o esmagamento do concreto, uma vez que foi observado o surgimento de fissuras de esmagamento na região de aplicação de força com posterior ruptura da armadura de GFRP, configurando uma ruptura do tipo frágil. Ainda se pode observar na Figura 7 que a força para a qual se iniciou a fissuração do concreto foi muito próxima para todas as vigas, entre 5 e 8 kN, todavia, após a fissuração, a rigidez das vigas armadas com barras de GFRP passou a ser 66% inferior.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho estudou a substituição das barras de aço por barras de GFRP em vigas de concreto armado, tendo em vista o comportamento mecânico do elemento estrutural. Para isso, foram moldadas vigas de concreto armadas com barras de aço e de GFRP a fim de se verificar o modo de ruptura, a capacidade resistente e os deslocamentos verticais a meio vão.

Desta forma, foi possível concluir que as vigas armadas com barras de GFRP apresentaram capacidade resistente superior à apresentada pelas vigas armadas com barras de aço, sendo superior em cerca de 10 kN. Por outro lado, as vigas armadas com barras de GFRP apresentaram deslocamento vertical a meio vão aproximadamente 25 mm superior, tendo em vista o menor módulo de elasticidade do GFRP (48 GPa) quando comparado ao do aço (194,33 GPa). A utilização de armadura longitudinal composta por barras de GFRP altera o modo de ruptura do elemento estrutural, resultando em uma ruptura mais frágil (esmagamento do concreto) quando comparada à utilização de armadura composta por barras de aço (escoamento do aço).

Assim, do ponto de vista estrutural, a utilização do GFRP como armadura é vantajosa, uma vez que a capacidade resistente obtida com a utilização deste material é superior à obtida com a utilização do aço como armadura. É necessário apenas que, no momento de projeto, as limitações de deslocamento impostas às estruturas de concreto sejam avaliadas, já que os deslocamentos verticais obtidos com a utilização de barras de GFRP são maiores do que os obtidos com a utilização das barras de aço convencionais.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

7. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI COMMITTEE 440.1R**. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. 2015.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI COMMITTEE 440.9R**. Guide to Accelerated Conditioning Protocols for Durability Assessment of Internal and External Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6892-1**. Materiais metálicos – Ensaio de tração, Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BARROS, J. A. O. **Materiais compósitos no reforço de estruturas**. Jornadas de Engenharia Civil 2004 – Novos Desafios, Guimarães, 2004.

CAMACHO, L. F. C. **A utilização de varões de GFRP nas estruturas de betão armado**. Funchal, 2011. 189p. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira.

COUTO, I. A. **Análise teórica e experimental do comportamento da aderência entre o concreto e barras de fibra de vidro impregnada por polímero**. São Carlos, 2007. 153p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **FIB BULLETIN 90**. Externally applied FRP reinforcement for concrete structures – Technical report. 2019.

GRAEFF, A. G. **Avaliação experimental e modelagem dos efeitos estruturais da propagação da corrosão em elementos de concreto armado**. Porto Alegre, 2007. 184p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HEAD, M.; ASHBY-BEY, E.; EDMONDS, K.; EFE, S.; GROSE, S.; MASON, I. (2015). **Stainless Steel Prestressing Strands and Bars for use in Prestressed Concrete Girders and Slabs**. Maryland State Highway Administration/Morgan State University, Baltimore, p. 121.

JOSÉ, R. N. F. **Automatização do dimensionamento de elementos estruturais em betão armado com GFRP**. Funchal, 2013. 141p. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira.

LIMA, R. S.; PRADO, F. S. Análise numérica de vigas de concreto armadas com barras de fibra de vidro (GFRP) e aço. In: **SEMINÁRIO MAUÁ DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 6., 2014, São Caetano do Sul. Anais... São Caetano do Sul, 2014.

OLIVEIRA, C. B. L.; GRECO, M.; BITTENCOURT, T. N. (2019). Analysis of the brazilian federal bridge inventory. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 1, Jan/Fev. 2019.

PILAKOUTAS, K.; NEOCLEOUS, K.; GUADAGNINI, M.; MATTHYS, S. Design guidelines for FRP reinforced concrete structures. **Structures and buildings**, v. 164, p. 255 - 263, Agosto/2011.

STRATUS. Stratus FRP, 2020. **Processo de Pultrusão**. Disponível em: <http://www.stratusfrp.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=25>. Acesso em: 10 de mar. de 2021.

TAVARES, D. H. **Análise teórica e experimental de vigas de concreto armadas com barras não metálicas de GFRP**. São Carlos, 2006. 128p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

TENG, J. G.; CHEN J. F.; SMITH, S. T.; LAM, L. Behaviour and strength of FRP-strengthened RC structures: a state-of-the-art review. **Structures & Buildings**. v. 156, p. 51-62, 2003.

PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CONCRETO EM CÂMARA DE NÉVOA SALINA – ANÁLISE DO EFEITO DA CLASSE DE RESISTÊNCIA E DO TIPO DE REVESTIMENTO.

N. BRUGNERA^{1*}, F. PACHECO², R. CHRIST³, H.Z. EHRENRING⁴

*Autor de Contacto: eng.nataliab@gmail.com

¹ Engenheira Civil e Pós-Graduada em Desempenho e Patologia das Construções pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

² Engenheira Civil e Doutora pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, pesquisadora itt Performance

³ Engenheiro Civil e Doutor pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, pesquisador itt Performance

⁴ Engenheiro Civil e Doutor pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, pesquisador itt Performance

RESUMO

A agressividade provocada pelos íons cloreto no concreto é conhecida e difundida no meio científico. As normas técnicas traduzem através de requisitos de composição dos concretos como eles podem resistir a tais danos, de modo a apresentar durabilidade satisfatória. Avaliou-se através do ensaio acelerado de névoa salina, regido pela ASTM B117 dois diferentes concretos, contando ainda com os revestimentos epóxi e acetinado. A análise foi realizada através de aspersão do reagente químico de nitrato de prata nos corpos de prova e identificando assim a espessura da frente agredida pelos íons cloreto. Os resultados obtidos com a análise apontaram que os corpos de prova revestidos a base de epóxi são mais resistentes a penetração dos íons cloretos em relação ao revestimento acrílico, além disso estão diretamente relacionados ao menor valor de fator água/cimento.

Palavras chave: durabilidade do concreto, penetração de cloretos, ensaio acelerado.

ABSTRACT

The aggressiveness caused by chloride ions in concrete is known and widespread in scientific circles. The technical standards translate through concrete composition requirements how they can withstand such damage, in order to present satisfactory durability. Two different concretes were evaluated through the accelerated salt spray test, governed by ASTM B117, with epoxy and satin coatings. The analysis was performed by spraying the chemical reagent of silver nitrate on the specimens and thus identifying the thickness of the front damaged by chloride ions. The results obtained from the analysis showed that the epoxy-based coated specimens are more resistant to the penetration of chloride ions in relation to the acrylic coating, in addition they are directly related to the lower value of water/cement factor.

Keywords: concrete durability, chloride penetration, accelerated test.

1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento das estruturas de concreto armado foi pautado por muito tempo apenas em suas propriedades mecânicas. Atualmente, no entanto, sabe-se que a durabilidade é um parâmetro

de projeto que deve ser levado em consideração (GJORV, 2014; NEVERKOVICA; KORJAKINS, 2014). Segundo Chemrouk (2015), os aspectos relacionados à durabilidade têm relação direta com a sustentabilidade das edificações.

O rápido aumento dos números de manifestações patológicas é uma forte indicação de que as edificações estão envelhecendo de forma precoce. Esse crescimento ocorre pelo emprego inadequado de práticas construtivas durante as etapas de planejamento, projeto, materiais, execução, manutenção e utilização além da combinação de efeitos do ambiente agressivo com os problemas relacionados a estrutura (ANDRADE, 2001). Na atualidade, percebe-se que países desenvolvidos já gastam mais com reparo e recuperação do que com novas edificações, e países em desenvolvimento ainda tem construções com deterioração precoce (CHEMROUK, 2015; HERBERT; LI, 2012)

Segundo Helene (2013), uma das manifestações mais frequentes nas estruturas de concreto é a corrosão de armaduras. A corrosão das armaduras é uma manifestação patológica que pode comprometer as propriedades mecânicas e a durabilidade dos elementos estruturais e de difícil solução. A corrosão pode ser desencadeada pelo fenômeno de carbonatação do concreto. Segundo Pack et al (2018), esse fenômeno ocorre quando o dióxido de carbono presente na atmosfera ingressa no concreto formando o carbonato de cálcio. Assim, reduz-se o pH do concreto, desestabilizando o filme de passivação que envolve as barras e causando sua agressão. Bagha, Yekefallah e Shayanfar (2020) pontuam que esse ataque depende dos fatores ambientais, da composição do concreto e das condições de operação das edificações.

Estratégias podem ser implementadas visando a redução da ocorrência do ataque salino em edificações. Em termos de estrutura de concreto, seu revestimento pode impactar e proporcionar proteção. Considerando esse cenário, este trabalho tem por objetivo avaliar a influência do tipo de revestimentos superficial no ingresso de cloretos. Para tanto corpos-de-prova com diferentes condições superficiais de revestimento foram submetidos a 4.500 horas em uma câmara de névoa salina e posteriormente a penetração dos íons cloretos foi determinada através da aspersão de nitrato de prata.

2. PROCEDIMENTO

A medição do avanço da frente de íons cloretos, foi realizada através da aspersão de solução de nitrato de prata, posterior a retirada das amostras da câmara de névoa salina, que permaneceram por 4.500 horas. No total foram moldadas 18 amostras, 9 com concreto de traço TR1 e as demais com traço TR2. Desse total, 3 corpos de prova de cada traço ficaram sem revestimento para serem utilizadas como referência. Em cada traço, 3 corpos de prova foram revestidos com tinta epóxi e outros 3 com tinta acetinada. Na Figura 1 observa-se, através do fluxograma, as etapas que compreenderam a realização do programa experimental.

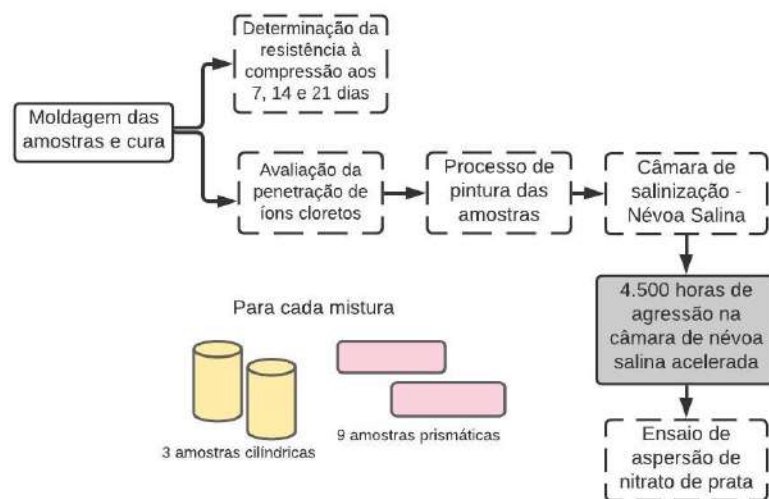


Figura 1 - Fluxograma das etapas do programa experimental.

2.1 Confeção das amostras

Como demonstrado na Figura 1, para cada traço foram desenvolvidas amostras cilíndricas e prismáticas e colocadas em ambiente de agressão acelerada. Cada mistura contou com dois tipos de revestimentos, sendo tinta epóxi e tinta acetinada. Foram guardadas duas amostras sem pintura. As amostras confeccionadas têm formato cilíndrico, de diâmetro 100 mm de altura de 200 mm, moldadas conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015) para o ensaio de resistência mecânica à compressão. As amostras expostas à câmara de névoa salina, para análise da penetração de íons cloretos, utilizou-se amostras prismáticas, com dimensões de 60 mm x 60 mm e comprimento de 180 mm. As fôrmas para as amostras cilíndricas utilizadas foram metálicas e as amostras prismáticas de madeira, além disso, utilizou-se desmoldante em ambas. A desforma de todas as amostras ocorreu 24 horas após a moldagem.

A cura foi conduzida em câmara de umidade controlada. Para a caracterização mecânica dos traços, foi avaliada sua resistência à compressão através das amostras cilíndricas, sendo as idades de análise 7, 14 e 28 dias, contando sempre com duas amostras.

2.2 Câmara de névoa salina

O ataque por íons cloreto ocorreu através de exposição das amostras em ambiente de ensaio preconizado na ASTM B117:2011. A câmara de ensaio empregou uma concentração de cloreto de sódio (NaCl) de 5%, com o ambiente saturado, temperatura interna de 35°C e Ph da solução salina entre 6,5 e 7,2. As amostras permaneceram na câmara por 4.500 horas. A Figura 2 apresenta a câmara utilizada para o ensaio.



Figura 2– Câmara de névoa salina. Fonte: Site ITT Fuse.

2.3 Materiais utilizados

Os traços utilizados em massa e o fator água/cimento estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição dos traços.

	TR1	TR2
cimento:areia:brita	1:2,77:3,43	1:2,14:3,05
fator água/cimento	0,49	0,46

O concreto foi disponibilizado por uma concreteira situada na cidade de Passo Fundo/RS.

2.3.1 Aditivo superplastificante

Utilizou-se aditivo superplastificante, o uso do aditivo foi de 0,15% em relação à massa de cimento do traço TR 1 e 0,38% em relação à massa de cimento do TR2. A densidade do superplastificante a 20°C é 1,05 a 1,07 g/cm³ e apresenta teor de cloretos menor que 0,1%, informações oriundas do fabricante.

2.3.2 Materiais de revestimento

Para as duas tintas foram utilizadas duas demãos.

a) Tinta Epóxi

Utilizou-se tinta epóxi, com acabamento epóxi poliamida, bi componente, de baixa espessura, este produto atende a norma Petrobras N 1198 Tipo II. As características são: aspecto brilhante, com espessura de 30 micrometros seco, com rendimento de 14m²/litro, temperatura máxima de 90°C.

b) Tinta Acetinada

A tinta acetinada é uma emulsão acrílica, composta por espessantes, pigmentos, cargas minerais, aditivos, dispersantes, conservantes e água. As características da tinta são viscosidade de 100-105KU, densidade de 1,37 g/cm³ e ph variando de 8 a 9,5.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência mecânica à compressão foi realizado nas idades de 7, 14 e 28 dias, sempre contando com três amostras por traço, conforme as diretrizes da ABNT NBR 7680 (2015).

3.2 Determinação do ataque por cloretos

Com a utilização de aspersão do indicador químico de solução de nitrato de prata (AgNO_3), foi realizada a verificação da frente de ataque por cloretos nos corpos de prova. De modo que fosse verificado a diferença da resistência ao ataque por cloretos dos revestimentos, seis corpos de prova foram selados com o uso de tinta à base de epóxi, seis com tinta acetinada a base de água, ambas aplicadas em duas demãos nas amostras e outras oito sem revestimento.

Após permanecerem na câmara salt spray os corpos de prova foram submetidos a aspersão com uma solução de nitrato de prata. Foram avaliados dois tipos de revestimento de superfície e dois traços de concreto.

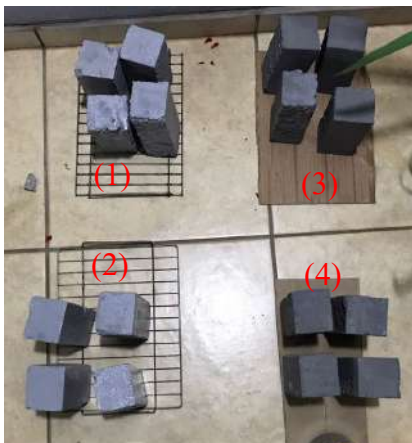


Figura 3 – Corpos de prova 1 e 2 após aplicação de tinta epóxi e 3 e 4 após a aplicação de tinta acetinada.



Figura 4 – Corpos de prova sem a aplicação de revestimentos.

A solução química de nitrato de prata possui coloração marrom para áreas onde não há presença de cloretos e mantém a identificação natural do concreto para áreas atacadas. Entretanto, a coloração da solução química de nitrato de prata não possui tamanha nitidez nas amostras de concreto, sendo difícil identificar as zonas agredidas e ilesas.

Por esse motivo, com o uso do software Arc Map 10.3, identificou-se diferentes pontos de coloração da imagem e permitindo realizar a identificação das áreas com maior penetração de cloretos, conforme observa-se na Figura 5.

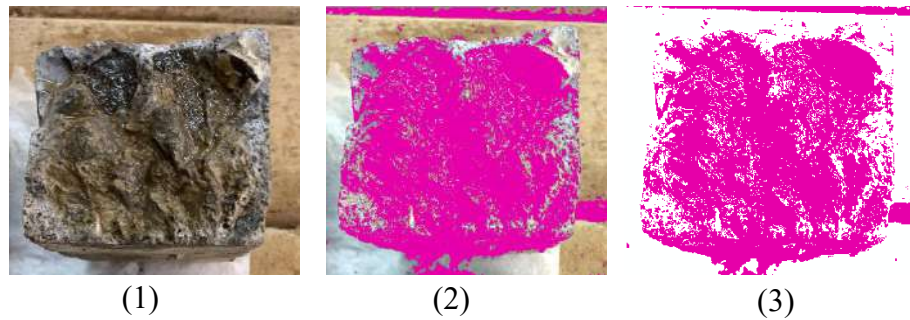


Figura 5 - Fotografias 1 e 2 das amostras com identificação de tonalidade e imagem 3 gerada após identificação de tonalidade.

Após o tratamento das imagens, procedeu-se com a mensuração das frentes de penetração dos íons cloreto pelo uso do AutoCad™.

Nas imagens da Figura 5, está apresentado uma amostra do TR1 sem revestimento.

4. RESULTADOS

4.1 Característica mecânica dos traços

O ensaio de resistência mecânica à compressão foi realizado nas idades de 7, 14 e 28 dias, sempre contando com uma amostra por idade. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados na determinação da resistência à compressão.

Traço	Nº CP	Carga de Ruptura (kgf)	Área (mm ²)	Resistência à compressão (MPa)
TR1	1	11214	7854,0	14,0
	2	14661	7854,0	18,3
	3	14938	7697,7	19,0
TR2	4	12426	7697,7	15,8
	5	13439	7854,0	16,8
	6	14223	8011,8	17,4

A Figura 6, apresenta os valores obtidos no ensaio de resistência a compressão.

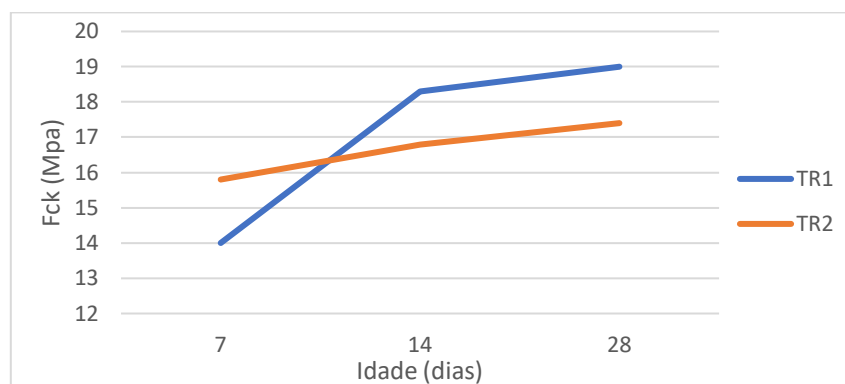


Figura 6 – Valores obtidos de resistência à compressão.

Conforme apresentado na Figura 6, não houve um comportamento similar entre os dois traços. O traço 1 apresentou evolução de resistência à compressão com o valor final de somente 3,68% superior a verificação aos 14 dias, tendo apresentado o maior valor nas idades de 14 e 28 dias. O

traço 2 apresentou resistência à compressão sempre em ascendência, com apenas 3,45% superior a idade de 14 dias para 28 dias. Avalia-se que as composições do concreto apresentadas não têm comportamento final em concordância com o estipulado em norma, além de não atingirem a resistência à compressão especificada pela fornecedora de concreto. Dessa forma, observou-se um crescimento da resistência com a idade, bem como a influência da relação água/cimento na resistência à compressão.

Conforme citado, podem ser atribuídas a estas amostras falhas no experimento, podendo ser advindas da falta de linearidade dos corpos de prova, da existência de vazio em seu interior, teor de umidade no momento do ensaio, entre outros. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), concretos com maior resistência à compressão apresentam valores menores de índice de vazios, sendo a presença de vazios uma desvantagem para o ganho de resistência e o suporte de carga dos concretos.

Inúmeros estudos já desenvolvidos relatam esta relação entre o índice de vazios do concreto e sua resistência à compressão, como o de Shinde e Valunkjar (2015) que, ao desenvolverem concretos permeáveis, e portanto com elevado índice de vazios, perceberam a redução da resistência à compressão; e o de Campos, Mazini e Neto (2012), que, ao incorporarem agregado de maior índice de vazios causaram este acréscimo nos vazios totais do concreto e reduziram linearmente a resistência à compressão das composições.

4.2 Frente de ataque por cloretos

A verificação da frente de ataque por cloretos foi realizada em 4.500 horas após a colocação das amostras na câmara de salt spray. Os valores estão apresentados na Tabela 3. Os resultados da penetração estão apresentados em milímetros e foram determinados em comparação com os três diferentes revestimentos.

Tabela 3 – Valores máximos de frente de penetração de névoa salina.

Identificação das amostras	Sem revestimento	Revestimento Epóxi	Revestimento Acetinado
Traço - TR1			
Amostra 1	21,5	8	12,8
Amostra 2	14,6	3,6	9,9
Amostra 3	18,3	2,5	12,3
Traço - TR2			
Amostra 1	15,8	2,1	5,4
Amostra 2	13,2	3,6	7,7
Amostra 3	18,5	2,1	10,3

A Figura 7 ilustra o comportamento obtido frente a penetração de cloretos para o traço TR1 e TR2.

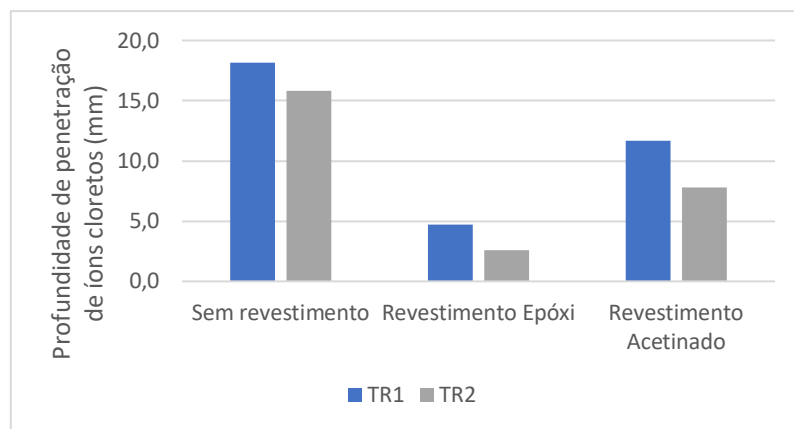


Figura 7 – Resultados dos valores máximos obtidos de frente de penetração dos íons cloretos no concreto de TR1 e TR2.

No gráfico da Figura 7, observa-se a influência do tipo de revestimento superficial utilizado, na penetração dos íons cloretos após 4.500 horas submetidos a câmara salt spray.

Verifica-se que foram obtidas diferenças consideráveis de penetração dos íons cloretos entre os revestimentos utilizados em comparação com as amostras sem revestimento. Sabe-se que os valores retirados na medição dos corpos de prova foram os máximos valores obtidos de frente de íons cloretos e no gráfico está apresentado a média entre eles. Os valores maiores de penetração foram apresentados pelos corpos de prova sem revestimento, chegando a 18,1 mm no TR1 e 15,8 mm no TR2. Já nas amostras com revestimento acetinado, os valores de ingresso de cloretos reduziram chegando ao valor máximo de 11,7mm. Nos corpos de prova revestidos com tinta à base de epóxi, os valores de penetração de cloretos diminuíram significativamente, com no máximo 4,7mm.

As verificações de frente de ataque por cloretos no concreto de traço TR2, resultaram em valores menores do TR1, quando comparados os mesmos tipos de revestimento. Este resultado indica a influência da relação água/cimento no comportamento de concretos frente à penetração de cloretos. Isso se confirma nos estudos de Teixeira e Costa (2020) e Oliveira et al (2020), consequentemente, em que mostra a penetração de íons cloretos em média até 25,15mm com fator água/cimento de 0,60 e 12,75 mm de penetração de íons cloretos e fator água/cimento de 0,45.

Ainda no gráfico 7, pode-se observar os resultados obtidos nos corpos de prova sem revestimento. Conforme observa-se, os valores obtidos de ataque de cloretos do traço TR1 foram menores do que a penetração no traço TR2. Em relação aos resultados com revestimento, os corpos de prova com tinta epóxi demonstram ser mais resistentes ao ataque de íons cloretos.

Nos corpos de prova com revestimento acetinado, foram encontrados valores de penetração de íons cloretos consideráveis, comparados com as amostras sem revestimentos.

5. CONCLUSÃO

O estudo consistiu na moldagem de corpos de prova cilíndricos e prismáticos. Os cilíndricos foram testados a resistência à compressão e os corpos de prova prismáticos foram revestidos com tintas epóxi e acetinada, após foram levados à câmara de névoa salina, que permaneceram por 4.500 horas. Com a utilização de aspersão da solução de nitrato de prata, foi feita a medição da frente de penetração de íons cloretos nos corpos de prova.

Os resultados obtidos com a medição do ataque dos íons cloretos nas amostras utilizando diferentes tintas referenciadas pelo concreto sem revestimento, explicitaram a importância em proteger estruturas de concreto, pois contribui para a longevidade e durabilidade.

Com o estudo, foi possível analisar a influência das propriedades que compõem o concreto. Com a medição da frente de penetração dos íons cloretos nas amostras verificou-se que além da utilização das proteções do concreto com tintas, a diferença na composição dos traços implica na durabilidade.

No concreto de traço TR1, utilizou-se um fator água/cimento de 0,46, que torna o concreto com porosidade baixa e conseqüentemente mais resistente aos agentes agressivos, neste caso os íons cloretos. Já no TR2, a porosidade gerada foi maior, devido a quantidade de água (fator água/cimento igual a 0,49) em relação a quantidade de cimento utilizada.

Dessa forma, conclui-se que os resultados são função exclusivamente do fator água/cimento, pois comanda a porosidade e conseqüentemente a facilidade dos íons cloretos penetrarem.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014. 238 p.

_____. NBR 7680: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 27 p.

_____. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 9 p.

_____. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003. 6 p.

_____. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006. 8 p.

_____. NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011. 6 p.

American Society for Testing and Materials. ASTM B 117: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. West Conshohocken.

Andrade, J. J. O. (2001), *Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos*. Dissertação (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BAGHA, M.G; YEKEFALLAH, M.R; SHAYANFAR, M.A. Durability of RC Structures against carbonation-induced corrosion under the impact of climate change. KSCE Journal of Civil Engineering, 24, 131-142, 2020.

Campos, C. F. S.; Mazzini, G. B.; Silva Neto, G. A. *Análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com resíduo sólido de cerâmica vermelha*. *Colloquium Exactarum*. v. 4, n.2, 2012. p. 01-11.

CELADYN, W. *Innovative Structural Systems*. v. 1, n. International Scientific Workshops „Innovative Structural Systems in Architecture” (ISSA2016) November 3-5, 2016, Wrocław, Poland, 2016.

CHEMROUK, M. *The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete*. In: The 5th international conference of Euro Asia Civil Engineering Forum-EACEF 5. **Procedia Engineering** 125, p 713-724, 2015.

CZARNECKI, L; GERYLO, R; KUCZYNSKI, K. Concrete repair durability. *Materials*, 2020 , 13, 4535.

GJØRV, Odd E. **Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments**. 2. ed. Boca Raton: Crc Press, 2014

HELENE, Paulo. *Os Principais Mecanismos de Deterioração que Prejudicam a Vida Útil da Estrutura*. Gramado: 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 2013. Color.

HERBERT, E.; LI, V. Self-healing of engineered cementitious composites in the 351 natural environment. **Performance Fiber Reinforced Cement Composites** 6, p. 155–162, 2012.

KIM, M. J.; ANN, K. Y. Corrosion Risk of Reinforced Concrete Structure Arising from Internal and External Chloride. *Advances in Materials Science and Engineering*, v. 2018, 2018.

MEHTA, P. K. *Durability of Concrete – Fifty Years of Progress?* In: Seminário Qualidade e Durabilidade das Estruturas de Concreto. (Anexo aos Anais). Porto Alegre, NORIE/CPGEC/UFRGS, 1993. 33 p.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

NEVERKOVICA, D.; KORJAKINS, A. Influence of Additives on Reinforced Concrete Durability. **Construction Science**, v. 16, n. 1, p. 21–26, 2014.

NEVILLE, Adam M. *Propriedades do Concreto*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 912 p.

OLIVEIRA, G. Y. S.; FERREIRA, B. E. S.; GUEDES, J. F.; BARBOSA, E. S. *Análise de Ataque por Cloretos em Concreto Leve Estrutural com Argila Expandida*. Anais do Congresso Brasileiro da Patologia das Construções. Anais...2020

PACK, S; JUNG, M.S; KANG, J.W; ANN, K.Y; KIM, J. Assessment of Durability of Concrete Structure Subject to Carbonation with Application of Safety Factor. **Advances in Materials Science and Engineering**, vol. 2018.

RINCÓN, O.T et al. Reinforced Concrete Durability in Marine Environments DURACON Project: Long-Term Exposure. **CORROSION** 1 June 2016; 72 (6): 824–833.

RISSARDI, C. Z. ; DE SOUZA, C. F. N. ; PACHECO, F. ; CHRIST, R. ; SILVEIRA, L. F. . Chloride attack evaluation on concrete compositions according to Brazilian standard ABNT NBR 6118 specification. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 1, p. 19, 2016.

SEUNG- WOO, P; JUNG, M.S; KANG, J.W; ANN, K.Y; KIM, J. Assessment of Durability of Concrete Structure Subject to Carbonation with Application of Safety Factor. **Advances in Materials Science and Engineering**, vol. 2018, Article ID 2430630, 10 pages, 2018.

SHAIKH, F. U. A. *Effect of Cracking on Corrosion of Steel in Concrete*. International Journal of Concrete Structures and Materials, v. 12, n. 1, 2018.

SHINDE, Gaurav Uttam; VALUNJKAR, S. S. An Experimental Study on Compressive Strength, Void Ratio and Infiltration Rate of Pervious Concrete. **International Journal of Engineering Research and Technology**, v. 4, n. 4, 2015.

SOUZA, Darcio Oliveira de et al. Investigação da corrosividade do ensaio de névoa salina segundo norma ISO 9227. In: Encontro e exposição brasileira de tratamento de superfície/III interfinish, 2012, São Paulo. Anais do EBRATS 2012. São Paulo: ABRATS, 2012. p. 360 - 367.

TANG, W.; KARDANI, O.; CUI, H. Robust evaluation of self-healing efficiency in cementitious materials - A review. **Construction and Building Materials**, v. 81, p. 233–247, 2015.

TEIXEIRA, F. R.; COSTA, V. S. *Penetração de Cloretos em Concretos com Substituição Parcial do Aglomerante Pelo Resíduo do Beneficiamento de Rochas Ornamentais*. Anais do Congresso Brasileiro da Patologia das Construções. Anais...2020

Manifestações Patológicas em Pavimentos Asfálticos nos Centros Urbanos

A. R. S. Oliveira^{1*}, M. A. Salomão¹, R. C. Santos¹, M. T. G. Barbosa¹

*Autor de Contato: amanda.rodriques@engenharia.ufjf.br

¹ Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído, Faculdade de Engenharia. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil

RESUMO

As vias urbanas são fundamentais para o desenvolvimento social e econômico das cidades, auxiliando os meios de transportes e a mobilidade urbana. O objetivo do trabalho é efetuar o levantamento das anomalias em pavimentos asfálticos das principais vias de acesso localizadas na cidade de Juiz de Fora (MG) que tendem a comprometer a mobilidade urbana na cidade. Sendo assim, é efetuada uma revisão bibliográfica, bem como um estudo de caso, através de vistoria visual nas principais vias localizadas nas 8 (oito) regiões do município bem como, apresenta-se as técnicas de recuperação dos pavimentos. Finalmente, acrescenta-se a relevância do planejamento dos serviços da restauração e manutenção para a garantia da vida útil dos pavimentos e para a qualidade e segurança trânsito de veículos e pedestres.

Palavras-chave: mobilidade urbana; pavimentação; via pública; manifestações patológicas.

ABSTRACT

Urban roads are fundamental for the social and economic development of cities, supporting means of transport and urban mobility. The objective of the work is to survey the anomalies in asphalt

pavements of the main access roads located in the city of Juiz de Fora (MG) that tend to compromise urban mobility in the city. Thus, a bibliographical review is carried out, as well as a case study, through a visual inspection of the main roads located in the 8 (eight) regions of the city, as well as the pavement recovery techniques. Finally, it adds the relevance of planning restoration and maintenance services to guarantee the useful life of the pavements and for the quality and safety of traffic for vehicles and pedestrians.

Keywords: urban mobility; paving; public highway; pathological manifestations.

RESUMEN

Las vías urbanas son fundamentales para el desarrollo social y económico de las ciudades, ayudando a los medios de transporte y la movilidad urbana. El objetivo del trabajo es relevar las anomalías en pavimentos asfálticos de las principales vías de acceso ubicadas en la ciudad de Juiz de Fora (MG) que tienden a comprometer la movilidad urbana en la ciudad. Para ello, se realiza una revisión bibliográfica, así como un estudio de caso, a través de una inspección visual de las principales vías ubicadas en las 8 (ocho) regiones de la ciudad, así como las técnicas de recuperación del pavimento. Finalmente, se suma la relevancia de planificar los servicios de restauración y mantenimiento para garantizar la vida útil de las aceras y para la calidad y seguridad del tráfico de vehículos y peatones.

Palabras clave: movilidad urbana; pavimentación; vía pública; manifestaciones patológicas.

1. INTRODUÇÃO

Nas cidades, os deslocamentos ocorrem através do sistema viário, que pode ser definido como o conjunto de vias de circulação públicas que têm por objetivo fornecer mobilidade, ou seja, promover a circulação de pedestres e dos meios de transportes, bem como servir de estacionamento para os veículos (MELO, 2004). As vias de circulação urbanas são geralmente revestidas com pavimentação asfáltica que proporcionam conforto na rodagem, capacidade de suporte às cargas, segurança e conforto visual aos usuários.

Entre os anos 2000 e 2018 ocorreu um incremento superior a 300% na frota de veículos motorizados nas cidades brasileiras, o que resulta numa proporção de 1 automóvel para cada 4,4 habitantes (DENATRAN, 2019). No entanto, a malha viária brasileira, pequena e urbanizada nas cidades, não obteve investimentos suficientes para se adequar a essa nova realidade e, as deficiências no transporte público, resultaram em graves consequências para a mobilidade urbana, como, por exemplo, congestionamentos constantes e elevação do número de acidentes de trânsito. Deve-se considerar, inclusive, que os pavimentos urbanos possuem a função de transmitir conforto e segurança aos usuários e uma infraestrutura adequada para sua utilização. Entretanto, o alto volume de tráfego, o dimensionamento inadequado, a ausência de manutenção e reparos pelos órgãos responsáveis, entre outros, resultam em elevado número de manifestações patológicas (ALMEIDA, 2019), sendo a administração pública, responsável por gerir as vias urbanas, através de obras e serviços de manutenção e conservação (DANIELESKI, 2004).

A escassez de recursos investidos na manutenção dos pavimentos reflete-se na qualidade da mobilidade urbana, principalmente quando se verificam anomalias como: deformações, desgaste, buracos, falta de sinalização, incluindo a pintura do pavimento. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura e Trânsito (DNIT (2006)), qualquer mudança na característica do

pavimento, por motivos de falhas executivas ou de utilização, é considerada como um defeito ou anomalia que poderá afetar a condição de rolamento, alterando a trafegabilidade e o conforto do usuário, e/ou a capacidade de carga, comprometendo a estrutura do pavimento. Esses defeitos estão relacionados ao tipo de materiais utilizados e ao comportamento mecânico de cada estrutura (MARQUES, 2014 *apud* MENDES, 2019).

Segundo Fernandes (1996, *apud* DANIELESKI, 2004) a pavimentação urbana possui características que a difere da pavimentação rodoviária, como por exemplo, as redes de infraestrutura sob os pavimentos, a elevada incidência de tráfego de veículos leves, baixa velocidade dos veículos, fluxo descontínuo, dentre outros. Essas características podem acelerar o processo de deterioração dos pavimentos, já que são responsáveis por fadiga na estrutura do pavimento decorrente das deformações e do grau de fissuração (SILVA; CARNEIRO, 2014 *apud* MENDES, 2019).

Deve-se considerar, inclusive, que os processos de desgaste das vias nos centros urbanos são potencializados pela ação climática já que a elevada densidade de áreas construídas e pavimentadas resulta no aumento da temperatura do ar e das superfícies do meio urbano, fenômeno conhecido como “ilha de calor” (GARTLAND, 2010 *apud* CALLEJAS, DURANTE & ROSSETI, 2015).

Algumas das manifestações patológicas mais comuns que podem surgir nas ruas de centros urbanos são as trincas e os buracos que podem ocasionar além de acidentes de trânsito, transtornos para os motoristas, como por exemplo, falhas mecânicas nos automóveis, atrasos nos deslocamentos, entre outros. Portanto, a gestão das vias e o bom estado de conservação, causam impactos positivos na percepção e experiência do usuário, como conforto, segurança, satisfação e redução dos riscos de acidentes e perdas materiais (ALMEIDA, 2019).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho é identificar os aspectos que impactam na vida útil dos pavimentos asfálticos no contexto urbano e elucidar as anomalias da pavimentação. Para tanto, efetuou-se o estudo em trechos de pavimentos localizados na cidade de Juiz de Fora- MG, através do levantamento das manifestações patológicas a fim de verificar a ocorrência e a incidências das mesmas nas vias da cidade, a fim de se propor medidas corretivas e de manutenção para os defeitos localizados. Dessa forma, o estudo visa compreender o comportamento de pavimentos asfálticos e suas patologias, bem como reconhecer na prática os processos de degradação, a fim de se propor diretrizes para o aumento da durabilidade e vida útil dos pavimentos urbanos.

2. O SISTEMA VIÁRIO URBANO

Os deslocamentos urbanos ocorrem através do sistema viário, que é o conjunto de vias de circulação públicas que propiciam a mobilidade urbana de pedestres e meios de transporte. Neste contexto, as vias urbanas são definidas, de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), como “ruas, avenidas, vielas, caminhos e similares, abertos à circulação pública, situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificadas ao longo de sua extensão”, podendo ser subdivididas em: via de trânsito rápido, via local, via arterial e via coletora.

A classificação das vias, conforme Carvalho (2002, *apud* CAETANO, 2013) objetiva a melhoria da vivência social e da sua capacidade, tendo como principais funções a circulação de veículos e pedestres; estacionamento de veículos; suporte para as infraestruturas urbanas como redes de água, esgoto, eletricidade, gás, etc.; instalação de mobiliário urbano; iluminação nas edificações; dentre outros.

Savietto (2017) destaca como desvantagens do sistema viário urbano o elevado custo (superior a 50% do custo total da urbanização); o elevado índice de ocupação (entre 20 a 25% do solo urbano); o tipo de revestimento e estrutura empregado e a necessidade de sinalização horizontal.

A NBR 7207 (ABNT, 1982) define os pavimentos empregados nos centros urbanos como “uma estrutura construída após terraplenagem e destinada econômica e simultaneamente, em seu

conjunto a: resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.” Sendo assim, são divididos em duas categorias, a saber: *pavimentos rígidos* (concreto de cimento Portland constituídos basicamente por três camadas de revestimento, base e subleito que possuem alta rigidez e resistência para amortecerem as cargas recebidas) e *pavimentos flexíveis* ou asfálticos (cujos revestimentos são compostos por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, constituídos por diversas camadas de revestimento, base, sub-base e subleito) (HORONJEFF, 1966 *apud* QUIRINO, 2013).

As vias urbanas são, em sua maioria, constituídas por pavimentos flexíveis, onde o revestimento asfáltico é a camada responsável por resistir aos esforços de tráfego, impermeabilizar o pavimento e melhorar as condições de rolamento. As tensões e deformações causadas pelas cargas do tráfego estão associadas ao surgimento de anomalias como o trincamento e a fadiga dessa camada, que também podem ser causados pelo envelhecimento do ligante asfáltico, ação climática, entre outros. (BERNUCCI *et. al.*, 2006). Dessa forma, as manifestações patológicas nas pistas dos pavimentos podem surgir ao longo do tempo da sua vida de serviço por motivos de execução e/ou utilização (vide Quadro 1, (DNIT, 2003)), reduzindo conseqüentemente sua durabilidade e sua vida útil (Fernandes Jr (1999, *apud* FRANÇA; TÁRSIS; MADAY, 2017)).

Como esses processos patológicos ocorrem ao longo do tempo, torna-se necessário que sejam realizadas operações de manutenção nas vias, para que se garanta a qualidade e a durabilidade do pavimento (FERNANDES JR; ODA; ZERBINI, 2011 *apud* SAVIETTO, 2017).

Quadro 1 – Definição das patologias asfálticas.

Anomalia	Descrição
Fenda	Descontinuidade na superfície do pavimento que conduza a aberturas.
Afundamento	Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento.
Ondulação ou Corrugação	Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento.
Escorregamento	Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.
Exsudação	Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento.
Desgaste	Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.
Panela ou Buraco	Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas podendo alcançar as camadas inferiores, provocando a desagregação dessas camadas.
Remendo	Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”.

Como esses processos patológicos ocorrem ao longo do tempo, torna-se necessário que sejam realizadas operações de manutenção nas vias, para que se garanta a qualidade e a durabilidade do pavimento (FERNANDES JR; ODA; ZERBINI, 2011 *apud* SAVIETTO, 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Bernucci et. al. (2006), “a avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado influencia no conforto ao rolamento”. Sendo assim, os defeitos nos pavimentos asfálticos são os danos na superfície que podem ser observados a olho nu e classificados conforme as terminologias estabelecidas pela norma do DNIT 005/2003.

Nesse contexto, o presente trabalho consistiu no levantamento dos defeitos, ou seja, no diagnóstico das vias públicas, bem como a apresentação de soluções ou conjunto de alternativas adequadas à restauração do pavimento. Dessa forma, a metodologia é dividida em duas etapas: a primeira refere-se a revisão bibliográfica e, a segunda no levantamento de dados em campo, em vias específicas localizadas na cidade de Juiz de Fora (MG).

Salienta-se que a cidade Juiz de Fora (vide Figura 1 (ACESSA, 2021; PJF, 2021)) localizada na região da Zona da Mata do estado de Minas Gerais, possui área de 1.435.749 km² e uma população de cerca 516 mil habitantes (IBGE, 2010). A cidade é dividida em oito regiões e cada uma dessas regiões é composta por diversos bairros. De acordo com o mapa, definiu-se as principais vias de acesso em cada uma das regiões que compõem a cidade, considerando sua importância e dinâmica para o trânsito do município, bem como o elevado fluxo de deslocamento e, conseqüentemente, o maior número de usuários, conforme ilustrado na Figura 2.

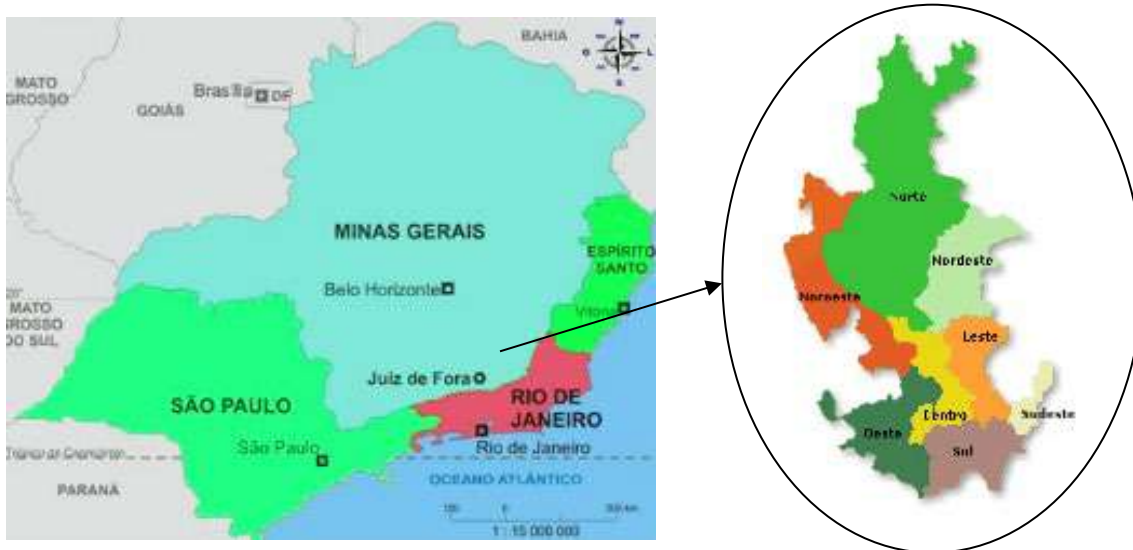


Figura 1. Localização e subdivisão da cidade de Juiz de Fora.

O procedimento de vistoria das vias públicas pavimentadas localizadas nas regiões de estudo (vide Figura 2) consistiu em uma análise visual e cadastro dos defeitos e irregularidades existentes, sendo adotado, inclusive o registro fotográfico das principais anomalias existentes nos pavimentos em cada região de estudo. A metodologia adotada permitiu identificar e mapear as falhas, a fim de propor soluções de reparação e recuperação das vias urbanas contidas na bibliografia, possibilitando a melhoria da mobilidade urbana no município.



Legenda:

Região		Logradouro
Norte	Orange	Av. Juscelino Kubitscheck
Noroeste	Black	Av. Brasil
Central	Yellow	Av. Barão do Rio Branco
Oeste	Blue	Av. Deusdedith Salgado
Leste	Green	Av. Sete de Setembro
Sul	Red	Rua Ibitiguaia
Nordeste	Purple	Rua Paracatu
Sudeste	Pink	Alameda Ilva Melo Reis

Figura 2. Ilustração da área de estudo.

Dessa forma, as vias selecionadas (Figura 2) foram percorridas de modo a identificar as manifestações patológicas mais recorrentes e classificá-las de acordo com a norma do DNIT005/2003.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Quadro 2 apresenta um resumo das manifestações patológicas identificadas em cada uma das principais vias de acesso das regiões do município. Salienta-se que devido à grande ocorrência das manifestações patológicas durante todo o percurso (estima-se que mais 60% do pavimento possui uma ou mais anomalia) não foi possível quantificar a área degradada e, portanto, realizou-se um levantamento qualitativo das falhas.

Analisando o Quadro 2 verifica-se a elevada incidência de manifestações patológicas nos pavimentos destacando-se a alta ocorrência de buracos, trincas e remendos, conforme se verifica nas Figuras 3 a 5.

A fim de melhor ilustrar a incidência das manifestações patológicas detectadas efetuou-se uma análise mais detalhada onde obteve-se o Gráfico 1 que apresenta a ocorrência das anomalias em todas as regiões. O objetivo de tal estudo consiste em identificar qual é a principal anomalia existente nas vias públicas e identificar a principal causa das mesmas, se está no processo (técnica de execução, incluindo especificação dos materiais) ou nos serviços de manutenção.

Quadro 2 – Dados coletados no levantamento de campo.

Região	Manifestação patológica							
	Trinca	Afundamento	Ondulação/ Corrugação	Escorrega- mento	Exsudação	Desgaste	Panela/ Buraco	Remendo
Centro	X	X		X		X	X	X
Leste	X	X	X	X		X	X	X
Nordeste	X						X	X
Noroeste	X					X	X	X
Norte	X	X	X			X	X	X
Oeste	X					X	X	X
Sudeste	X					X	X	X
Sul	X					X	X	X



Legenda:

Figura	Região	Anomalias
A	Noroeste	Remendo, afundamento, desgaste, trincas
B	Centro	Remendo, trincas interligadas
C	Noroeste	Panela
D	Sul	Buraco, trincas
E	Norte	Trincas interligadas, buracos
F	Noroeste	Buracos, desgaste

Figura 3. Manifestações patológicas nas vias públicas em estudo.



Legenda:

Figura	Região	Anomalias
G	Centro	Buracos, trincas interligadas
H	Centro	Panela
I	Nordeste	Buracos, trincas interligadas
J	Nordeste	Panela
K	Centro	Escorregamento
L	Sul	Trinca longitudinal

Figura 4. Manifestações patológicas nas vias públicas em estudo.

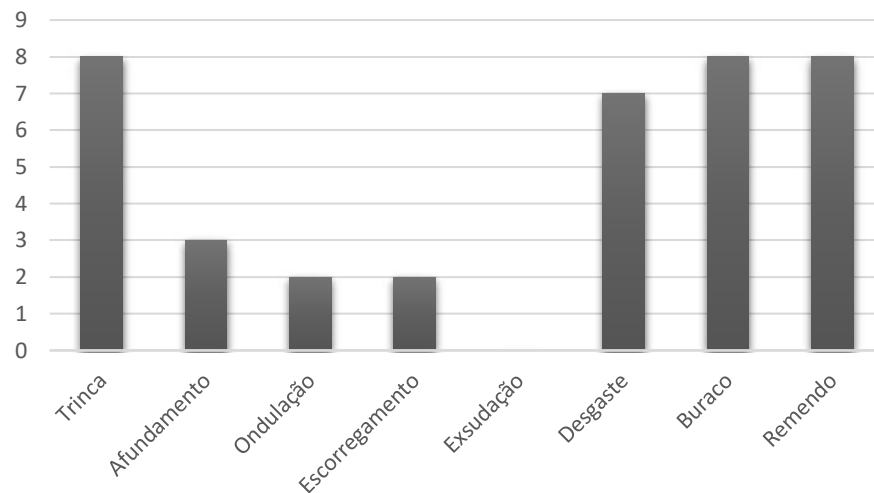


Legenda:

Figura	Região	Anomalias
M	Leste	Buraco, afundamento, ondulação, trincas
N	Sudeste	Panela, remendo, desgaste
O	Norte	Trincas interligadas
P	Nordeste	Panela
Q	Oeste	Buraco, trincas
R	Oeste	Corrugação, trincas, remendos

Figura 5. Manifestações patológicas nas vias públicas em estudo.

Gráfico 1 – Patologias mais recorrentes:



Após catalogados e compilados os dados, o levantamento de campo permitiu constatar o elevado grau de degradação e o mau estado de conservação das vias da cidade, configurada em um alto índice de anomalias. Embora a deterioração dos pavimentos asfálticos urbanos seja um processo natural que ocorrerá ao longo dos anos devido ao uso e ações de intempéries, pode ser amenizado através de procedimentos de intervenção capazes de aumentar a vida útil dos mesmos e garantir seu bom desempenho. Após o surgimento dos defeitos, tão logo seja possível, devem ser aplicadas técnicas de recuperação, de forma a evitar que os mesmos se agravem ou que levem ao surgimento de novos defeitos.

Diante do escopo do trabalho de se propor medidas de correção, realizou-se verificação in situ dos problemas de superfície, com o objetivo de levantar as possíveis causas que levaram ao seu aparecimento. Oliveira *et. al.* (2019) mencionam como possíveis causas para as manifestações patológicas:

- i) Trincas são resultados da fadiga, da retração térmica, dos processos de consolidação, das juntas de construção e idade, podendo esses fatores ocorrerem em conjunto (um ou mais) ou separadamente, dependendo da intensidade da anomalia;
- ii) Panelas ou buracos surgem devido à falta de aderência entre as camadas do pavimento, que causa o deslocamento ou devido ao acúmulo de água no pavimento podendo também serem resultantes da evolução de trincas, afundamentos e desgaste;
- iii) Desgastes são decorrentes dos esforços tangenciais do tráfego associados ao intemperismo e ocorrem em idade avançada do pavimento;
- iv) Escorregamentos são defeitos decorrentes da má compactação das camadas superiores e/ou do aumento de temperatura da superfície do pavimento e/ou do alto fluxo do tráfego.

Outro fator relacionado ao aparecimento dessas anomalias, para este estudo de caso, é a falta de serviços de manutenção e gestão das vias urbanas. Vale destacar que, segundo dados fornecidos pela Prefeitura de Juiz de Fora (PJF, 2021), somente no mês de fevereiro do corrente ano foram empenhados o valor de R\$14.384.288 para obras de pavimentação asfáltica a serem realizadas pela Empresa Municipal de Pavimentação e Urbanização (EMPAV), correspondendo a 1,56% do total de despesas empenhadas pelo município. Desse valor empenhado, somente R\$1.173.492,82 foram de fato liquidados, o que corresponde a 0,56% do total de despesas liquidadas pelo município, constatando o irrisório investimento providenciado pelo órgão municipal responsável.

Com isto, a ocorrência dos defeitos na pavimentação asfáltica da cidade vincula-se ao comprometimento do setor público aos investimentos em medidas de execução, manutenção ou correção dos pavimentos, bem como a erros de: projetos, técnicas, especificação de materiais, dados de tráfego que não condizem com a realidade atual, entre outros. Portanto, para a execução das medidas de reparos, deve-se realizar o diagnóstico do asfalto de forma a optar pelo procedimento mais adequado e efetuar-lo da maneira correta, uma vez que uma técnica de reparo mal executada pode postergar o aparecimento de danos futuros ou somente agir paliativamente em um defeito, sem de fato corrigir sua causa.

Diante do exposto, faz-se necessária a reparação no pavimento urbano de Juiz de Fora de forma a melhorar a mobilidade urbana. Anteriormente, vale contextualizar a diferença entre restauração e reconstrução: a restauração é o conjunto de operações destinadas a restabelecer na íntegra ou em parte as características originais de um pavimento e inclui as ações de manutenção preventiva e reforço; enquanto a reconstrução é a operação de refazer o pavimento no todo, desde o subleito, por retirada total dos materiais da base e revestimentos antigos e substituição por novos materiais ou por reciclagem dos mesmos (BERNUCCI et. al., 2006).

A partir disto, para que se torne possível estabelecer técnicas de restauração é necessário realizar o estudo da condição do pavimento, onde verifica-se a condição da superfície do pavimento como áreas trincadas e sua severidade, deformações permanentes e irregularidades longitudinais e as condições da estrutura do pavimento (BERNUCCI et. al., 2006). Ressalva-se que neste estudo não foi realizada uma avaliação estrutural dos pavimentos.

A norma do DNER 159/85, referente a Projeto de Recuperação de Pavimentos Flexíveis, estabelece os seguintes critérios para a escolha do tipo de restauração apropriada: “a) para a correção da irregularidade: restauração em concreto asfáltico; b) para a correção do trincamento ou do desgaste: restauração em lama asfáltica ou tratamento superficial ou em concreto asfáltico”.

BERNUCCI, et. al. 2006 apresentam como métodos de restauração: a *lama asfáltica* que consiste em uma mistura fluida de agregados minerais, material de enchimento ou filer, emulsão asfáltica e água, despejados no local da obra à temperatura ambiente, sendo geralmente empregada na manutenção de pavimentos que apresentam desgaste superficial ou pequeno grau de trincamento, agindo como um impermeabilizante, sendo uma alternativa viável para selagem de trincas e rejuvenescimento do asfalto; o *concreto asfáltico*, que consiste numa mistura à frio, processada em usina móvel especial, de agregados minerais, filer, água e emulsão com adição de polímero; eventualmente pode conter também adição de fibras e o *tratamento superficial* realizado pela aplicação de ligantes asfálticos e agregados na pista, isto é, os materiais são dispostos sem mistura prévia no local, primeiro colocam-se os ligantes, depois os agregados, logo após os materiais sofrem compactação, responsável por promover a adesão e o recobrimento parcial da superfície. Dessa forma, o tratamento superficial aumenta a resistência ao desgaste, impermeabiliza e protege a infraestrutura dos pavimentos.

Ainda sobre as correções de defeitos funcionais superficiais, Bernucci et. al. (2006) destaca as seguintes normas e procedimentos, que podem ser isolados ou combinados, e antecedidos ou não de uma remoção de parte do revestimento antigo:

- Para a selagem de trincas, rejuvenescimento e restauração da aderência de superfícies podem ser utilizadas as técnicas de lama asfáltica (DNER-ES 314/97), tratamento superficial simples ou duplo (DNER-ES 308/97 e DNER-ES 309/87), microrrevestimento asfáltico a frio ou a quente (ABNT NBR 14948, DNIT 035/2005-ES, DNER-ES 388/99), entre outras.
- Para a correção de defeito funcional de irregularidade elevada, pode-se utilizar o concreto asfáltico (DNIT 031/2004).
- Para melhorar as condições de atrito e o escoamento da água superficial, pode-se utilizar mistura do tipo camada porosa de atrito, *Stone Matrix Asphalt* (SMA) ou misturas descontínuas (DNER-ES 386/99).

Além destas soluções, para o tratamento de trincas pode-se realizar alteração das propriedades da mistura asfáltica, alteração da estrutura do pavimento com incorporação de sistemas de rachaduras antirreflexo colocados na zona intermediária, com o uso de geotêxteis, geogrelhas, redes de aço, entre outros (OLIVEIRA *et. al.*, 2019).

Outro método de reparo utilizado nas panelas (sejam elas causadas pelo desgaste do tráfego ou por interferências de reparos nas redes de água, esgoto e etc) é o remendo. Para a execução do remendo retira-se toda a sujeira ou água presente no defeito, executa-se um corte retangular na área com 20 ou 30 cm além das extremidades e profundidade suficiente para encontrar um material consistente, em seguida realiza-se a imprimação, é lançado o asfalto e por fim, a compactação. No caso de buraco muito profundo deve-se realizar a recuperação das camadas de sustentação do pavimento (ROCHA, 2010; RIBEIRO, 2017; OLIVEIRA *et. al.*, 2019).

Já para a correção de desgaste pode-se utilizar o método da lama asfáltica ou microrrevestimento citados acima, ou ainda outro método utilizado para reduzir os custos, que consiste na aplicação de uma camada de cimento Portland diretamente sobre a superfície existente com espessuras entre 100 e 280 mm (MAGALHÃES, 2014; ISLA *et. al.*, 2015; RIBEIRO, 2017).

Além dessas técnicas apresentadas, para a correção dos afundamentos e das corrugações ou ondulações, recomenda-se a aplicação de recapeamento e fresagem. O recapeamento consiste na construção de uma ou mais camadas asfálticas sobre o pavimento existente, enquanto a fresagem é o procedimento de remoção do revestimento antigo e sugere-se realizá-la previamente ao recapeamento de forma a evitar a propagação dos defeitos (ROCHA, 2010).

As técnicas expostas acima podem ser utilizadas para a correção das manifestações patológicas encontradas nas vias do município de Juiz de Fora de forma a melhorar o conforto e segurança dos usuários e aumentar a vida útil dos pavimentos. Como o trabalho limitou-se a uma análise funcional e não estrutural dos pavimentos, não foi possível apontar a técnica mais adequada para cada caso específico, dessa forma, espera-se que o mesmo possa contribuir para futuras pesquisas que se aprofundem no diagnóstico das anomalias.

5. CONCLUSÕES

As manifestações patológicas nos pavimentos asfálticos urbanos podem aparecer devido a diversos fatores tais como níveis de tráfego, clima, entre outros. O surgimento das patologias pode ocasionar diversos prejuízos aos motoristas e pedestres das cidades, aumentando o número de acidentes de trânsito, danos mecânicos aos veículos e aumento do tempo das viagens. Portanto, para o usuário, o estado da superfície do pavimento é um ponto importante, uma vez que defeitos e irregularidades na pista afetam seu conforto e segurança.

De forma a garantir a qualidade da mobilidade urbana, o trabalho se propôs a identificar e mapear as manifestações patológicas presentes nas vias urbanas de Juiz de Fora; verificar a ocorrência e apontar as manifestações patológicas de maior incidência nas vias de estudo; e propor soluções de reparação contidas na bibliografia existente. Todos os objetivos foram alcançados.

Através do levantamento visual realizado e do registro de fotografias constatou-se a presença de inúmeras anomalias nas ruas do município que se encontram em péssimo estado de conservação, gerando transtornos à população. Aproximadamente 60% do pavimento de toda a região de estudo encontra-se comprometida com a presença de um ou mais defeitos e as manifestações patológicas de maior ocorrência foram as trincas, buracos e remendos, presentes em todas as regiões. O trabalho também alcançou seu objetivo ao apresentar de maneira sucinta e objetiva técnicas de recuperação que podem ser utilizadas na correção desses defeitos, de acordo com a bibliografia existente.

Espera-se que o artigo alerte a sociedade para a importância de exigir da gestão municipal condições adequadas que garantam o conforto e a segurança dos usuários no usufruto do direito básico de ir e vir.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

7. REFERÊNCIAS

_____. DNER-PRO 159/85: Projeto de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, 1985.

ACESSA.COM. Disponível em: <<https://www.acesa.com/jfmapas/regioes.php>>. Acesso em: 26/01/2021.

ALMEIDA, Camila da Silva (2019), “*Patologias em vias urbanas: Estudo de caso na cidade de Maceió–Alagoas*”. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Cesmac. Maceió, p.37.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1982). *NBR 7207: Terminologia e Classificação de Pavimentação*. Rio de Janeiro.

BERNUCCI, L. B. et. al. (2006), “*Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros*”. Livro. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA. p. 504.

BRASIL (1997), “*Código de Trânsito Brasileiro*”, Lei Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503.htm>. Acesso em: 01/02/2021.

CAETANO, Fernando Domingues (2013), “*Classificação de vias urbanas: o Código de Trânsito Brasileiro e os planos diretores municipais no estado do Paraná*”, Monografia de especialização, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, p. 65.

CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio; DURANTE, Luciane Cleonice; ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho (2015), *Pavimentação Asfáltica: Contribuição no Aquecimento de Áreas Urbanas. E&S Engineering and Science*, v. 3, n. 1, p. 64-72, 2015. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/2555>> Acesso em: 27/01/2021.

DANIELESKI, Maria Luiza (2004), “*Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre*”, Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 187.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. *Frota de veículos*. 2019. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/237-frota-veiculos>>. Acesso em: 27/01/2021.

DNIT (2003), “*Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia*.” Norma. Ministério dos Transportes – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro.

DNIT (2006), “*Manual de estudos de tráfego*”, Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro.

FRANÇA, Frederico Lemos & FERNANDES, Társis Maday Jorge (2017), “*Patologias em Pavimento Asfáltico*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, p. 57.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2011), *Sinopse do Censo Brasileiro de 2010*. Rio de Janeiro. p. 261.

MELO, Bruna Pinheiro de (2004), “*Indicadores de ocupação urbana sob o ponto de vista da infraestrutura viária*”, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, p. 184.

MENDES, Alesi Teixeira (2019), “*Levantamento Visual de Patologias em Pavimentos Flexíveis de Vias Urbanas em Araguaína-TO*”. Artigo. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC. Palmas/TO. Disponível em: <https://www.confca.org.br/sites/default/files/uploads-imce/Contecc2019/Civil/LEVANTAMENTO%20VISUAL%20DE%20PATOLOGIAS%20EM%20PAVIMENTOS%20FLEX%C3%8DVEIS%20DE%20VIAS%20URBANAS%20EM%20ARAGUAINA%20-%20TO.pdf>> Acesso em 27/01/2021.

OLIVEIRA, D. C. et. al. (2019), Identificação de Manifestações Patológicas em Pavimentos Asfálticos na Cidade de Santa Margarida-Mg. *Pensar Acadêmico*, v. 17, n. 1, p. 33-42. Disponível em: <http://www.pensaracademico.facig.edu.br/index.php/pensaracademico/article/view/703>> Acesso em: 23/03/2021.

PJF - PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. Despesas públicas. *Portal da Transparência*. Juiz de Fora. 2021. Disponível em: https://www.pjf.mg.gov.br/transparencia/despesas_publicas/mensal_consolidada/index.php> Acesso em: 23/03/2021.

QUIRINO, Marina Eliza Pacifico (2013), “*Recuperação de pavimentos flexíveis em áreas de taxiamento de aeronaves: um estudo de caso da pista fox-2 do Aeroporto Internacional Tancredo Neves-MG*”, Monografia, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. p. 79.

ROCHA, Robson Soares (2010), “*Patologias de pavimentos asfálticos e suas recuperações– estudo de caso da Avenida Pinto de Aguiar*”, Universidade Católica de Salvador. p. 24.

SAVIETTO, Júlia Panzarin (2017), “*Análise de impactos ambientais da restauração de um pavimento asfáltico pela Avaliação do Ciclo de Vida*”, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. p. 110.

Avaliação da durabilidade de estruturas de concreto expostas em ambientes industriais do polo petroquímico de Triunfo/RS – Estudo de caso.

*Evaluation Of Exposed Concrete Structure In Industrial Environments In Triunfo/RS
Petrochemical Complex - Case Study*

F. Coutinho¹, F. Pacheco^{2*}, G. Bolezina³, G. C. Menegussi⁴, R. Christ⁵, H. Z. Ehrenbring⁶, B. F. Tutikian⁷

*Contato do autor: fernandapache@unisinos.br

¹ Engenheiro Civil, Pós-Graduando, Universidade do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

² Professora Doutora, it Performance, Universidade do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

³ Graduanda em Engenharia Civil, Universidade do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

⁴ Graduanda em Engenharia Civil, Universidade do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

⁵ Professor Doutor, it Performance, Universidade do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

⁶ Doutor em Engenharia Civil, it Performance, Universidade do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

⁷ Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil – PPGEC, it Performance, Universidade do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

RESUMO

A agressividade ambiental alusiva aos ambientes industriais se caracteriza como forte (classe III) e muito forte (classe IV), conforme a norma NBR 6118:2014. O concreto, nesse local, pode se apresentar suscetível à ação de ácidos, gases, chuvas ácidas, dentre outras ações que, por sua vez, o afetam quimicamente, impactando em sua durabilidade. A presente pesquisa analisou casos de estruturas em ambiente industrial através do ensaio colorimétrico de frente de carbonatação e do modelo matemático simplificado por Tuutti, além dos ensaios de análises químicas, espectroscopia de infravermelhos (FTIR) e cromatografia gasosa. A análise ocorreu em duas empresas do ramo Petroquímico. Foram utilizadas duas amostras de cada empresa: para a primeira, um pilar (P1) externo de concreto moldado *in loco*, de 8 anos, e um pilar (P2) externo de concreto moldado *in loco*, de 13 anos. Já a segunda empresa, com estruturas pré-fabricadas, contou com amostras de um pilar (P3) e de um sistema de vedação vertical (PV1), com idade de 27 anos. Percebeu-se, nas amostras, cobrimentos reduzidos, e o avanço da frente de carbonatação, com 11mm no P1 e no caso do P2, já despassivando a armadura. Com relação às amostras da empresa B, pode-se verificar que o P3 apresentou uma boa resistência à carbonatação, enquanto que o PV1 apresentou os sinais de carbonatação até os 20mm. Na análise de FTIR, as amostras apresentaram espectros parecidos, com picos em regiões semelhantes, para ambas empresas. Através da cromatografia gasosa, ficou evidente a influência decorrente da presença de um aditivo plastificante usado em concreto e em elastômeros, assim como de uma substância de natureza parafínica, comumente utilizada em produtos derivados do petróleo e adotadas por empresas do polo petroquímico.

Palavras-chave: concreto; durabilidade; indústria; carbonatação.

ABSTRACT

The environmental aggressiveness referring to industrial environments is characterized as strong (class III) and very strong (class IV), according to the NBR 6118: 2014 standard. The concrete, in this place, can be susceptible to the action of acids, gases, acid rain, among other actions that, in turn, chemically affect the concrete, decreasing its mechanical resistance and its alkalinity. This research analyzed cases of structures in an industrial environment through the colorimetric assay of carbonation front and the mathematical model simplified by Tuutti, in addition to chemical analysis tests, infrared spectroscopy (FTIR) and gas chromatography. The analysis took place in two companies in the Petrochemical industry. Two samples from each company were used: for the first, an external pillar (P1) of molded concrete *in loco*, 8 years old, and an external pillar (P2) of molded concrete *in loco*, 13 years old, both absent from inspections and maintenance over time; the second company, on the other hand, was built with precast materials, with the samples derived from a pillar (P3) and a vertical sealing system (PV1), both aged 27 years. It was noticed, in the samples, reduced coverings, by the carbonation front and it was possible to verify that the P1 had an 11 mm front and, in the case of P2, the carbonation had already reached the sample reinforcement. Regarding the samples from company B, it can be seen that P3 showed good resistance to carbonation, while PV1 showed signs of carbonation up to 20mm. In the FTIR analysis, the samples showed similar spectra, with peaks in similar regions, for both companies. Through gas chromatography, the influence resulting from the presence of a plasticizer additive used in concrete and elastomers, as well as a substance of paraffinic nature, commonly used in petroleum products and adopted by companies in the petrochemical pole, became evident..

Keywords: concrete; durability; industry; carbonation.

1. INTRODUÇÃO

O concreto tornou-se um dos materiais mais consumidos no mundo, em decorrência de suas diversas formas de utilização e vantagens. Projeta-se que seu uso se mantenha ao longo dos anos. (KIRCHHOF, 2010; FILHO; CARMONA, 2013). Com esse crescente consumo do concreto, faz-se necessário o estudo de suas propriedades duráveis, visto que elas influenciam na vida útil e no desempenho das estruturas. Segundo Mehta e Monteiro (2014), a durabilidade do concreto pode ser definida como a capacidade de resistir às intempéries, aos ataques químicos ou a tantos outros processos de deterioração, sem que haja comprometimento da sua capacidade de uso quando exposto ao ambiente para o qual foi projetado.

Para Amorim (2010), o concreto está sujeito aos efeitos de um conjunto de agentes agressivos que, por sua vez, são decorrentes das condições climáticas e ambientais em que o elemento estrutural está inserido, podendo ser causadores de danos mecânicos, físicos, químicos ou biológicos. Pacheco (2016) cita que as estruturas localizadas em ambiente urbano são expostas aos inúmeros agentes agressivos, trazendo a necessidade de se avaliar as particularidades do ambiente e de como estas possam se relacionar aos parâmetros especificados para as estruturas de concreto.

Frequentemente, as construções são encontradas com nível de degradação além do estimado por problemas da qualidade e durabilidade decorrentes de manifestações patológicas e falhas de execução. (MOLIN, 2016). Entende-se que a falta de intervenções de manutenção preventiva pode gerar severos problemas para o sistema estrutural como um todo.

Sales *et al.* (2018) afirmam que a agressividade ambiental é estabelecida pelas situações vinculadas às condições climáticas que especificam a exposição externa e/ou interna derivada da presença, ou não, de substâncias agressivas, bem como da umidade e temperatura do ambiente.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) cita que “*a agressividade do meio está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto*”. Desta forma, pode-se estabelecer relações

de parâmetros e fenômenos que, a partir destas, justificam a classificação da agressividade e que esta tem forte correspondência com o local de inserção da edificação, sob a influência da temperatura e umidade pontuais, concentração dos agentes de deterioração das estruturas, entre outros. (PACHECO, 2016).

Para os projetos de estruturas correntes, a NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta quatro classes de agressividade ambiental, sendo avaliadas conforme as condições de exposição da estrutura e de suas partes. As classes são: I, II, III e IV, estando relacionadas ao risco de deterioração desde o insignificante, pequeno, grande até o elevado, respectivamente. Neste sentido, os ambientes industriais estão inseridos nas classes de agressividade III e IV, conforme as orientações da NBR 6118 (ABNT, 2014), visto que a classe IV contempla os ambientes quimicamente agressivos, galvanoplastia, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas de um modo geral, entre outros.

As regiões industriais são, por definição, espaços que favorecem para o acréscimo expressivo de risco de contaminação das estruturas, pois são ambientes com notória presença de gases e de cinzas, além da umidade relativa do ar. As misturas de gases podem vir a reagir com a presença de óxido de enxofre, ocasionando a produção de ácidos (neste caso, o sulfúrico) que, ao entrar em contato com a superfície das estruturas, de forma diluída em água da chuva, resultará na sua degradação - vale salientar que o concreto possui valores de pH que variam no intervalo de 4,5 e 2,2. (ISAIA, 2011). Quando comparado ao ambiente rural, o industrial tem uma taxa de aceleração cerca de 60 a 80 vezes maior na degradação das estruturas da edificação. (SALES *et al.*, 2018).

Abordando especialmente a indústria petroquímica, há necessidade de análise se há contaminação pelos seus produtos e processos, considerando seu impacto em termos de ambiente. (MARTINS *et al.*, 2015).

Em decorrência das manifestações patológicas, que podem ser geradas nesses ambientes, a norma estabelece critérios de projeto que visam à durabilidade da estrutura. Exemplificando, pode-se destacar a qualidade do concreto da camada de cobrimento, a classe de concreto e a relação água/cimento. Todas essas características variam conforme a classe de agressividade ambiental NBR 6118 (ABNT, 2014). Tais especificações visam mitigar a ação de mecanismos de deterioração. Por exemplo, uma adequada espessura e qualidade no concreto de cobrimento das armaduras pode garantir sua proteção. (HELENE, 1997).

Quando essa proteção física e química da armadura se torna ineficiente em relação à agressividade do ambiente, surgem manifestações patológicas, como o caso do deslocamento do concreto, fissuração da matriz de concreto, da corrosão das armaduras longitudinais e transversais, etc., podendo ocasionar a deformação excessiva da estrutura. (NAKAMURA, 2018).

Saetta *et al.* (1995) afirmam que a vida útil de uma estrutura de concreto pode ser prevista por meio de modelos matemáticos, que consideram fatores como: espessura e qualidade do cobrimento do concreto e as condições ambientais do meio no qual está inserida. Para Possan (2010) o uso de modelos matemáticos tornam-se ferramentas potenciais para determinar uma forma adequada de representar o comportamento da vida útil ao longo do tempo, além da vida útil de projeto (VUP), tais como ensaio colorimétrico de frente de carbonatação e a Lei de Tutti.

Cabe destacar que diante de mecanismos químicos de ataques das estruturas, pode ser realizado o seu diagnóstico mediante ensaios químicos, buscando identificar compostos que não fazem parte naturalmente de estruturas de concreto. O ensaio de FTIR, por exemplo, é empregado para detectar compostos orgânicos, por ser um método que permite a identificação de grupos funcionais presentes nos compostos. (OLIVEIRA, 2008). Já a análise de cromatografia de gás é bastante empregada por analisar qualitativamente e quantitativamente compostos orgânicos. Tendo uma vista sua aplicabilidade na indústria de petróleo com o uso mais direto na análise de hidrocarbonetos. (KANAUJIA, 2018).

Considerando o impacto do ambiente industrial nas estruturas de concreto, o presente estudo analisou a frente de agressão sofrida por elementos estruturais aplicando ensaio colorimétrico, somado a ensaios químicos, como será relatado no próximo item.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O estudo contou com amostras de duas diferentes empresas. A empresa A atua com logística, sendo responsável pelo transporte e estoque de polímeros. A empresa B é destinada à produção de pneus para veículos diversos. Ambas estão localizadas no Polo Petroquímico de Triunfo/RS, região de relevância nesse segmento da indústria, que conta ainda com seis empresas.

2.1 Empresa A

Nesta empresa, os materiais transportados são, em sua maioria, o polipropileno (PP), polietileno (PE) e borrachas sintéticas. Os elementos estruturais escolhidos têm idade de 8 anos (P1) e 13 anos (P2), figuras 1 e 2, respectivamente. A escolha se deu baseada na proximidade com fontes poluidoras, como a circulação de veículos e proximidade com estocagem de produtos químicos.



Figura 1. Pilar P1 (empresa A). Figura 2. Pilar P2 (empresa A).

2.2 Empresa B

A empresa é do segmento de polímeros, atuando com processos de ingestão, transportam a matéria prima em peças automotivas para carros e caminhões como barricas, para-choques, tanques de combustível, dentre outros diversos itens. Os elementos estruturais escolhidos têm 27 anos, ambos (P3) e (PV1), as figuras 3 e 4 apresentam os elementos estruturais, um painel de vedação e um pilar escolhidos para coleta. O painel de vedação encontra-se exposto externamente e o pilar conta com proteção da cobertura.



Figura 3. Pilar P3 (empresa B). Figura 4. Painele PV1 (empresa B).

3. MÉTODOS

3.1 Visita para vistoria e verificação de manifestação patológicas

A visita aconteceu nas empresas no mesmo dia. A fim de analisar as manifestações patológicas nas áreas de acesso permitido pelo programa de segurança de cada empresa. A visita serviu para conhecer a edificação e os processos que acontecem, assim como eventuais informações adicionais que auxiliaram na escolha dos pontos de coleta de amostras.

3.2 Coleta de amostras

As coletas das amostras e a avaliação das manifestações patológicas seguiram o mesmo para cada uma das amostras, conforme descreve-se:

3.1.1 Verificação do cobrimento

Para a aferição do cobrimento da estrutura foi utilizado um detector de partículas eletromagnéticas (da marca Bosch) nos pilares escolhidos. Com o auxílio do equipamento foi obtida a posição da armadura e a possibilidade da localização do mesmo para que não seja atingido nenhuma barra no momento da coleta.

3.1.2 Limpeza da superfície

A limpeza ocorreu superficialmente. Inicialmente foi lixada a superfície para remoção do acabamento da área, que foram coletadas as amostras. Após lixar, utilizou-se um pincel.

3.1.3 Furação e coleta do material

O processo se deu no uso de uma furadeira com broca de 6mm a 1,5m de altura, em relação ao chão. O furo teve a profundidade de até 4,5cm, atentando-se para não coincidir com a posição das armaduras. Em cada ponto, cuidou-se para que não houvesse variação maior que 1 centímetro da última coleta. Avançou-se na técnica até que houvesse a detecção de concreto são:



Figura 5. Furos da coleta



Figura 6. Verificação da profundidade da coleta e armazenamento do pó

3.3 Ensaio colorimétrico - aspersão de fenolftaleína

Após as coletas, foi aspergida uma solução à base de 1% de fenolftaleína, 49% de álcool etílico e 50% de água deionizada separadamente nas amostras, como indicador colorimétrico. O teste feito no local logo após a coleta. Quando o resultado apresenta uma cor carmim é dito que o pH ainda se mantém alto, se não apresentar alteração, é dito que o mesmo se encontra com pH mais baixo (carbonatado).

3.4 Aplicação do modelo de previsão de vida útil

De posse dos resultados obtidos, aplicou-se a previsão de vida útil pelo modelo de Tuutii (1982), seguindo os passos descritos:

- 1) Verificação da constante kCO_2 : $e = kCO_2 \cdot \sqrt{t}$
- 2) Considerando a espessura de cobertura e a kCO_2 , obteve-se o tempo em anos;
- 3) Cálculo da Vida útil residual.

3.5 Aplicação do modelo de previsão de vida útil

Os ensaios químicos que foram realizados são cromatografia Gasosa e FTIR (espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier), tendo sido realizados no LBMT (Laboratório de Biologia Molecular e Toxicologia), da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

3.5.1 Cromatografía Gasosa

Em caráter exploratório, foi realizada análise das possíveis substâncias voláteis e semi-voláteis presentes na composição do concreto. Para esta análise foi realizada uma extração líquido-líquido (LLE) de concreto em solução aquosa com dicloro metano. Em seguida, a extração da amostra foi analisada por cromatografia-gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC/MS), para identificar as possíveis substâncias presentes no cimento. Essa identificação foi analisada por comparação/similaridade com o apoio da biblioteca NIST de substâncias químicas. O cromatógrafo gasoso é do modelo 7820A, marca Agilent Technologies, e o espectrômetro de massas é do modelo 5975, marca Agilent Technologies. Para a realização da técnica de cromatografia gasosa é preciso um preparo nas amostras, contando com o seguinte passo-a-passo:

- Pesagem das amostras e separadamente colocadas nos microtubos (eppendorf) de 2ml;
- Adição de 1ml de diclorometano (CH_2Cl_2) no eppendorf com a amostra de concreto;
- Uso do vortex durante 30 segundo para agitar a mistura;
- Utilização da centrífuga multispin ao longo de 50 segundos;
- Coleta do sobrenadante com seringa e filtrado com um filtro de 0,45 μm ;
- Deposição da amostra em recipiente tipo viel;
- Armazenamento em congelador.

3.5.2 FTIR- Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier

Para complementação da caracterização do concreto, as amostras foram submetidas a análise por FTIR, infravermelho por transformada fourier, cujo objetivo é identificar a composição a partir das ligações orgânicas presente na amostra. Essa análise demanda de um preparo simples de redução granulométrica.¹

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Verificação do cobrimento e da vida útil residual

4.1.1 Empresa A

A amostra P1, foi construída no ano de 2011, constataram-se inspeções e manutenções no mesmo. Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) o elemento estrutural em estudo foi enquadrado como classe IV, com cobrimento mínimo da armadura de 50mm. O cobrimento aferido por ensaio fora de 37mm. Para a amostra P2, constatou-se o mesmo enquadramento e cobrimento mínimo. O cobrimento aferido fora de 30mm. Sendo assim, ambas amostras estão em desacordo em relação ao cobrimento mínimo exigido por norma. Na tabela 1 são apresentados os resultados das amostras P1 e P2, a fim de verificar-se a profundidade de carbonatação, indicando-se na cor magenta a profundidade do concreto são e na cor cinza o concreto já agredido.

Tabela 1. Resultados obtidos na empresa A

EMPRESA A			
Elemento	Cobrimento aferido (mm)	Profundidade das amostras (mm)	Status
P1 - Furo 1	37	5,5	
P1 - Furo 2	37	11	
P1 - Furo 3	37	18,7	

¹ O equipamento utilizado para a técnica é o FTIR Cary 630, modo ATR, marca Agilent Technologies.

P1 - Furo 4	37	23	
P2 - Furo 1	30	5	
P2 - Furo 2	30	9	
P2 - Furo 3	30	15	
P2 - Furo 4	30	26	
P2 - Furo 5	30	39	
P2 - Furo 6	30	45	

Foi possível verificar que até os 11mm, a amostra P1 apresenta-se carbonatada, apenas entre 18,7 e 23mm confirmando a ausência de influência de CO₂, que causa o efeito da carbonatação. Na amostra P2, percebe-se que a carbonatação havia atingido a armadura, devido ao cobrimento da armadura ser inferior a profundidade de carbonatação. O ensaio foi continuado para verificar o início do ponto de viragem e como percebe-se o mesmo mostrou-se em torno de 45mm. Para a aplicação do método de Tuutti (1982), considerou-se as informações da tabela 2.

Tabela 2. Dados utilizados para previsão da vida útil

EMPRESA A		
Elemento	P1	P2
Idade (anos)	8	13
Cobrimento aferido (mm)	37	30
Profundidade de carbonatação adotado (mm)	23	45

Na amostra P1, foi considerada a profundidade de 23mm, pois não se tem o conhecimento de qual o ponto exato entre 18,7 e 23mm, considerando assim a condição mais segura de análise.

$$e = KCO_2 \cdot \sqrt{t} \rightarrow 23 = KCO_2 \cdot \sqrt{8} \rightarrow KCO_2 = 8,1317 \text{ mm/ano} \quad (1)$$

$$e = KCO_2 \cdot \sqrt{t} \rightarrow 37 = 8,1317 \cdot \sqrt{t} \rightarrow t = 20 \text{ anos} \quad (2)$$

Com o resultado do cálculo, é possível afirmar que ainda restam 12 anos para que a armadura seja despassivada, dando início ao processo de corrosão. Segundo Possan (2010), é preciso tomar cuidado com o envelhecimento das estruturas, pois elas alteram suas propriedades mecânicas, físicas e químicas, tanto na superfície como no seu interior, em grande parte dada à agressividade do meio ambiente. Para amostra P2, o método de previsão de vida útil de Tuutti (1982) não se aplicará, pois, a vida útil do mesmo já foi vencida. Tuutti (1982) afirmou que quando a frente de carbonatação atinge a armadura, aceita-se que o período de iniciação a corrosão já foi vencido, pois ela é caracterizada no transporte de gás carbônico para o interior do concreto, podendo desencadear a corrosão.

4.1.2 Empresa B

A amostra P3 possui uma idade de 27 anos, durante este período verificou-se que a fábrica não realizou vistorias de manutenções nos elementos estruturais. O cobrimento da armadura aferido é entorno de 23mm, ao compararmos com a NBR 6118 (ABNT, 2014) há desacordo. A amostra PV1, é um elemento de concreto utilizado para vedação composto por uma malha de ferro. O cobrimento da armadura aferido é entorno de 28mm. Na tabela 3 são apresentados os dados coletados para as amostras P3 e PV1, a fim de verificar-se a profundidade carbonatação.

Tabela 3. Resultados obtidos na empresa B

EMPRESA B			
Elemento	Cobrimento aferido (mm)	Profundidade das amostras (mm)	Status
P3 - Furo 1	23	2,5	
P3 - Furo 2	23	9	
P3 - Furo 3	23	12	
PV1 - Furo 1	28	5,5	
PV1 - Furo 2	28	11,8	
PV1 - Furo 3	28	16,2	
PV1 - Furo 4	28	20,8	
PV1 - Furo 5	28	26,1	

Foi possível verificar que até os 9mm, a amostra P3 apresentava-se carbonatada, apenas em 12mm foi confirmado a ausência da carbonatação. Na amostra PV1, foi possível verificar que até os 16mm, a amostra apresentava-se carbonatada, apenas entre 20,8 e 26,1mm foi confirmada a ausência de influência de CO₂. Para a aplicação do método de Tuutii (1982), considerou-se as informações da tabela 4.

Tabela 4. Dados utilizados para previsão da vida útil

EMPRESA B		
Elemento	P3	PV1
Idade (anos)	27	27
Cobrimento aferido (mm)	23	28
Profundidade de carbonatação adotado (mm)	15	26,1

Na amostra P3, foi considerado a profundidade de 15mm para a aplicação das equações abaixo:

$$e = kCO_2 \cdot \sqrt{t} \rightarrow 15 = kCO_2 \cdot \sqrt{27} \rightarrow kCO_2 = 2,8868 \text{ mm/ano} \quad (3)$$

$$e = kCO_2 \cdot \sqrt{t} \rightarrow 23 = 2,8868 \cdot \sqrt{t} \rightarrow t = 63 \text{ anos} \quad (4)$$

Com o resultado, é possível afirmar que ainda restam 36 anos para que a armadura seja despassivada. Para amostra PV1, os resultados das equações, apresentaram que restam 4 anos para que a armadura sofra com a despassivação. Segundo LI *et al.* (2013), dos principais problemas relacionados a durabilidade das estruturas mostra-se em ambientes com altos níveis de CO₂ e/ou íons cloreto, pois, a partir da ação desses agentes há interferência no desempenho, uma vez que eles penetram no concreto e podem causar a deterioração.

4.2 FTIR

Os resultados obtidos nas amostras da empresa A, constam nas figuras 7 e 8. As figuras 9 e 10, correspondem aos resultados do ensaio, das amostras P1 e PV1, respectivamente.

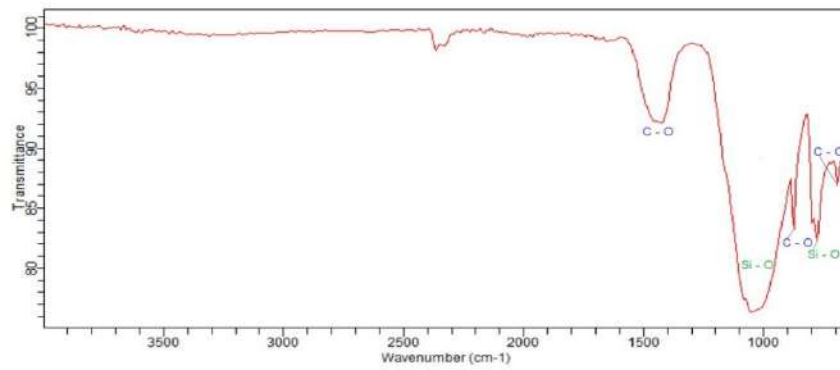


Figura 7. Espectro de infravermelho da amostra P1 (Agilent Technologies (2019)).

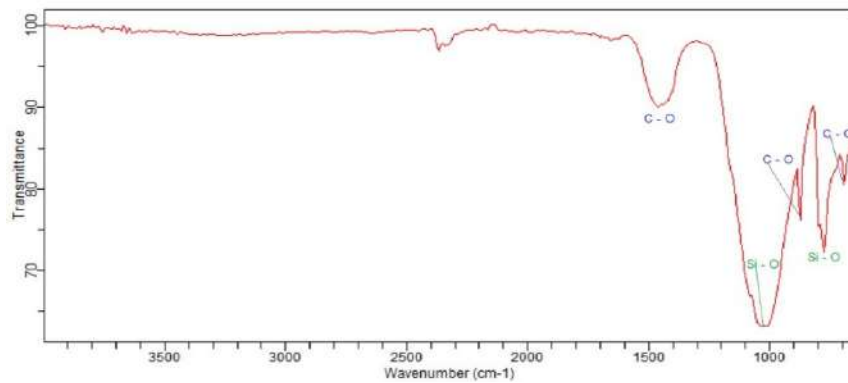


Figura 8. Espectro de infravermelho da amostra P2 (Agilent Technologies (2019)).

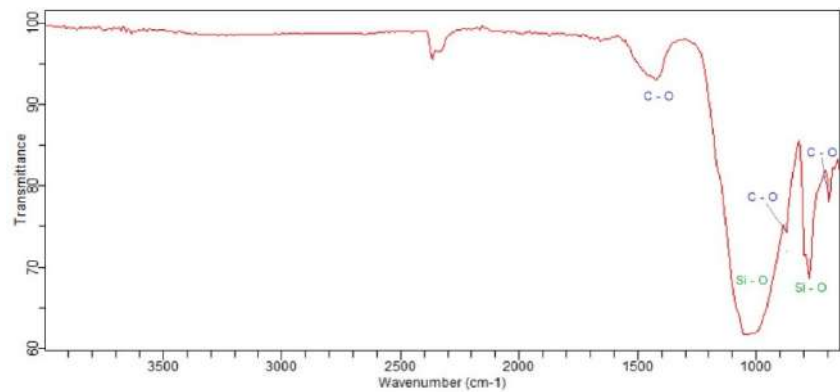


Figura 9. Espectro de infravermelho da amostra P1 (Agilent Technologies (2019)).

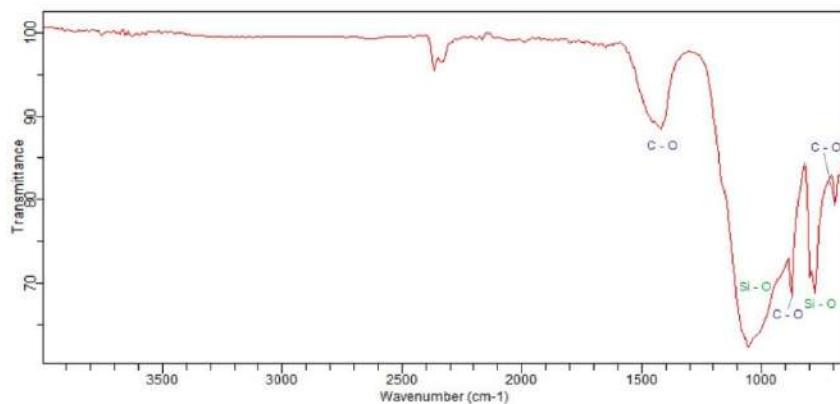


Figura 10. Espectro de infravermelho da amostra PV1 (Agilent Technologies (2019)).

Na tabela 5 será apresentado o resultado das diferentes bandas do espectro de infravermelho reportadas na literatura para os principais materiais identificados no ensaio.

Tabela 5. Bandas de espectros com identificação

Banda (cm ⁻¹)		Identificação	
2350		-	
1460-1380	1488	CO ₃ ²⁻ [Andersen 1991]	aragonita [Andersen 1991]
	1446		vaterita [Andersen 1991]
	1445		calcita [Andersen 1991]
	1420		dolomita [Reig 2002, Chu 2008, Rehman 1997, Biscontin 2002]
1090-1000	1090	Si - O [Reig 2002 e Biscontin 2002]	quartzo [Reig 2002 e Biscontin 2002]
	1082		
	1034	Si - O [Bougeard 2000 e Saikia 2003]	quartzo [Reig 2002 e Biscontin 2002]
	1007		
874		CO ₃ ²⁻ [CHU 2008]	calcita [CHU 2008]
800-775	798	Si - O [Reig 2002, Biscontin 2002, Friolo 2003]	quartzo [Reig 2002, Biscontin 2002, Friolo 2003]
	795		caulinita [Friolo 2003]
	779		quartzo [Reig 2002, Biscontin 2002, Friolo 2003]
700		CO ₃ ²⁻ [Andersen 1991]	aragoita [Andersen 1991]

A primeira banda em 2350 cm⁻¹ pode-se referir a um ruído ou erro do equipamento. A segunda região de 1460-1380 cm⁻¹ pode corresponder a presença de diferentes variações de carbonato de cálcio, em virtude dos picos nos resultados das amostras se sobreporem. (RODRIGUES, 2013). A dolomita encontrada, segundo Reig (2002), pode ser relacionada a rochas calcárias. A aragonita e a vaterita são formas cristalinas de carbonato de cálcio. (BRANCO, 2008). A Calcita, sendo ela o carbonato de cálcio, tem uma grande importância para rochas de origem carbonática. (RODRIGUES, 2013).

Na terceira região encontra-se o quartzo, representando o agregado miúdo e a caulinita é classificada como argila mineral, constituída de 66% de sílica. (GUIMARÃES 2002). Na quarta região também pode-se encontrar a calcita, sendo um produto de alto teor de óxido de cálcio. (GUIMARÃES, 2002). Na quinta região, por sua vez, pode-se encontrar estiramentos de quartzo e caulinita. Na sexta região também há a aragonita.

Segundo Chang e Chen (2004), o ensaio de FTIR pode detectar a carbonatação, os autores afirmam que a presença detectada pela análise pode ser o dobro da detectada usando o indicador de fenolftaleína. A carbonatação é representada pela transformação da C=O em C-O no CaCO₃. Dessa forma, um pico característico do grupo funcional C-O no intervalo de onda de 1410-1510cm⁻¹ indicaria a carbonatação no concreto. (JCI COMMITTEE 984, 2000). A técnica de FTIR é bastante adequada para monitorar a formação de compostos como carbonatos no concreto, podendo detectar a carbonatação entre 1400-1500cm⁻¹. (YLMÉN; JÄGLID, 2013).

Não foi encontrado água molecular no sistema, sendo caracterizado pela faixa de alongamento OH- em bandas de 3200 a 3700 cm⁻¹, segundo Bhutta *et al.* (2014). O que poderia indicar que no interior do concreto coletado há resquícios de umidade e pode estar gerando subprodutos, ou até mesmo, dada a idade do elemento, essa água pode estar facilitando a ocorrência da carbonatação.

Não foi percebido nenhuma outra banda que caracterize, um subproduto formado pela possível degradação do concreto.

4.2.1 Cromatografia gasosa

A análise cromatográfica identificou em média 50 compostos de cada amostra, porém foram mantidos apenas os resultados pertinentes do tipo de indústria em estudo. Nas figuras 11, 12, 13 e 14 são apresentados os cromatogramas obtidos oriundos do site Agilent Technologies.

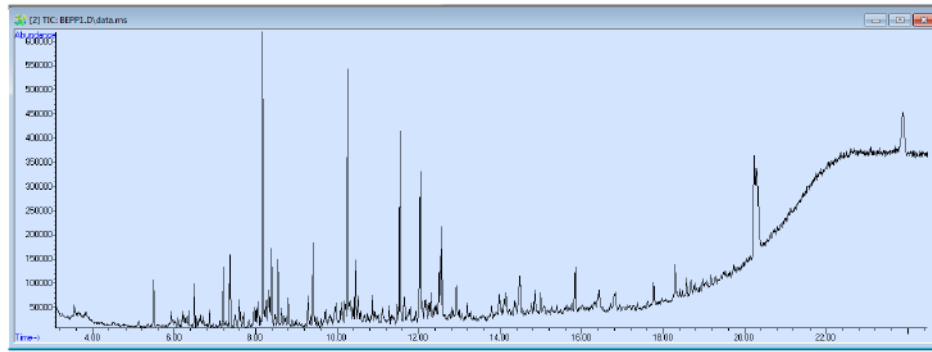


Figura 11. Cromatograma da Empresa A, amostra P1.

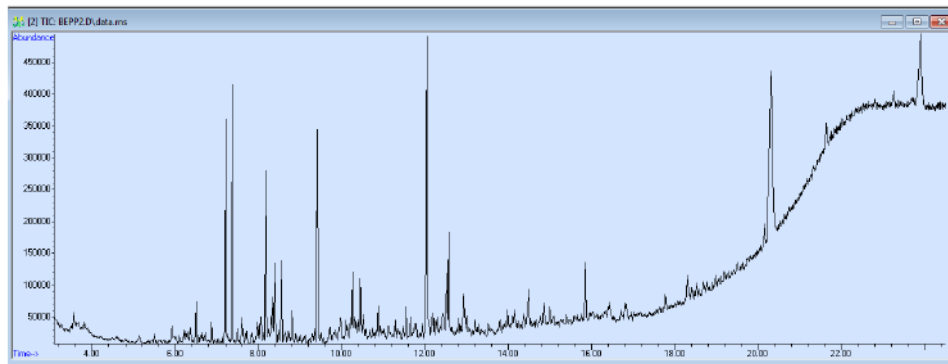


Figura 12. Cromatograma da Empresa A, amostra P2.

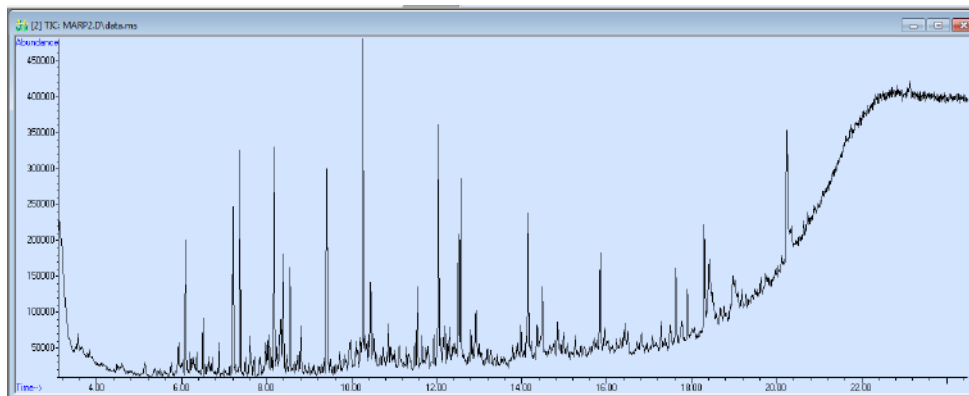


Figura 13. Cromatograma da Empresa A, amostra P1.

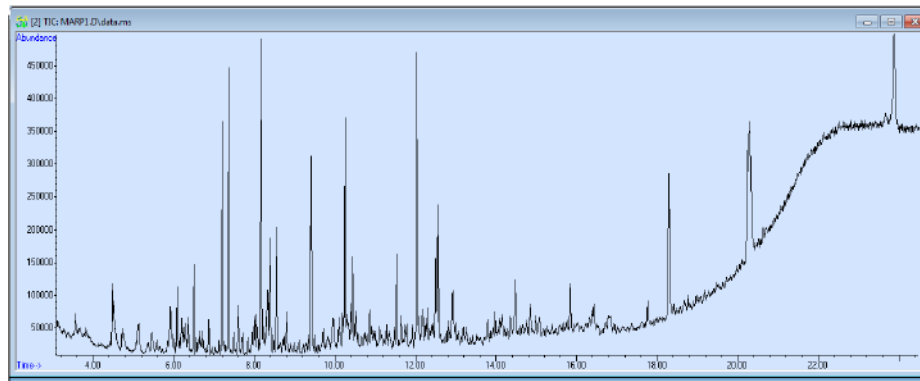


Figura 14. Cromatograma da Empresa B, amostra P1

Tabela 6. Compostos pertinentes ao estudo

IDENTIFICAÇÃO	CAS	FÓRMULA MOLECULAR
EMPRESA A, P1		
Hexadecane	000544-76-3	C ₁₆ H ₃₄
Dibutilftalato	000084-69-5	C ₁₆ H ₂₂ O ₄
EMPRESA A, P2		
Dibutilftalato	000084-69-5	C ₁₆ H ₂₂ O ₄
EMPRESA B, P1		
Hexadecane	000544-76-3	C ₁₆ H ₃₄
Dibutilftalato	000084-69-5	C ₁₆ H ₂₂ O ₄
EMPRESA B, P2		
Hexadecane	000544-76-3	C ₁₆ H ₃₄
Dibutilftalato	000084-69-5	C ₁₆ H ₂₂ O ₄

Segundo Lembo (1999), os hidrocarbonetos cuja fórmula é C_nH_{2n+2} caracterizam-se por parafínicos, assim o composto Hexadecane caracteriza-se como tal. (SILVA, 2005). O petróleo é um óleo mineral constituído por grupos de hidrocarbonetos saturados, sendo eles: (parafinas e naftênicos) (ROCHA *et al*, 2000); hidrocarbonetos aromáticos; resinas e asfaltenos. (TISSOT; WELTE, 1984). Os produtos petroquímicos são constituídos por etileno, propileno e benzeno. Após o refino do petróleo os produtos mais comuns produzidos são os hidrocarbonetos, sendo eles: liquefeitos; gás de petróleo; gasolina; óleo diesel/ querosene; óleo combustível e parafinas. (LIBARDI, 2009).

O éster dibutilftalato (DBF) é um dos plastificantes mais utilizados na indústria da borracha, ajudando a melhorar as características físicas do produto. Contudo, estudos afirmam que o DBF é um plastificante a base de PVA muito utilizado em concretos, tendo seu principal uso o de aditivo desincorporador de ar. (SILVA, 2007).

O estudo de cromatografia, segundo Jeknavorian *et al* (2016), mostra que a técnica de cromatografia gasosa pode ser usada tanto para identificar aditivos usados no concreto, quanto para estudar mais a reação do aditivo depois de hidratado o concreto. De acordo com Wexler *et al* (1963), muitos aditivos podem estar sujeitos a reações de modo a formar outros compostos e

prejudicar o concreto. Essa análise se mostra interessante, pois os aditivos geralmente têm concentração muito baixa, entre (5 a 5000ppm). (WEXLER *et al*, 1963).

5. CONCLUSÃO

Em relação à empresa A, percebeu-se nos dois elementos avaliados que o revestimento nominal era inferior ao requerido em norma. Pelo ensaio colorimétrico, um pilar mostrou-se com armadura sã e outro com armadura já despassivada.

Na empresa B, houve desconformidade com a norma, porém, pequena frente de carbonatação, estando os elementos sãos.

Na análise de FTIR as amostras apresentaram espectros parecidos, com picos em regiões semelhantes. Através da bibliografia foram encontrados minerais normalmente encontrados nas bandas semelhantes. Minerais como aragonita, vaterita, calcita, dolomita, quartzo, caulita, estavam presentes podendo ser precedentes de misturas na fabricação e maturação do clínquer e após do concreto hidratado. A presença de umidade não foi identificada, sabendo que ela apresenta bandas grandes no espectrograma. Com base na literatura a presença de carbonatação pode ser identificada com a técnica de FTIR, o que ocorreu neste estudo. Não se pode perceber neste ensaio a presença de algum contaminante no concreto ou o que pode ocorrer é que quando há alguma banda com pico grande pode esconder algum pico menos intenso mascarando o resultado.

Através do ensaio de cromatografia gasosa, buscou-se os compostos os que tivessem relação com os possíveis aditivos usados no concreto e suscetíveis residuais do ambiente petroquímico interagindo no concreto. Em todas as empresas foi detectado a possível presença de um composto, o dibutilftato, aditivo plastificante usado tanto nos elastômeros quanto no concreto para melhorar características de ambos, em tal caso não pode afirmar que o mesmo é um residual vindo da indústria petroquímica ou se é comumente utilizado em concreto usinados. Outro composto encontrado na maioria dos elementos analisados foi do Hexadecano, um hidrocarboneto, ele sendo um parafínico é derivado do petróleo, mas não foi encontrado literatura que afirmasse o seu uso em aditivos para concreto ou como contaminante natural.

6. REFERÊNCIAS

AMORIM, E. L. C. de. Ferramentas de Análise de Risco. Apostila do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alagoas, CTEC, Alagoas: 2010. Disponível em: <https://sites.google.com/site/elcaufal/disciplinas/programacao-estruturada>. Acesso em: 15 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

CHANG, J. ., YEIH, W. C., HUANG, R., CHEN, C.T. Suitability of several current used concrete durability indices on evaluating the corrosion hazard for carbonated concrete. *Materials Chemistry and Physics*, 84(1), 2004, 71-78.

FILHO, C. A., CARMONA, G. T. BT03 – Fissuração nas Estruturas de Concreto. Mérida: ALCONPAT Internacional, 2013. 16 p.

HELENE, P. Vida útil das Estruturas de Concreto In: Congresso Ibere Americano de Patologia das Construções (CONPAT), 4. 1997, Porto alegre. Anais do Congresso Ibwe Americano de Patologia das Construções.

ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2011.

KIRCHHOF, D. L. Estudo Teórico-Experimental da Influência do Teor de Umidade no fenômeno de Spalling Explosivo em Concretos Expostos a Elevadas Temperaturas. 237 f. Dissertação

- (Doutorado) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- LI, et al. Determination of the apparent activation energy of concrete carbonation. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater*, 2013.
- MARTINS, et al. Produção de Petróleo e Impactos Ambientais: Algumas Considerações. *Holos*, vol 6, 2015, pp54-76 – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.
- MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- NAKAMURA, J. Cobrimento de armaduras determina durabilidade de estruturas de concreto. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/cobrimento-de-armaduras-determina-durabilidade-de-estruturas-de-concreto/14548>. Acesso em: 11 abr. 2020.
- PACHECO, F. Investigação da Relação Entre os Parâmetros de Projeto das Estruturas de Concreto Armado Visando à Durabilidade. 185 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.
- POSSAN, E. Modelagem da Carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano. 263 f. Dissertação (Doutorado) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- SAETTA, A.V., SCHREFLER, B.A., VITALIANI, R.V., 1995. 2—D model for carbonation and moisture/heat flow in porous materials. *Cement Concr. Res.* 25 (8), 1703–1712.
- SALES, A. et al. *Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, Controle e Técnicas de Análise e Intervenção*. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- MOLIN, et al. Contribuição à Previsão da Vida Útil de Estruturas de Concreto. In: *Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade*. Editora Scienza, 2016.
- YLMÉN, R., JÄGLID, U. Carbonation Of Portland Cement Studied by Diffuse Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 2013, 7, 119–125.

Análise do desempenho de concretos com diferentes métodos de inserção de silicato de sódio neutro para autocicatrização

F P de Souza¹, F. Pacheco^{2*}, R. P de Souza³; H.Z. Ehrenbring⁴; R.C.E. Modolo⁵, B.F. Tutikian⁶

*Autor de Contacto: fernandapache@unisinis.br

1,5 Escola Politécnica, Graduação em Engenharia Civil, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

2,4,6 Unidade de pesquisa e pós-graduação- itt Performance, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

3, 5 Unidade de pesquisa e pós-graduação- PPGEC- Programa de pós graduação em Engenharia Civil, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

RESUMEN

Uma das soluções que tem ganhado destaque nos concretos autocicatrizantes é a utilização de soluções químicas, como o de silicato de sódio neutro. A solução de tal produto pode ser encapsulada, adicionada na água de mistura e/ou aspergida em concretos. Sua atuação se dá com a reação do silicato e hidróxido de cálcio em pasta de cimento hidratado, formando assim um gel de silicato de cálcio hidratado, este por sua vez depositando-se ao longo das aberturas das fissuras dos elementos em concreto, promovendo assim a cicatrização. Esse trabalho teve como objetivo avaliar essas diferentes formas de uso da solução. Para tal, foram desenvolvidas amostras com o silicato encapsulado em perlita expandida, na água de amassamento e com sua aspersão diretamente nas fissuras. Para caracterizar as matrizes utilizou-se de ensaios como os de resistência a compressão uniaxial, e de absorção. Para a indução de fissuras foi aplicado o ensaio de tração na flexão. Para avaliar a cicatrização das fissuras foi feita análise visual e utilização de software gráfico para mensuração dos percentuais de fissuras cicatrizadas. Percebeu-se que determinadas soluções contendo o silicato de sódio, principalmente a PER.VAC (com perlitas encapsuladas à vácuo) e a SIL.ASP (com aspersão do silicato de sódio nas fissuras) obtiveram sucesso quanto a autocicatrização, apresentando potencial pela caracterização e verificação da autorregeneração dos protótipos de vigas.

Palabras clave: Autorregenerantes, autocicatrizante e hidrato de silicato de cálcio.

ABSTRACT

One of the solutions that stand out in the design of self-healing concretes is the use of chemical solutions, such as neutral sodium silicate. This solution can be encapsulated, added to the mixing

water, or sprayed on concrete. Its performance occurs with the reaction of calcium silicate and hydroxide in hydrated cement paste, thus forming a hydrated calcium silicate gel, which in turn deposits itself along the crack openings of the concrete elements, thus promoting the healing. This work aimed to evaluate these different ways of using the solution. For this, samples were developed with the silicate encapsulated in expanded perlite, in the mixing water, and with its sprinkling directly into the cracks. To characterize the matrices, tests such as resistance to uniaxial compression and absorption were used. For the induction of cracks, the flexural tensile test was applied. To assess the healing of fissures, visual analysis and graphic software were used to measure the percentage of healed fissures. It was noticed that certain solutions containing sodium silicate, mainly PER.VAC (with vacuum encapsulated perlites) and SIL.ASP (with spraying of sodium silicate in cracks) were successful in self-healing, presenting potential for the characterization and verification of the self-regeneration of beam prototypes.

Keywords: Self-healing, self-healing and calcium silicate hydrate.

1. INTRODUCCIÓN

Estruturas de concreto armado são sujeitas a ocorrência de fenômenos patológicos, tais como o surgimento de fissuras, o que pode resultar em perda de desempenho e funcionalidade a longo prazo (Bonin et al, 2015; Zai; Murphy, 2015). Havlásek et al. (2017) citam que diversos são os motivos para seu aparecimento, e podem ocorrer em diferentes fases. Normas técnicas internacionais estipulam limites para a abertura das fissuras, justamente por entender-se seu potencial de dano (ABNT NBR 6118; ACI Committee 224; IS 456; Fib Bulletin 34)

Considerando tal dano, estudam-se na atualidade mecanismos que possam promover a autocicatrização do concreto. Há a possibilidade de cicatrização autógena, conhecida como aquela que ocorre com os materiais convencionalmente empregados, tais como cimento ou adições pozolânicas, devido à formação secundária de silicato de cálcio hidratado (Hoppe Filho et al, 2017)

Porém, tais mecanismos autogênicos têm limitações no que se refere a idade de surgimento da fissura, a capacidade máxima de cicatrização, e ainda, a disposição das partículas. Assim sendo, tem-se o destaque para os mecanismos autônomos. Dentre os autônomos, tem destaque na bibliografia o uso de soluções químicas e biológicas. Devido à complexidade dos fenômenos que envolvem soluções bacterianas e sua difícil preparação em elementos de tamanho real (Adak, 2015), consolida-se a utilização de soluções químicas, tais como o silicato de sódio neutro, conforme já validado no estudo de Manoj-Prabakar et al., (2017).

Alghamri, Kanellopoulos e Al-Tabbaa (2016) apresentam duas formas de aplicação da solução de silicato no concreto, seriam elas por encapsulamento à vácuo e encapsulamento por submersão. Os autores ainda expõem bons resultados quanto a autocicatrização das fissuras em concretos com a presença da solução de silicato. Isso pois a reação do hidróxido de cálcio e do silicato de sódio, juntamente com a água, formam o gel de C-S-H, produzindo cristais que contribuem no processo de cicatrização das fissuras. Analisaram microscopicamente (MEV) que os produtos formados foram etringita, portlandita e calcita.

Ainda, Alghamri, Kanellopoulos e Al-Tabbaa (2016), constata maior ganho de resistência nas amostras com silicato de sódio, em uma mesma idade, pois ele proporcionou a formação de mais C-S-H. Tem-se assim o material como um agente promissor de cicatrização, justificando-se o desenvolvimento da presente pesquisa.

2. ENCAPSULAMENTO DE SILICATO DE SÓDIO COMO AGENTE CICATRIZANTE

Kanellopoulos, Qureshi e Al-Tabbaa (2015) trouxeram à tona o estudo com minerais encapsulados, os quais foram selecionados conforme a sua compatibilidade com a matriz cimentícia e seu baixo valor agregado. Em relação à tal técnica, Giannaros, Kanellopoulos e Al-

Tabbaa (2016) pontuam que os encapsulamentos a base de sílica como agentes de cura, podendo ser silicato de sódio, são considerados excelentes para a autocicatrização de materiais cimentícios. Ainda, salientam que para a realização deste processo, o silicato de sódio reage com hidróxido de cálcio presente no cimento, e na presença de água irá formar um gel de hidrato de silicato de cálcio (C-S-H), originando o produto de hidratação do cimento.

Esta reação irá formar cristais que irão contribuir para a cicatrização das fissuras, fato que basicamente explica os bons resultados da pesquisa de Alghamri, Kanellopoulos e Al-Tabbaa (2016), quanto a autocicatrização das fissuras em concretos com a presença da solução de silicato, isto podendo acontecer por dois métodos de aplicação, por encapsulamento a vácuo e encapsulamento submerso. Estes autores observaram a formação de etringita, portlandita e calcita na área das fissuras, quando comparado o concreto convencional e o concreto com a solução de silicato de sódio, logo, evidenciaram que a solução possibilitou uma maior criação de gel C-S-H.

As soluções químicas ditas anteriormente são encapsuladas e inseridas na matriz, para proporcionar a autocicatrização e a autorregeneração, e posteriormente submetidas a tensões que levem a fissuração, o que tende a romper a capsula e conseqüentemente, liberar o agente regenerante (Gupta, Pang, Kua, 2017). Estes autores ainda afirmam que as fissuras em concretos com a solução de silicato de sódio neutro apresentam ganho de resistência estrutural aos 28 dias.

Todavia, é trazida em bibliografia a dificuldade de reprodução dos fenômenos de encapsulamento de agregados e se a sua viabilidade ocorrerá também em larga escala. Visando analisar diferentes estratégias de inserção do produto químico nos concretos, esse estudo avaliou a utilização de diferentes formas de silicato de sódio neutro em um mesmo traço de concreto, caracterizando os traços gerados e monitorando a cicatrização das fissuras.

3. PROCEDIMENTO

Para a análise dos diferentes métodos de utilização da solução de silicato de sódio neutro, contou-se com a confecção de amostras prismáticas (6X6X18cm e 10X10X30cm), as quais tiveram a formação de fissuras induzida pelo ensaio de tração na flexão NBR 12142 (ABNT, 2010) para acompanhamento da cicatrização. A Tabela 1 indica o traço utilizado. A solução de silicato utilizada neste estudo foi a de sódio neutro, dissolvida em 50% água deionizada. Os traços foram identificados da seguinte forma: PER.VAC: encapsulamento à vácuo em perlitas; PER.IMER: encapsulamento por imersão em perlitas; SIL.ÁGUA: adição do silicato de sódio na água de mistura; SIL.ASP: silicato de sódio aspergido após fissuração aos 7 dias.

Foram realizados ensaios aos 28 dias após moldagem, de resistência mecânica e índice de vazios. Para análise da cicatrização os materiais foram submetidos ao ensaio de tração na flexão, aos 7 dias, formando fissuras de 5mm.

Tabela 1 – Traço unitário para as soluções de concreto

Nomenclatura	Traço					Concentração da Solução de Silicato de Sódio Neutro
	Cimento	Areia	Perlita	Brita	a/c	
PER.VAC	1	2,24	0,27	3,17	0,55	0,5
PER.IMER	1	2,24	0,27	3,17	0,55	0,5
SIL.ÁGUA	1	2,24	0,27	3,17	0,55	0,5
SIL.ASP	1	2,24	0,27	3,17	0,55	0,5
REF (referência)	1	2,24	0,27	3,17	0,55	0

3.1 Materiais Utilizados

Para a produção dos concretos foi utilizado em seu traço o cimento Portland (CP-II-F-40), por não conter adições pozolânicas. Para sua caracterização seguiu-se a NBR 16605 (ABNT, 2017), sendo que foi obtido o valor de 3,0049 g/cm³. Como agregado miúdo utilizou-se areia média de origem quartzosa, caracterizada conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003). O módulo de finura foi

de 1,62 e a dimensão máxima de 1,2mm. Ainda, para obtenção da massa específica e a determinação da massa unitária, utilizou-se a NBR NM 52 (ABNT, 2009), e a NBR NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente. Os resultados foram de massa específica de 2,4948 g/cm³ e a massa unitária de 1,4921. Como agregado graúdo utilizou-se brita, de origem basálticas. Para a caracterização do tipo de brita escolhida, foi usada a NBR NM 248 (ABNT, 2003), já mencionada. Os resultados apontaram para um módulo de finura de 1,0915 e uma dimensão máxima de 12,5mm. A massa específica obtida foi de 2,7598 g/cm³ e a massa unitária de 1,449 g/cm³. Foi utilizada como agregado leve, para o encapsulamento da solução de silicato de sódio neutro, e/ou água, a perlita expandida, material fornecido diretamente pela Pervale, com dimensões entre 1,2 a 4,8 mm. A média da massa unitária da perlita é de 110,1 kg/m³, conforme Pacheco (2020).

3.2 Procedimentos

3.2.1 Preparo das amostras

Salienta-se que a perlita para a PER.VAC e PER.IMER foram encapsuladas com a solução de silicato de sódio neutro. Enquanto a SIL.ÁGUA foi adicionada a perlita somente encapsulada com água, e adicionando a mistura a proporção de 50% de solução da água total da mistura, e por fim a SIL.ASP e REF, receberam somente a perlita encapsulada com água. Ainda no estado fresco, foi realizado o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone pela NBR 16889 (ABNT, 2020) obtendo-se valores entre a classe S160.

3.2.2 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova cilíndricos, para os ensaios de compressão e índices físicos foram moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2018), sendo seis amostras por traço, três para cada idade, de 7 e 28 dias. As amostras para indução de fissuração e seu acompanhamento tiveram dimensões de 10 x 10 x 30cm (largura, altura, comprimento) e de 6x6x18cm, moldadas conforme a NBR 12142 (ABNT, 2010) e contendo uma barra de aço para resistir ao ensaio de tração sem rompimento frágil. A cura destes corpos de prova se deu por meio do método de cura úmida. Após o acompanhamento da cicatrização nas amostras prismáticas elas foram novamente submetidas aos ensaios mecânicos.

3.2.3 Ensaios

Foram realizados os ensaios de resistência à compressão conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Para o ensaio de tração na flexão, a norma de referência foi a NBR 12142 (ABNT, 2010). Os índices físicos foram avaliados pela NBR 9778 (ABNT, 2009).

3.2.4 Análise da autocicatrização com microscópio óptico

Para a análise do processo de autocicatrização foi utilizado o microscópio óptico para visualização, no qual acoplou-se câmera de 12 megapixels. Estes registros foram realizados pós fissuração, data zero, e os demais capturados dez, onze, e dezanove dias após a data de fissuração.

4. RESULTADOS

4.1 Resistência à compressão

Os resultados obtidos estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados ensaio de compressão uniaxial (7 e 28 dias)

Resultados Ensaio de Compressão Uniaxial (7 e 28 dias)		
	7 dias	28 dias

Corpo de Prova		Carga Máxima (kN)	Tensão à Compressão (MPa)	Valor médio de tensão (MPa)	Carga Máxima (kN)	Tensão à Compressão (MPa)	Valor Médio de tensão (MPa)
PER.VAC	A	242,78	30,9	29,8	283,9	35,7	35,9
	B	240,6	30,3		281,7	35,8	
	C	221,27	28,3		285,4	36,1	
PER.IMER	A	208,4	26,4	27,0	232,6	29,7	30,0
	B	212,73	27,1		235,7	30,2	
	C	216,14	27,4		234,6	30	
SIL.AGUA	A	98,37	12,5	14,9	171,1	21,8	17,5
	B	139,8	17,8		103,7	13,2	
	C	112,35	14,3		137,8	17,6	
SIL.ASP	A	200,57	25,5	25,5	221	28,4	29,8
	B	195,42	25		242,3	30,7	
	C	204,16	26		236,9	30,2	
REF	A	205,26	26	26,2	243,5	30,9	30,7
	B	210,12	26,8		240,6	30,5	
	C	203,22	25,8		241,9	30,7	

Todos os traços apresentaram a relação esperada de ganho de resistência proporcional ao tempo de cura do concreto (Mehta; Monteiro, 2014), sendo a amostra PER.VAC a que obteve a maior porcentagem de ganho de resistência de 7 dias para 28 dias. Quanto a maior resistência de cada amostra, todas, exceto a SIL.ÁGUA, apresentaram resultados próximos, devido ao fato de serem compostas pelo mesmo material, composição e condições de preparo.

Contudo, como mencionado anteriormente, uma das soluções, a SIL.ÁGUA, embora tenha apresentado um ganho de resistência proporcional ao tempo de cura, apresentou valores, quanto a resistência, significativamente menores, cerca de 80% a menos, o que se explica pelo fato de que esta amostra possui uma adição da solução de silicato de sódio neutro direto na mistura, propiciando um concreto com rápida pega inicial, e elevado ganho de vazios no processo de moldagem. Essa pega inicial é citada por Provis e Van Deventer (2014) que informam que o produto é um ativador alcalino. o silicato de sódio é utilizado como aditivo do concreto para acelerar a pega.

Essa maior formação de vazios na amostra impactou na resistência mecânica, e assim, mesmo com um processo mais passível de reprodução em larga escala, não obteve-se comportamento mecânico satisfatório. Em relação aos diferentes tratamentos para encapsulamento das perlitas, notou-se que em ambas as idades a resistência foi superior nas amostras com a utilização de vácuo, comportamento contrário ao obtido por Pacheco (2020) utilizando-se o mesmo produto de cicatrização. Ainda, é pertinente destacar um comportamento já esperado, de semelhança entre as amostras SIL.ASP e REF, por conterem a mesma composição, sem alterações nas amostras, sendo essas feitas apenas após a formação de fissuras.

4.2 Resistência à tração na flexão

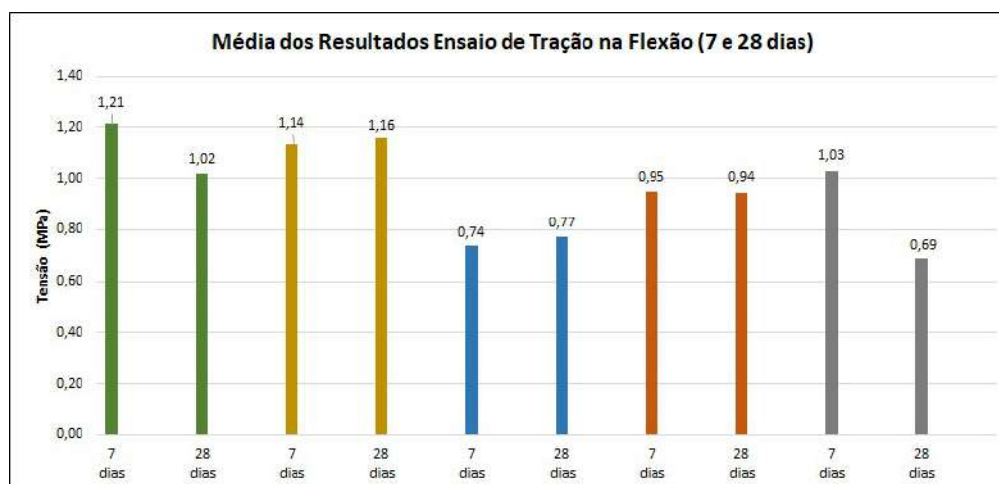
4.2.1 Resultados de resistência à tração na flexão CP's - 6 cm x 6 cm x 18 cm (7 e 28 dias)

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência à tração na flexão para os CP's de 6 cm x 6 cm x 18 cm, estão dispostos na tabela 3, e complementados pela figura 1:

Tabela 1 – Resultados tração na flexão (CP's – 6 cm x 6 cm x 18 cm) (7 e 28 dias)

Ensaio de Tração da Flexão Potencial (60 mm x 60 mm x 180 mm)							
Corpo de Prova		7 dias			28 dias		
		Carga Máxima (kN)	Tensão à Tração da Flexão (MPa)	Média Tensão à Tração da Flexão (MPa)	Carga Máxima (kN)	Tensão à Tração da Flexão (MPa)	Média Tensão à Tração da Flexão (MPa)
PER.VAC	A	9,23	1,23	1,21	6,19	0,83	1,02
	B	7,97	1,06		7,81	1,04	
	C	10,13	1,35		8,83	1,18	
PER.IMER	A	9,03	1,20	1,14	10,26	1,37	1,16
	B	7,82	1,04		8,41	1,12	
	C	8,74	1,17		7,43	0,99	
SIL.AGUA	A	5,79	0,77	0,74	7,41	0,99	0,77
	B	6,24	0,83		7,08	0,94	
	C	4,57	0,61		2,85	0,38	
SIL.ASP	A	6,35	0,85	0,95	5,86	0,78	0,94
	B	8,53	1,14		9,46	1,26	
	C	6,42	0,86		5,91	0,79	
REF	A	7,49	1,00	1,03	6,77	0,9	0,69
	B	7,24	0,97		4,93	0,66	
	C	8,38	1,12		3,79	0,51	

Figura 1– Gráfico comparativo tensão média tração na flexão (CP's – 6 cm x 6 cm x 18 cm) (7 e 28 dias)



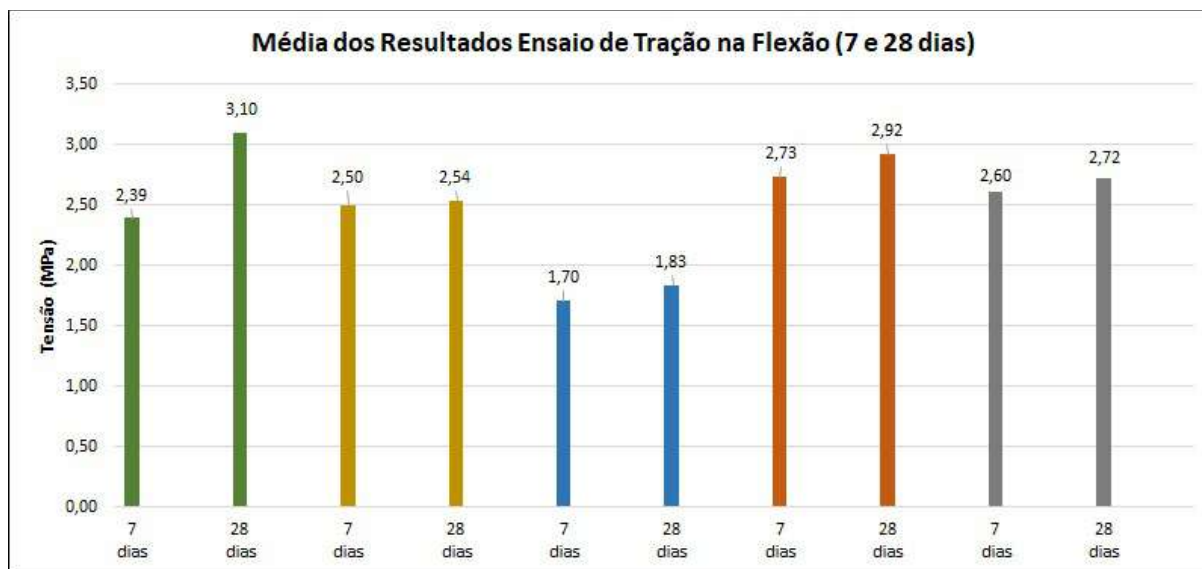
4.2.2 Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão CP's - 10 cm x 10 cm x 30 cm (7 e 28 dias)

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência à tração na flexão para os CP's de 10 cm x 10 cm x 30 cm, estão dispostos na tabela 4, e complementados pela figura 2.

Tabela 2 – Resultados tração na flexão (CP's – 10 cm x 10 cm x 30 cm) (7 e 28 dias)

Ensaio de Tração da Flexão Potencial (100 mm x 100 mm x 300 mm)							
Corpo de Prova		7 dias			28 dias		
		Carga Máxima (kN)	Tensão à Tração da Flexão (MPa)	Média Tensão à Tração da Flexão (MPa)	Carga Máxima (kN)	Tensão à Tração da Flexão (MPa)	Média Tensão à Tração da Flexão (MPa)
PER.VAC	A	16,73	2,23	2,39	23,13	3,08	3,10
	B	17,47	2,33		23,76	3,17	
	C	19,59	2,61		22,79	3,04	
PER.IMER	A	15,41	2,05	2,50	16,52	2,2	2,54
	B	20,13	2,68		20,92	2,79	
	C	20,74	2,77		19,62	2,62	
SIL.AGUA	A	11,79	1,57	1,70	12,85	1,71	1,83
	B	14,13	1,88		15,64	2,09	
	C	12,46	1,66		12,76	1,7	
SIL.ASP	A	22,16	2,95	2,73	26,19	3,49	2,92
	B	16,99	2,26		14,84	1,98	
	C	22,27	2,97		24,58	3,28	
REF	A	18,66	2,49	2,60	19,35	2,58	2,72
	B	20,45	2,73		20,67	2,76	
	C	19,45	2,59		21,05	2,81	

Figura 2 – Gráfico comparativo tensão média tração na flexão (CP's – 10 cm x 10 cm x 30 cm) (7 e 28 dias)



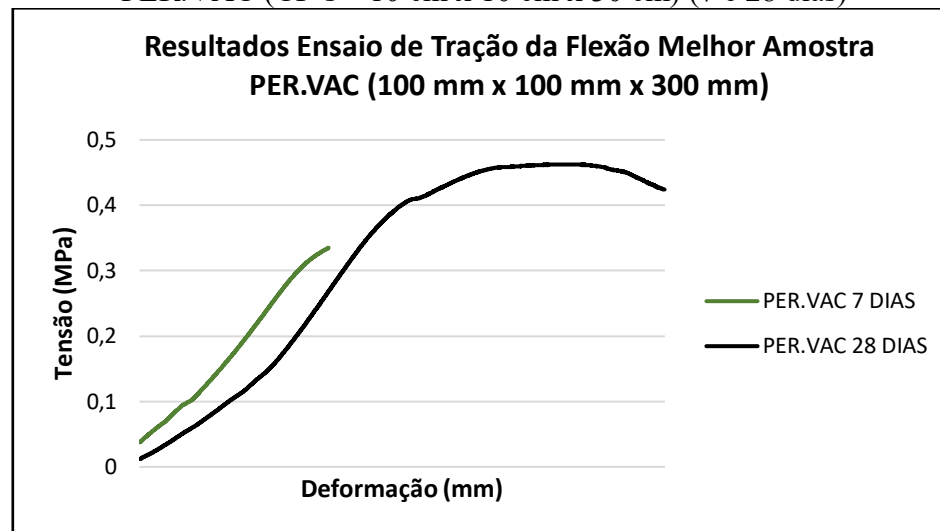
Para este ensaio foram desenvolvidos CP's com diferentes dimensões, como já mencionado anteriormente, sendo elas de 6 cm x 6 cm x 18 cm, e 10 cm x 10 cm x 30 cm, todas levadas a cargas distintas para que se obtivesse, aos 7 dias, fissuras com 5 mm de espessura. Portanto, já aos 7 dias foi possível observar que mesmo que o concreto seja um material uniforme, e executado neste caso em uma mesma concretagem, os corpos de prova necessitaram cargas diferentes para obtenção da mesma abertura de fissuras. Entretanto, como foi possível observar nos gráficos, por se tratar de um concreto armado, os elementos obtiveram dois ganhos de resistência, o primeiro, a faixa onde o concreto está atuando, e posteriormente, o rompimento do mesmo, onde se observou o ganho de resistência quando a carga começou a atuar no conjunto com a armadura do corpo de prova. Mehta e Monteiro (2014) demonstram as diferenças dos módulos de elasticidade de concretos

convencionais e concretos armados, vistas nos gráficos pelo desenvolvimento das retas e curvas apresentadas.

Já o ensaio aos 28 dias dos mesmos corpos de prova, os quais continham a adição da solução de silicato de sódio neutro, PER.VAC, PER.IMER, SIL.ÁGUA e SIL.ASP, permitiram analisar que, não houve somente a autocicatrização, mas também a autorregeneração, fazendo com que o concreto ganhe resistência após o processo de fissuração inicial. Esse fenômeno foi abordado na pesquisa de Alghami, Kanellopoulos e Al-Tabbaa (2016), que demonstrou o processo utilizando o encapsulamento de silicato de sódio em agregados leves. Ainda sobre este assunto, a pesquisa realizada por Gupta, Pang e Kua (2017), informa que as fissuras são capazes de romper o encapsulamento liberando o agente reagente, e conseqüentemente, evidenciando a recuperação das fissuras, já aos 28 dias. Diferentemente das amostras da REF, qual não receberam qualquer tipo de solução, e, portanto, não obtiveram ganho de resistência.

Ainda referente ao processo de autorregeneração, avaliado a partir deste ensaio, qual é responsável por fornecer valores quanto as propriedades mecânicas (resistência à tração na flexão), foi possível observar que a PER.VAC obteve os melhores resultados quanto ao ganho de resistência pós fissuração aos 7 dias, diferença vista na Figura 3.

Figura 3 – Gráfico comparativo melhor resultado ganho de resistência de tração na flexão PER.VAC (CP's – 10 cm x 10 cm x 30 cm) (7 e 28 dias)



Fonte: Autor (2020)

Referente a resistência a tração na flexão, analisada no item atual, a mesma também obteve resultados consideráveis pois como mostram os comparativos ela apresentou um ganho de resistência, tanto aos 7 dias quanto aos 28 dias em seus CP's. Assim, vale salientar que embora os seus resultados tenham dados inferiores se comparado as demais soluções, caso haja uma correção em seu traço para obter mais resistência, pode ser considerado um concreto autorregenerantes e autocicatrizante. Referente a adição da solução diretamente sobre a superfície, Medeiros, Pereira e Helene (2012), trazem à tona a sua efetividade quanto a sua proteção e durabilidade, aumentando a vida útil da estrutura. As análises destes resultados estão dispostas nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Ganho de resistência após o período de autorregeneração ensaio de tração na flexão melhores amostras 6 cm x 6 cm x 18 cm (7 e 28 dias)

Ensaio de Tração da Flexão Potencial (60 mm x 60 mm x 180 mm)

Corpo de Prova	7 dias		28 dias		Porcentagem Ganho de Resistência (%)
	Carga Máxima (kN)	Tensão à Tração da Flexão (MPa)	Carga Máxima (kN)	Tensão à Tração da Flexão (MPa)	
PER.VAC - B	7,97	1,06	7,81	1,04	-2%
PER.IMER - A	9,03	1,20	10,26	1,37	14%
SIL.AGUA - A	5,79	0,77	7,41	0,99	29%
SIL.ASP - B	8,53	1,14	9,46	1,26	11%
REF - A	7,49	1,00	6,77	0,9	-10%

Tabela 4 – Ganho de resistência após o período de autorregeneração ensaio de tração na flexão melhores amostras 10 cm x 10 cm x 30 cm (7 e 28 dias)

Ensaio de Tração da Flexão Potencial (100 mm x 100 mm x 300 mm)					
Corpo de Prova	7 dias		28 dias		Porcentagem Ganho de Resistência (%)
	Carga Máxima (kN)	Tensão à Tração da Flexão (MPa)	Carga Máxima (kN)	Tensão à Tração da Flexão (MPa)	
PER.VAC - A	16,73	2,23	23,13	3,08	38%
PER.IMER - A	15,41	2,05	16,52	2,2	7%
SIL.AGUA - B	14,13	1,88	15,64	2,09	11%
SIL.ASP - A	22,16	2,95	26,19	3,49	18%
REF - C	19,45	2,59	21,05	2,81	8%

Como pode ser percebido, não houve um comportamento igual nas duas geometrias de amostra. Enquanto que nas amostras de menor dimensão o traço mais bem sucedido foi o que incorporou a solução na água de amassamento, nas maiores amostras o traço com maior ganho de resistência foi o com encapsulamento com aplicação de vácuo.

A maior resistência aos 28 dias pode ser oriunda das reações de hidratação do silicato (no caso do inserido na água de amassamento), ou pela formação de produtos de cicatrização, que possam ter atuado provocando melhorias em seu comportamento mecânico.

4.4 Determinação da absorção e índice de vazios

4.4.1 Resultados do ensaio de absorção e índice de vazios (28 dias)

Os resultados obtidos estão dispostos na tabela 5.

Para essa análise, cabe destacar que todos os traços contaram com perlita em sua composição, sem ser esse o efeito predominante no que tange a maior presença de vazios entre um traço e outro (Sengul et al, 2011). Percebeu-se que o maior índice de vazios foi atribuído ao traço no qual a solução de silicato ocorreu na água de amassamento, aspecto percebido durante a moldagem, quando a mistura se apresentou menos coesa. Entre os diferentes procedimentos de encapsulamento, foram notadas sutis alterações, tanto na absorção de água quanto no índice de vazios. Tais alterações podem decorrer também da distribuição das perlitas ao longo da matriz. Esses resultados de encapsulamento apresentaram resultado semelhante ao traço de referência.

Tabela 5 – Resultados ensaio de absorção e índice de vazios (28 dias)

Resultados Ensaio de Absorção (28 dias)

Corpo de Prova		Média - Msat (g)	Média - Mi (g)	Média - Ms (g)	Absorção de Água por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
PER.VAC	A	3638,8	2072,8	3354,7	8,47%	18,14%
	B					
	C					
PER.IMER	A	3636,5	2068,6	3340,3	8,87%	18,89%
	B					
	C					
SIL.AGUA	A	3002,2	1653,3	2681,5	11,96%	23,77%
	B					
	C					
SIL.ASP	A	3648,4	2074,2	3328,6	9,61%	20,31%
	B					
	C					
REF	A	3648,3	2076,2	3354,8	8,75%	18,67%
	B					
	C					

4.5 Análise e discussão da autocicatrização das fissuras

A partir das análises desenvolvidas, com o auxílio de microscópio, foi possível observar que todos os elementos que continham a solução em sua composição, apresentaram o processo de autocicatrização. Vale ressaltar que até mesmo a SIL.ASP, com a solução inserida externamente obteve sucesso neste processo. Como já abordado anteriormente, pesquisas como a de Medeiros, Pereira e Helene (2012), mostram que a aspersão direto sobre a superfície ocasiona o fechamento dos poros após reação do silicato de sódio (Na_2SiO_3) com o NaOH. Ainda sobre os demais métodos de aplicação do silicato, como o encapsulamento da solução, Alghamri, Kanellopoulos e Al-Tabbaa (2016), evidenciam o processo de autocicatrização através da adição de agregados leves.

Há indícios de que a permanência em câmara de cura, e com submersão das amostras tenha beneficiado o processo de autocicatrização. Quanto as dimensões máximas das fissuras existentes nas amostras, todas obtiveram espessuras iniciais de 5 mm após retirada da carga aos 7 dias, medida conferida com o auxílio de fissurômetro. A análise foi realizada conforme as imagens a seguir:

4.5.1 Imagens autocicatrização PER.VAC

A Figura 4 apresenta o comportamento das amostras nas quais o silicato de sódio foi impregnado nas perlitas com a utilização de câmara de vácuo.

Figura 4 – Amostras 10 cm x 10 cm x 30 cm PER.VAC – Zoom 30x (dia 19)



Como é possível perceber, nas perlitas encapsuladas à vácuo, houve pequena participação da cicatrização, se manifestando principalmente com formação dos produtos na borda, sem a

efetivação da cicatrização total, ou contínua, como classificado por Pacheco (2020). Porém, vale salientar que como observado nos ensaios de resistência à tração na flexão, esta solução foi a que apresentou melhores resultados, quais apareceram também na pesquisa de Alghamri, Kanellopoulos e Al-Tabbaa (2016), que utilizaram também agregados leves.

Ainda pode-se observar que o processo de fissuração acaba promovendo o rompimento das cápsulas, assim liberando o agente regenerante, conforme pesquisa realizada por Gupta, Pang e Kua (2017). Estes autores destacam que já é possível evidenciar recuperação da estrutura aos 28 dias, resultado também apresentado para esta solução nesta pesquisa.

4.5.2 *Imagens aut cicatrização PER.IMER*

A Figura 5 apresenta as ocorrências de cicatrização nas amostras com impregnação de silicato de sódio por imersão nas perlitas.

Figura 5– Amostras 10 cm x 10 cm x 30 cm PER.IMER – A – Zoom 30x (dia 19)



Novamente, nota-se que com o tratamento de impregnação por imersão das perlitas não houve formação considerável de produto de cicatrização. O fato da ocorrência ter sido pontual, pode decorrer da disponibilidade de perlita no local onde houve a formação da fissura (Wu et al, 2012). Autores como Alghamri, Kanellopoulos e Al-Tabbaa (2016), mostram em suas pesquisas que apesar da simples imersão das perlitas em solução ter efetividade, acabam por não apresentar grandes evoluções quanto a autoregeneração, resultado complementado e evidenciado pelo ensaio de resistência à tração na flexão, onde o PER.IMER não obteve grandes resultados.

4.5.3 *Imagens aut cicatrização SIL.AGUA*

Dando continuidade a apresentação dos resultados, a Figura 6 apresenta as amostras nas quais o silicato de sódio foi inserido na mistura pela água de amassamento.

Figura 6– Amostras 10 cm x 10 cm x 30 cm SIL.ÁGUA - C – Zoom 3000x (dia 19)



A dispersão da solução de silicato de sódio na água de amassamento parece ter sido ineficaz para o processo de aut cicatrização, uma vez que não foram percebidos produtos nem pontualmente. Cabe lembrar, aqui, o comportamento desse material em termos de resistência à compressão, na qual notou-se uma evolução quanto ao ganho de resistência durante o período de

cura do concreto, porém como evidenciado neste mesmo ensaio, a SIL.ÁGUA teve resultados significativamente menores, do que as demais soluções, visto que possibilitou maior índice de vazios e maior dificuldade quanto ao processo de adensamento e moldagem. Importante salientar que soluções como a de silicato de sódio são adicionadas ao concreto como aditivos aceleradores do processo de endurecimento, como mencionado por Mehta e Monteiro (2014).

4.5.4 *Imagens autocicatrização SIL.ASP*

As Figuras 7,8,9 e 10 apresentam as ocorrências nas amostras que contarão com aspersão de silicato de sódio diretamente nas fissuras.

Figura 7 – Amostras 10 cm x 10 cm x 30 cm SIL.ASP - C – Zoom 3000x (dia 10)



Figura 8 – Amostras 10 cm x 10 cm x 30 cm SIL.ASP – C e A (dia 10)



Figura 9 – Amostras 6 cm x 6 cm x 6 cm SIL.ASP - B – Zoom 7,5x (dia 11)



Figura 10 – Amostras 10 cm x 10 cm x 30 cm SIL.ASP - A – Zoom 7,5x (dia 19) e SIL.ASP - C – Zoom 30x (dia 19)



Como é possível aferir pelas imagens supraapresentadas, a aspersão do silicato diretamente no local onde as fissuras ocorrem efetivou mais ocorrências de cicatrização. Como demonstra a Figura acima, chegou a ocorrer um trecho de cicatrização contínua ao longo de uma fissura. Além disso, elimina-se a necessidade de disposição da perlita no local para que ocorra o fenômeno, e assim, foram percebidos mais pontos de cicatrização pontual. A aspersão do silicato mostrou-se não somente eficaz quanto ao processo de cicatrização, mas também evidenciou ganhos na propriedade mecânica do concreto, isto apresentado pelo ensaio de resistência à tração na flexão. Outro adendo a ser levado em consideração para este método, é o de que trata-se de um procedimento que pode ocorrer pós aparecimento das fissuras diferentemente dos demais que devem ser previstos no momento da concretagem. Estudos como o de Medeiros, Pereira e Helene (2012), mostram que o Na_2SiO_3 quando em contato com o NaOH , promove a formação de gel de silicato de cálcio hidratado responsável por fechar as fissuras e tornar o elemento pouco permeável, assim aumentando a vida útil da estrutura, e não proporcionando o possível ataque de cloretos.

4.5.5 Imagens autocicatrização REF

Por fim, a Figura 11 apresenta amostras do concreto considerado como referência, que não apresentaram nesse estudo nenhuma ocorrência de cicatrização.

Figura 11 – Amostras 6 cm x 6 cm x 18 cm REF (dia zero)



Nas amostras de referência o mecanismo de cicatrização se daria apenas pelo processo autógeno, qual é evidenciado por Li e Yang (2007), que explicam o processo de hidratação das reservas de cimento anidro presentes no concreto, que quando em contato com a água reagem e colmatam as aberturas. Notou-se ainda nesse traço que ele obteve resultados proporcionais aos demais, visto que foram executados da mesma forma e com mesmos traços unitários utilizados nos outros concretos.

5. CONCLUSÃO

Tendo realizado as análises e discussões sobre os ensaios e seus referentes resultados, é possível afirmar que a adição de silicato de sódio neutro, apresentam resultados consideráveis, e que contribuem para o aumento do potencial de autocicatrização e autorregeneração.

O concreto que recebeu a solução de silicato de sódio neutro aspergido, ou seja, a SIL.ASP, obteve bons resultados, e com mais eficiência que os demais, quanto a rapidez na autocicatrização. Esta informação conclui que quando o concreto não possui em sua composição a solução de silicato de sódio neutro, portanto não sendo um concreto autocicatrizante/autorregenerante, ainda é possível agir posteriormente com o método de aspersão.

Vale ressaltar, como já dito no decorrer do trabalho, que a solução de silicato de sódio neutro, quando adicionado diretamente na água de mistura, ou seja, composição apresentada na SIL.ÁGUA, há modificação no processo de cura do concreto, e como avaliado nos ensaios, também modificando as propriedades mecânicas do concreto, pressupondo então, que para adição da solução diretamente, é necessário a realização de mais estudos, para que tal processo não interfira nas propriedades do concreto, quanto a perda de resistência proveniente da adição do silicato de sódio neutro, pois o mesmo evidenciou suas características de autocicatrização e autorregeneração. É importante salientar que os resultados obtidos e apresentados na conclusão deste trabalho se restringem a materiais e metodologias, com número de amostras e ensaios limitados, que por sua vez implicam diretamente nos valores resultantes, e, portanto, não devem ser considerados como valores absolutos. Desta forma, complementa-se a teoria de que para concretização desta avaliação, é necessário a realização de mais estudos, com o objetivo de complementar e sanar qualquer tipo de dúvida sobre esse assunto.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos ao itt Performance.

7. REFERENCIAS

American Concrete Institute. ACI 224: Control of cracking in concrete structures.

ADAK, A. **Self Healing Concrete**. Jagannath University, Chaksu, Jaipur: 2015, 13p.

ALGHAMRI, R.; KANELLOPOULOS, A.; AL-TABBAA, A. Impregnation and encapsulation of lightweight aggregates for self-healing concrete. **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 910–921, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos e prova**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12142: Concreto – ensaio de resistência a tração na flexão em corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 45. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 16889 Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020

BONIC, Z. et al. Damage of concrete and reinforcement of reinforced-concrete foundations caused by environmental effects. **Procedia Engineering**, v. 117, n. 1, p. 416–423, 2015.

- BUREAU OF INDIAN STANDARDS. IS 456: Plain and Reinforced Concrete - Code of Practice. New Delhi: Bureau Of Indian Standards, 2000.
- DE MUYNCK, W. et al. Bacterial carbonate precipitation as an alternative surface treatment for concrete. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 5, p. 875–885, 2008.
- FIB- FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON- 34 - Bulletins : Model Code for Service Life Design.
- GIANNAROS, P; KANELLOPOULOS, A; AL-TABBAA, A. **Sealing of cracks in cement using microencapsulated sodium silicate**. In: Department of Engineering, University of Cambridge, Trumpington Street, Cambridge CB2 1PZ, UK 2016.
- GUPTA, S.; PANG, S. D.; KUA, H. W. Autonomous healing in concrete by bio-based healing agents – A review. **Construction and Building Materials**, v. 146, p. 419–428, 2017.
- HAVLÁSEK, P. et al. Thermo-mechanical simulations of early-age concrete cracking with durability predictions. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 236, n. 1, 2017.
- HOPPE FILHO, Juarez et al. Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte II): Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), difração de raios-X (DRX) e termogravimetria (TG/DtG). **Materia-Rio de Janeiro**, v. 22, p. e11873, 2017.
- KANELLOPOULOS A, QURESHI T S; AL-TABBAA A. **Glass encapsulated minerals for self-healing**. In: cement based composites Constr. Build. Mater. 98 780–91 2015.
- Li V.C. & Yang E. 2007. Self healing in concrete materials. In S. van der Zwaag (ed.) Self healing materials – An alternative approach to 20 centuries of materials science. Springer, The Netherlands; pp: 161–194.
- MANOJ PRABAHAR, A. et al. An experimental study of self healing of cracks in concrete using sodium silicate capsule. **Rasayan Journal of Chemistry**, v. 10, n. 2, p. 577–583, 2017.
- MEDEIROS, M.H.F; PEREIRA, E; HELENE, P. Tratamento de superfície com silicato de sódio para concreto: penetração de cloretos e absorção de água. *Revista Alconpat*, vol 2, no3, pp 149-161, 2012.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. In: HASPARYK, N. P. (Ed). 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.
- PACHECO, F. Análise da eficácia dos mecanismos de autocicatrização do concreto. Tese (doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2020, 348p.
- PROVIS, J.L; VAN DEVENTER, J.S.J. Alkali-activated materials. State-of-art report, RILEM TC 224-AAM. Springer, 2014.
- SENGUL, O. et al. Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 2–3, p. 671–676, 2011.
- WU, M.; JOHANNESON, B.; GEIKER, M. **A review: Self-healing in cementitious materials and engineered cementitious composite as a self-healing material**. In: Construction and Building Materials, v. 28. 2012.
- ZAI, S. A. K.; MURTHY, M. K. Self-healing concrete. **Journal of Civil Engineering and Environmental Technology**, v. 2, n. 27–33, 2015.

Avaliação da segurança, funcionalidade e qualidade das paradas de ônibus localizadas na cidade de Juiz de Fora

M. Salomão^{1*}, A. R. S. Oliveira¹, R. C. Santos M. T. Barbosa¹

*Autor de Contato: mariana.salomao@engenharia.ufjf.br

¹ Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil

RESUMO

Com o crescimento das cidades, os transportes são indicadores do desenvolvimento sustentável, e suas instalações devem ser funcionais e proporcionarem qualidade e segurança aos usuários. O objetivo deste trabalho é efetuar uma vistoria técnica nos pontos de ônibus localizados na cidade de Juiz de Fora (MG/Brasil). Assim, efetuou-se uma avaliação qualitativa e quantitativa baseada numa revisão bibliográfica acerca das exigências mínimas a serem atendidas, analisando as paradas de ônibus da cidade. Os dados coletados avaliaram os requisitos de funcionalidade e segurança, bem como as manifestações patológicas identificadas e verificou-se uma elevada deficiência no que se refere à mobilidade urbana. Foram propostos serviços de manutenção corretiva, a fim de garantir a integridade do local, bem como a realização de adequações para garantir uma adequada mobilidade urbana para os usuários do transporte público local.

Palavras-chave: Transporte público; usuários; cidades sustentáveis; áreas urbanas; manifestações patológicas.

RESUMEN

Con el crecimiento de las ciudades, el transporte es un indicador de desarrollo sostenible, y sus instalaciones deben ser funcionales y brindar calidad y seguridad a los usuarios. El objetivo de este trabajo es realizar una inspección técnica en las paradas de bus ubicadas en la ciudad de Juiz de Fora (MG / Brasil). Así, se realizó una valoración cualitativa y cuantitativa a partir de una revisión bibliográfica sobre los requisitos mínimos a cumplir, analizando las paradas de autobús de la ciudad. Los datos recopilados evaluaron los requisitos de funcionalidad y seguridad, así como las manifestaciones patológicas identificadas. Se han propuesto servicios de mantenimiento correctivo con el fin de garantizar la integridad del sitio, así como ajustes para asegurar una adecuada movilidad urbana para los usuarios del transporte público local.

Palavras-chave: Transporte público; usuarios; ciudades sostenibles; Areas urbanas; manifestaciones patológicas.

ABSTRACT

With the growth of cities, transport is an indicator of sustainable development, and its facilities must be functional and provide quality and safety to users. The objective of this work is to carry out a technical inspection at the bus stops located in the city of Juiz de Fora (MG / Brazil). Thus, a qualitative and quantitative assessment was carried out based on a bibliographic review about the minimum requirements to be met, analyzing the city's bus stops. The collected data evaluated the functionality and safety requirements, as well as the pathological manifestations identified. Corrective maintenance services have been proposed in order to guarantee the integrity of the site, as well as adjustments to ensure adequate urban mobility for users of local public transport.

Palavras-chave: Public transport; users; sustainable cities; urban areas; pathological manifestations.

1. INTRODUÇÃO

O termo mobilidade urbana é definido como a condição que permite atender e suprir o deslocamento das pessoas em uma cidade para a realização das atividades do dia a dia como trabalho, educação, lazer, saúde, cultura, entre outros com o objetivo de desenvolver relações sociais e econômicas (Vaccari, 2011).

De acordo com os dados obtidos pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2016), a ocupação urbana no Brasil expandiu a partir de 1950, resultando num incremento de circulação de pessoas (Souza, 2017). Como o deslocamento das pessoas é diário e frequente é importante garantir que a mobilidade seja de qualidade, eficiente, segura e acessível, agregando benefícios a qualidade de vida da população (Antunes & Simões, 2013). Entretanto, o Brasil possui um histórico deficiente no que se refere ao planejamento urbano rodoviário, gerando descontentamento aos cidadãos (Silva, 2021). Deve-se considerar, inclusive, a má qualidade do transporte público coletivo, sistema integrado na configuração da maioria das cidades brasileiras, responsável por cerca 95% dos deslocamentos urbanos (ANTP, 1997).

Segundo Ferraz e Torres (2004) existem dez atributos necessários ao sistema de mobilidade por ônibus, a saber: acessibilidade, tempo de viagem, pontualidade, lotação, confiabilidade, características dos veículos, segurança, sistema de informação, comportamento dos operadores e características dos pontos de paradas; que são considerados na avaliação da qualidade dos serviços, já que a escolha do modal depende de suas características e a decisão final do usuário, procurando efetuar suas movimentações com qualidade e eficiência (Antunes e Simões, 2013).

Dentre os atributos acima mencionados, este trabalho destaca os pontos de ônibus, já que são uma área de integração entre os passageiros e o ônibus, sendo o primeiro contato entre eles (Andrade et al., 2004). Sendo assim, torna-se imprescindível instalações adequadas aos usuários.

Um PO ideal considera todos os aspectos quanto à: acessibilidade de pessoas com e sem deficiência; instalações adequadas para proteção contra intempéries, podendo esses abrigos contemplar apenas a cobertura ou, também, a cobertura com o fechamento lateral; bancos para os usuários; sinalização adequada; localização por questões de segurança a fim de se evitar acidentes; lixeira para promover a organização e limpeza do local; painel informativo; iluminação adequada (Brito et al., 2018; Filho, 2016;).

Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo efetuar o levantamento dos PO localizados nas principais vias de acesso posicionadas nas 8 principais regiões que compõem a cidade de Juiz de Fora – Estado de Minas Gerais/Brasil identificando os parâmetros de mobilidade urbana, bem como efetuando um diagnóstico do estado de conservação dos mesmos a fim de propor estratégias de manutenção corretivas, seja pela garantia do ODS previsto pela ONU/2030 e/ou propiciar segurança da construção aos usuários, já que muitos se encontram em elevado estágio de degradação.

2. MOBILIDADE URBANA

2.1 Considerações iniciais

Devido ao intenso crescimento urbano no Brasil, a partir da década de 60, muitas cidades passaram a apresentar sistemas de mobilidade deficientes e com alto custo, com impactos negativos na vida das pessoas e nos custos econômicos e ambientais para a sociedade (Vasconcellos; Carvalho e Pereira, 2011). Portanto, o planejamento de transporte não pode ocorrer de forma isolada (Gouveia e Ferreira, 2011). A partir disso, a mobilidade urbana está sendo um dos maiores desafios da atualidade, tanto para o Brasil quanto para outros países, sendo previstas pela ONU como uma das metas a serem atendidas até 2030. Para o seu planejamento é preciso tornar, na atualidade, o fortalecimento da acessibilidade, nos níveis de serviços de transporte, de segurança, de fluidez e de qualidade ambiental (Filho, 2016).

No caso das cidades, o transporte coletivo é considerado um serviço essencial, tornando uma mobilidade mais acessível a todos (Araújo et al., 2011). Contudo, o que se tem observado nos últimos tempos é a transformação das cidades brasileiras em espaços eficientes para carros, cuja frota cresceu acentuadamente, através da ampliação do sistema viário e da utilização de técnicas de garantia de boas condições de fluidez (Andrade et al., 2004). Paralelo a isso, mesmo com alguns investimentos, o sistema de transporte público permanece insuficiente para atender à demanda da população, levando a um declínio da sua importância e tornando-se um “mal” necessário para a parcela da população que não tem acesso ao automóvel (Filho, 2016; Gouveia e Ferreira, 2011; Neto, 2004).

De acordo com a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU (2009) o transporte público coletivo é responsável pelo deslocamento de 59 milhões de passageiros/ dia

sendo que o segmento de ônibus atende 92% da demanda. Portanto, é extremamente importante que esse método seja de qualidade.

2.2 Pontos de ônibus (PO)

Qualquer tipo de melhoria nas condições de operação do transporte público é sempre esperado pelos usuários, dentre eles, destaca-se, inclusive as benfeitorias nos PO (Andrade et al., 2004) que segundo a ABNT NBR- 15320 (2005) é definido como sendo o local onde os passageiros embarcam ou desembarcam na parada do veículo do transporte coletivo nas vias públicas, devendo atender a todos os cidadãos, inclusive os com deficiência. Trata-se, portanto, da conexão entre o sistema de circulação de pessoas com o sistema de transporte coletivo, o ônibus, sendo o elemento relevante na integração entre os dois sistemas (Carvalho, 2003). Possuem, dentre suas funções principais o conforto e a proteção às intempéries aos usuários do sistema de transporte (vide Figura 1), oferecendo assentos, disponibilizando maior segurança por meio das iluminações, painel informativo com representação das linhas, horários e itinerários, assim como lixeiras, localização dos pontos, incluindo ainda uma calçada adequada, para que todos tenham acesso ao ponto (Brito et al., 2018; Kneib et al., 2007). Assim como na Figura 1.

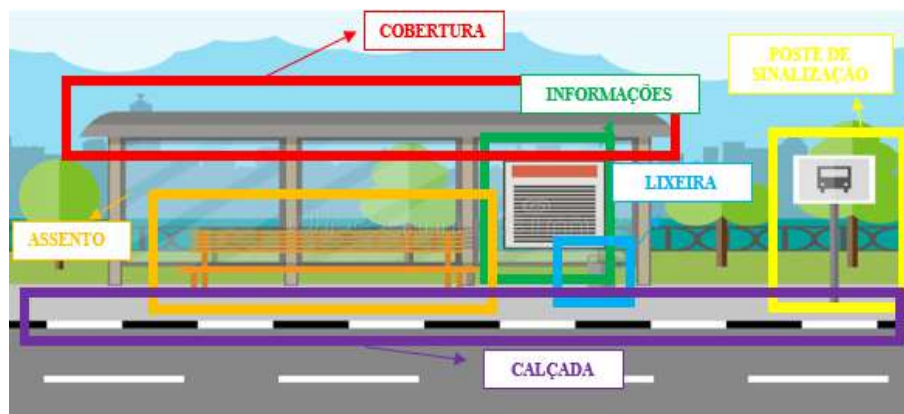


Figura 1. Parada do ônibus com as verdadeiras adaptações para as necessidades de bem-estar da população de Juiz de Fora – Minas Gerais. Fonte: Adaptada de Dreamstime.com. (Autor, 2021).

Pode se caracterizar por funcionalidade as informações apresentadas e que denota os aspectos positivos da interação entre um indivíduo e o meio externo, sendo elas denominadas como principais manifestações patológicas as perspecções da população, pretendendo haver constantemente a necessidade de segurança em avaliação de qualificáveis construções das calçadas, ponto de sinalização, assim como a iluminação para o seu uso, pois segurança se denomina por demonstração total da certeza sobre uma convicção ao afastamento do perigo, uma boa cobertura, com assentos prioritários na utilização dos PO em prol da qualidade da infraestrutura que preconiza uma indispensável edificação de eficiência aos seus usuários, assim como uma calçada de fácil acessibilidade, iluminação para segurança, e as informações dos painéis de uso coletivo diante as informações essenciais diante a sinalização.

3. METODOLOGIA

A cidade de Juiz de Fora está localizada na região da Zona da Mata do estado de Minas Gerais, Brasil e possui uma população, segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

de 2010, estimada em 516.547 habitantes distribuídos numa área de 1.435.749 km². A sua localização estratégica possibilita um contato com os maiores mercados consumidores do país, Rio de Janeiro e São Paulo, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Localização da cidade de Juiz de Fora. Fonte: Adaptado de Google, 2017.

A cidade é dividida em oito regiões de acordo com o mapa mostrado na Figura 3, e cada uma dessas regiões é composta por diversos bairros. Nesse sentido, esse estudo efetuou o levantamento de dados (funcionalidade, acessibilidade, segurança, incluindo nesse último o levantamento das anomalias) nos PO nas ruas principais de acesso a cada uma das regiões, a saber: **Centro**: Avenida Rio Branco (constituída por 37 POs); **Oeste**: Avenida Deusdedith Salgado (constituída por 20 POs); **Leste**: Avenida Sete de Setembro (constituída por 7 POs); **Nordeste**: Rua Paracatu (constituída por 9 POs); **Sul**: Rua Ibitiguaia (constituída por 9 POs); **Norte**: Avenida Presidente Juscelino Kubitschek (constituída por 65 POs); **Sudeste**: BR-267 em seu perímetro urbano (constituída por 14 POs); **Noroeste**: Avenida Brasil (constituída por 32 POs).

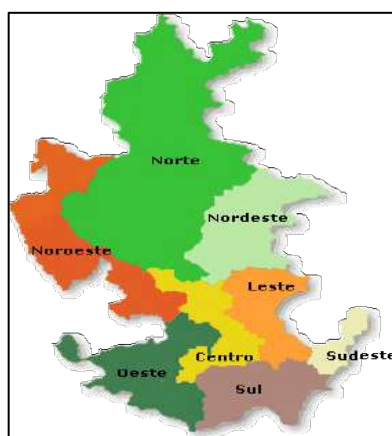


Figura 3. Regiões da cidade de Juiz de Fora. Fonte: Acessa.com, 2017.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados alguns dos atributos sugeridos por Ferraz e Torres (2004) mencionados anteriormente juntamente com as identificações das variáveis sugeridas por Filho (2016).

O estudo consistiu além da revisão bibliográfica a coleta de dados em campo efetuado por meio de análise visual e registro iconográfico (fotografia) dos principais itens que serão analisados. A metodologia analisada permitiu identificar e mapear as principais falhas, e a partir disso, propor soluções estratégicas de manutenção corretivas contidas na bibliografia, possibilitando a realização de adequações a fim de propiciar uma adequada mobilidade urbana para os usuários do transporte público local.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Salienta-se que foi adotado como padrão de classificação dos itens analisados diante a um levantamento de dados com o objetivo de efetuar o levantamento dos PO (pontos de ônibus) localizados nas principais vias de acesso posicionadas nas 8 principais regiões que compõem a cidade de Juiz de Fora – Estado de Minas Gerais/Brasil identificando os parâmetros de mobilidade urbana (Tabela 1 e Gráfico 1), bem como efetuando um diagnóstico do estado de conservação (Tabela 2 e Gráfico 2) dos mesmos a fim de propor estratégias de manutenção corretivas.



Figura 4 – Região Central: Avenida Rio Branco. Fonte: Autores, 2021.



Figura 5 – Região Oeste: Avenida 7 de Setembro. Fonte: Autores, 2021.



Figura 6 – Região Leste: Fonte: Autores, 2021.

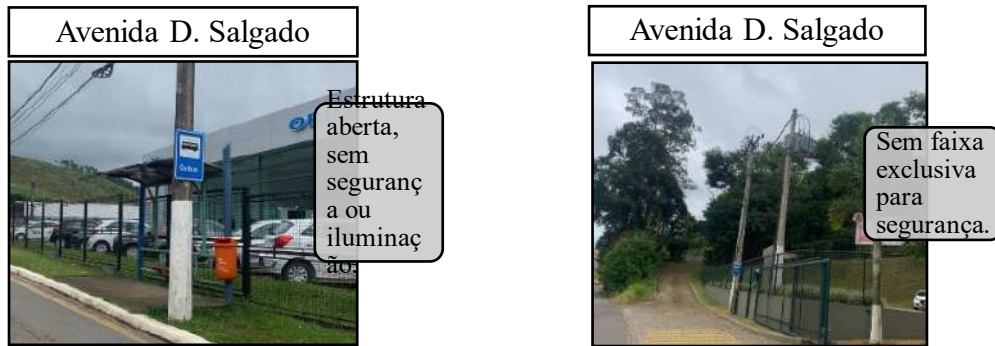


Figura 7 – Região Nordeste: Avenida D. Salgado. Fonte: Autores, 2021.



Figura 8 – Região Sul: Rua Paracatu. Fonte: Autores, 2021.



Figura 9 – Região Norte: Rua Ibitiguaia. Fonte: Autores, 2021.



Figura 10 – Região Sudeste: BR-267. Fonte: Autores, 2021.

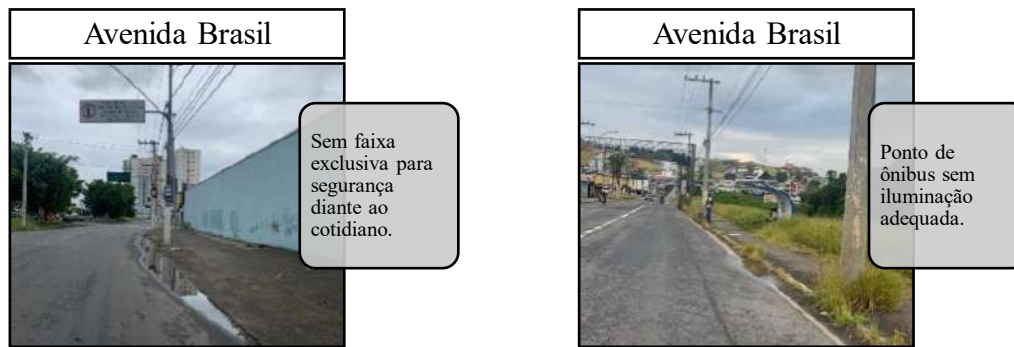
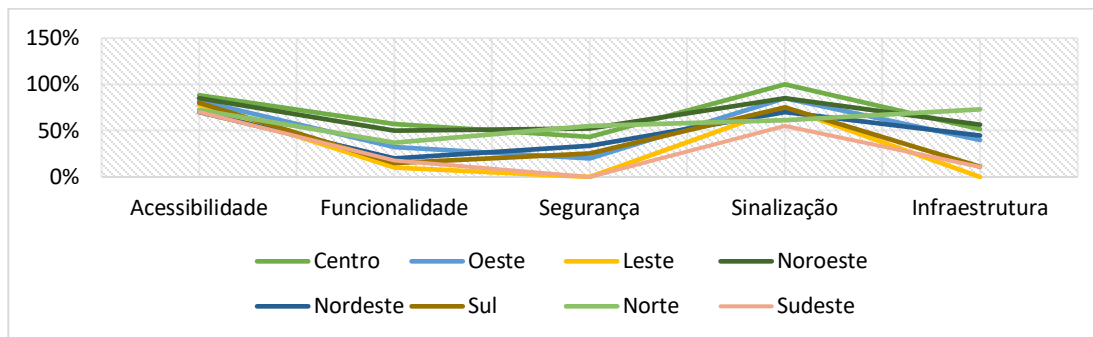


Figura 11 – Região Noroeste: Avenida Brasil. Fonte: Autores, 2021.

Tabela 1. Levantamento dos aspectos essenciais a mobilibilidade urbana por região.

Região	Acessibilidade	Funcionalidade	Segurança	Sinalização	Infraestrutura
Centro	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Oeste	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho
Leste	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Nordeste	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Sul	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho
Norte	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Sudeste	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Vermelho
Noroeste	Amarelo	Verde	Amarelo	Vermelho	Amarelo

Gráfico 1 – Mobilidade urbana em Juiz de fora e seus aspectos em meio a um total de 193 PO.



Analisando o Gráfico 1, verifica-se uma elevada deficiência nos pontos de ônibus (PO) no que se refere à mobilidade urbana apesar da cidade ser reconhecida por possuir bons índices de qualidade de vida. Apresentando mediante as consistências do gráfico com um percentual aproximado conforme verificado por região, com 193 pontos de ônibus no total para abranger os conteúdos do projeto, mas divididos por regiões em meio as funcionalidades do cotidiano: Centro: Avenida Rio Branco, com um total de 37 pontos de ônibus; Oeste: Avenida Deusdedith Salgado, com um total de 20 pontos de ônibus; Leste: Avenida Sete de Setembro, com 7 pontos de ônibus; Noroeste: Avenida Brasil, com um total de 32 pontos de ônibus; Nordeste: Rua Paracatu, com 9 pontos de ônibus; Sul: Rua Ibitiguaia, com 9 pontos de ônibus; Norte: Avenida Presidente Juscelino Kubitschek, com 65 pontos de ônibus; Sudeste: BR-267 em seu perímetro urbano, com 14 pontos de ônibus distintos.

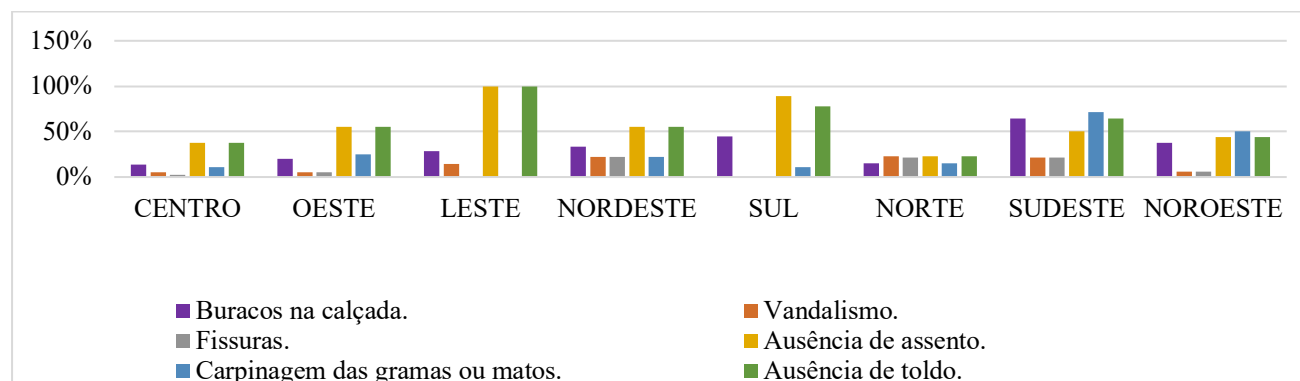
No que se refere as manifestações patológicas constata-se que diante aos 193 pontos de ônibus (PO), no total, e subdividido por região, constata-se (vide Tabela 2 e Gráfico 2) a necessidade de

desenvolver estratégias de manutenção corretiva. Cosnta-se que as regiões com boa acessibilidade e bom funcionamento são a central (Avenida Rio Branco) e a Noroeste (Avenida Brasil), sendo necessário ao órgão responsável implementar serviços de manutenção mais eficazes nas demais em prol da garantia da boa mobilidade urbana, assim como nas capacitações ainda mais eficazes para suas manifestações patológicas diante aos resultados necessários de longo prazo a seus métodos de desenvolver boas resoluções construtivas aos PO.

Tabela 2. Levantamento dos aspectos patológicos diante a mobilibilidade urbana por região.

Região	Buracos na calçada	Fissuras	Carpinagem das gramas	Vandalismo	Ausência de assento	Ausência de toldo
Centro	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Oeste	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Vermelho	Vermelho
Leste	Verde	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Nordeste	Amarelo	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Sul	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Norte	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Sudeste	Amarelo	Verde	Vermelho	Verde	Vermelho	Vermelho
Noroeste	Amarelo	Verde	Vermelho	Verde	Vermelho	Vermelho

Gráfico 2 – Os percentuais diante as necessidades de manutenções em Juiz de Fora (MG).



Nos resultados obtidos mediante a pesquisa feita de 193 PO no total, analisamos em meio as anomalias, conforme a mobilidade urbana, que para existir de forma qualificável a se movimentar e a existir bem-estar de vida, os PO existentes na cidade de Juiz de Fora devem possuir manutenções preventivas, pois são importantíssimas à medida em que a edificação vai ficando conforme o tempo mais desgastada, de uma idealização fortemente garantida para um maior índice de satisfação em meio ao desempenho estrutural das manutenções adequadas diante aos buracos na calçada, as fissuras diante o concreto ou aço armado, assim como para os vandalismos, assentos quebrados e de infraestrutura que comprometa significativamente a acessibilidade e segurança da população. Sendo essencial e unicamente sempre buscarmos bons materiais para as distintas etapas das construções de cada edificação realizada de determinados projetos elaborados, e que os mesmos sejam de eficiência durante os desenvolvimentos das construções para que existam perante as necessidades de Juiz de Fora um desempenho estrutural eficaz diante o uso diário da população, com precarizações a manutenções regularmente realizadas em meio aos seus atendimentos em prol a acessibilidade urbana, corraqueiramente da avaliação e funcionalidade local.

5. CONCLUSÃO

A mobilidade urbana reconhecida pela cidade de Juiz de Fora de denominação a ser o principal objeto de estudo, pode-se verificar que a mobilização vem sendo a forma pela qual as pessoas realizam sua locomoção de forma frequente, sendo de grande importância garantir que esta mobilidade seja de qualidade, eficiente, segura e acessível, o que irá resultar em qualidade de vida da população. Entretanto, o Brasil tanto antigamente como ainda hoje, possui um histórico de planejamento urbano rodoviário muitas vezes sem o aperfeiçoamento estrutural, de acessibilidade e de capacidade em meio aos PO, ocasionando deficiências no que se refere à mobilidade urbana e, conseqüentemente, gerando insatisfações diante à sociedade.

Deve-se considerar, inclusive, que objetos do mobiliário urbano devem proporcionar aos cidadãos sempre bem-estar e qualidade em suas mediações, sendo os mais comuns no Brasil. Os referenciais em meio a seus abrigos, que tem como função dar conforto e proteção as intempéries aos usuários do sistema de transporte localizados na cidade de Juiz de Fora, podem contemplar somente a cobertura ou também a cobertura com o fechamento lateral, e devem oferecer assentos para que os usuários possam aguardar a chegada do transporte coletivo com iluminação para aumentar a segurança da população, painel informativo com informações referentes aos ônibus, linhas, horários e itinerários para melhor atender a população e melhor equilibrar o tempo diante as suas utilizações. Onde as manifestações patológicas do andamento da construção civil podem se originar em qualquer uma de suas etapas, na qual um tal fator nota-se a importância do controle adequado, padronização para conforto e qualidade na execução dos serviços que constituem o processo como um todo para que não agravem significativamente nas patologias estruturais.

Por isso, a grande importância dos inúmeros métodos de controle na qualidade e de referências normativas para assegurar devem garantir altos níveis de desempenho, vida útil e durabilidade de edifícios são fundamentais, determinando no seguinte trabalho quis proporcionar e refletir aos leitores o verdadeiro significado de melhoria em meio a mobilidade urbana, pelas suas grandes deformidades em qualidade, bem-estar, precarização, principalmente nos últimos tempos com o alto índice do crescimento urbano dentro e fora do território brasileiro. Isso foi possível através da análise de documentos, entrevistas e questionários, demonstrando a existência de uma visão muito negativa da realidade da mobilidade urbana da cidade, a precarização e falta de cuidado em meio aos gestores de organização e de responsabilidades governamentais diante a empreendimentos gerenciados em destaque da qualidade de vida em Minas Gerais ao preconizar estratégias corretivas de caráter assertivo em segurança, exclusividade em pertinência a pontos de ônibus ou estações de transportes como em acessibilidade a população, mediante aos materiais, projetos, cronograma, além das qualidades das construções diante a algumas intermediações dos órgãos responsáveis a um bem-estar a população, por meio da avaliação da segurança, funcionalidade e qualidade das paradas de ônibus localizadas na cidade de Juiz de Fora.

6. AGRADECIMENTOS

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil
 CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

7. REFERÊNCIAS

- Almeida, E.; Giacomini, L.; Bortoluzzi, M. *Mobilidade e acessibilidade urbana*. Seminário Nacional de Construções, 2013. Disponível em: <https://www.imed.edu.br/Uploads/Mobilidade%20e%20Acessibilidade%20Urbana.pdf>. Acesso em: 29 Jan. 2021.
- Andrade, K.; Paula, V.; Mesquita, A.; Vilella, P. *Problemas relacionados aos pontos de parada do transporte público nas cidades de porte médio*. Instituto de Engenharia de São Paulo, p. 1-7, 2004. Disponível em: <http://lares.org.br/Anais2004/trabalhos/G/Problemas%20relacionados%20aos%20pontos%20de%20parada.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2021.
- Antunes, E.; Simoes, F. *Engenharia urbana aplicada: um estudo sobre a qualidade do transporte público em cidades médias*. URBE. Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 51-62, Dec 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692013000200006&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 16 jan. 2021.
- Araújo, M.; Oliveira, J.; Jesus, M.; Santos, P. A.; Lima, T. C. *Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida*. Psicologia & Sociedade, v. 23, n. 3, p. 574-582, 2011.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 15320: Acessibilidade à pessoa com deficiência no transporte rodoviário*. Rio de Janeiro.
- Associação Nacional de Transporte Público (1997). *Transporte Humano. Cidades com qualidade de vida*.
- Associação Nacional Das Empresas de Transportes Urbanos (2009). *Desoneração dos Custos das Tarifas do Transporte Público Urbano e de Característica Urbana*.
- Balassiano, B. (1997). *Planejamento Estratégico de Transportes Considerando Sistemas de Média e Baixa Capacidade*. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET, 11, Rio de Janeiro, 1997. Anais.v.1, p.203-216.
- Brito, A.; Santos, J.; Gonçalves, M. A.; Marques, R.; Fontana, A. M. *Estudo sobre as condições das paradas de ônibus na cidade de São Paulo*. 2018. Disponível em: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://ojs.eniac.com.br/index.php/EniacPesquisa/article/viewFile/495/pdf>. Acesso em: 18 jan. 2021.
- Carvalho, E. B. *Indicadores de acessibilidade no entorno de paradas de ônibus: proposta de classificação em níveis de serviço*. 2003. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado em Transportes. Universidade de Brasília.
- Confederação Nacional de Transporte (2002). *Avaliação da operação dos corredores de transporte urbano por ônibus no Brasil*.
- Costa, J.; Santos, V. (2006). *O desenvolvimento do sistema integrado de transporte coletivo de Aracaju e suas contradições*. Candeeiro, 9, 77-83.

Cruz, T. (2020). *Você sabe o que é mobilidade urbana e qual o seu impacto na arquitetura?*. VivaDecora PRO.

EDUCAMAIS. *Capacitação profissional: o que é, importância e principais desafios*. 2020. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/educacao/carreira/capacitacao-profissional-o-que-e-importancia-e-principais-desafios>> Acesso em: 16 jan. 2021.

Ferraz, A.; Torres, I. *Transporte público urbano*. São Carlos: Rima, 2004. In: ANTUNES, E. M.; SIMOES, F. A. Engenharia urbana aplicada: um estudo sobre a qualidade do transporte público em cidades médias. URBE. Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 51-62, Dec 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692013000200006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 16 jan. 2021.

Filho, R. B. *Análise da percepção das condições da infraestrutura dos pontos de ônibus oferecida aos usuários: Um estudo de caso da Cidade de São João da Boa Vista, SP*, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/8020/DissRBF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 jan. 2021.

Gouveia, C. F.; Ferreira, W. R. (2011). *Análise do transporte público coletivo em pequenas cidades – Tupaciguara e Sacramento/ MG*. Horizonte Científico.

Instituto de Pesquisa Economica Aplicada. *Sistema de indicadores de percepção Social (SISPS): Mobilidade urbana*. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/SIPS/110124_sips_mobilidade.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2021.

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Da Arquitetura. *O que são patologias de construção ?*. Fórum da Construção. Fonte: www.ibape-rs.org.br, 2021. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=17&Cod=1620>

Kneib, E. C.; Moraes, A.C de; Silva; P. C. M. da; Aragão, J. G. de. *Contribuição metodológica para avaliação da acessibilidade a pontos de parada de transporte coletivo: estudo aplicado ao Distrito Federal*. 2007.

MJF – Disponível em: <https://pt.mapsofworld.com/where-is/juiz-de-fora.html>. Acesso em 16 de Fevereiro.

MOOVIT. *Aplicativo de Mobilidade urbana*. 2021. Disponível em: https://moovitapp.com/index/pt-br/transporte_p%C3%BAblico-lines-Juiz_de_Fora-2752-851736. Acesso em 26 jan. 2021.

NACTO. *National Association of City Transportation Officials*. New York, ORG.

Neto, O. L. *Um novo quadro institucional para os transportes públicos: condição sine qua non para a melhoria da mobilidade e acessibilidade metropolitana*. 2004. In E. Santos & J.Aragão (Orgs.), Transporte em tempos de reforma: estudos sobre o transporte urbano (pp. 193-216). Natal: EDUFRN.

Pires, A. C. M.; Pires, L. R. G. M. (orgs). *Mobilidade Urbana desafios e sustentabilidade*. 2016. Ponto e Linha. 1a ed. São Paulo. 2016. Disponível em: <http://cidadeemovimento.org/wp->

content/uploads/2016/10/Mobilidade-Urbana-Desafios-e-Sustentabilidade.pdf. Acesso em: 16 jan. 2021.

QUALIONIBUS. *Transporte coletivo de qualidade – QualiOnibus*. WRI Brasil, São Paulo.

Silva, A. N. R. da; Ferraz, A.C. P. (1991). *Transporte público urbano: operação e administração*. [S.l.: s.n.].

Silva A. P., Jonov C.M.P. *Curso de especialização em construção civil*. Departamento de engenharia de materiais e construção. Minas Gerais, 2011. (Notas de Aula). Disponível em: <http://www.demc.ufmg.br/adriano/Manifest_%20Pat_2016.pdf> . Acesso em: 06 nov. 2016.

Silva, J. C. da. *A estratégia brasileira de privilegiar as rodovias em detrimento das ferrovias; Brasil Escola*. 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/por-que-brasil-adotou-utilizacao-das-rodovias-ao-inves-.htm>. Acesso em: 18 jan. 2021.

Souza, D. B. de. *Mobilidade urbana como instrumento de desenvolvimento sustentável. Âmbito Jurídico*. 2017. Disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-administrativo/mobilidade-urbana-como-instrumento-de-desenvolvimentosustentavel/#:~:text=A%20mobilidade%20urbana%20pode%20ser,com%20oferecimento%20n%C3%A3o%20s%C3%B3%20de>. Acesso em: 25 jan. 2021.

VaccarI, L. S.; Fanini, V. *Mobilidade urbana. Série de Cadernos Técnicos, Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná (CREA-PR)*, Paraná, 2011. Disponível em: <<https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/mobilidade-urbana.pdf>>. Acesso em: 29 Jan. 2021.

Vaiano, P. *Pesquisa: brasileiros passam mais de duas horas por dia no trânsito*. Publicado em 31/05/2019 por Revista AlgoMais às 5:30 – Brasil. Disponível em: <http://revista.algomas.com/urbanismo/pesquisa-brasileiros-passam-mais-de-duas-horas-por-dia-no-transito>

Vasconcellos, E. A. de; Carvalho, C. H. R. de; Pereira, R. H. M. *Transporte e mobilidade urbana*. 2011. Disponível em: < http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1373/1/TD_1552.pdf>. Acesso em: 30 Jan. 2021.

Vaz, J. C; Santoro, P. (2009). *Cartilha Mobilidade urbana é desenvolvimento urbano!* 2005. Disponível em:< http://www.polis.org.br/publicacoes_interno.asp?codigo=1>. Acesso em: 30 Jan. 2021.

Planejamento estratégico para restauro e reparo em esquadrias de madeira de patrimônio histórico

J T. Ferreira^{1*}; M T. Barbosa¹

*Autor de contato: jonas.ferreira@arquitetura.ufjf.br

¹ Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído. Faculdade de Engenharia. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. Brasil

RESUMO

Problemas decorrentes de mau uso e/ ou intempéries resulta em danos que comprometem a integridade das edificações. O presente trabalho pretende realizar um levantamento qualitativo e quantitativo das manifestações patológicas nas esquadrias de madeira do Centro Cultural Bernardo Mascarenhas, localizado na cidade de Juiz de Fora (MG) bem como, apresenta estratégias de intervenção. Para tanto, será realizada uma revisão bibliográfica qualitativa sobre o significado da moldura de madeira para o patrimônio histórico, o diagnóstico das anomalias neste componente construtivo. Por fim, a matriz de priorização do GUT (gravidade, urgência e tendência) foi utilizada para o desenvolvimento da estratégia de intervenção. A solução proposta neste trabalho contribui para o fortalecimento de procedimentos simplificados que correlacionam danos e causas com medidas corretivas.

Palavras chaves: esquadrias em madeiras; manifestações patológicas; reabilitação; edificações históricas.

RESUMEM

Los problemas que surgen por el mal uso y / o el clima dan como resultado daños que comprometen la integridad de los edificios. El presente trabajo pretende realizar un relevamiento cualitativo y cuantitativo de las manifestaciones patológicas en los marcos de madera del Centro Cultural Bernardo Mascarenhas, ubicado en la ciudad de Juiz de Fora (MG), además de presentar estrategias

de intervención. Para ello, se realizará una revisión bibliográfica cualitativa sobre el significado del marco de madera para el patrimonio histórico, el diagnóstico de anomalías en este componente constructivo. Finalmente, se utilizó la matriz de priorización GUT (gravedad, urgencia y tendencia) para desarrollar la estrategia de intervención. La solución propuesta en este trabajo contribuye al fortalecimiento de procedimientos simplificados que correlacionan daños y causas con medidas correctivas.

Contraseñas: marcos de madeira; manifestaciones patológicas; rehabilitación; edificios históricos.

ABSTRACT

Problems resulting from misuse and / or weather results in damage that compromises the integrity of the buildings. The present work intends to carry out a qualitative and quantitative survey of the pathological manifestations in the wooden frames of the Bernardo Mascarenhas Cultural Center, located in the city of Juiz de Fora (MG), as well as presenting intervention strategies. To this end, a qualitative bibliographic review will be carried out on the meaning of the wooden frame for the historical heritage, the diagnosis of anomalies in this constructive component. Finally, the GUT prioritization matrix (gravity, urgency and tendency) was used to develop the intervention strategy. The solution proposed in this work contributes to the strengthening of simplified procedures that correlate damages and causes with corrective measures.

Keywords: wooden frames; pathological manifestations; rehabilitation; historic buildings.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção da integridade das edificações históricas, bem como sua conservação é legitimada por diversos autores, como por exemplo, Feilden (1994); Lorenzetti (2010); Saviz, Luc e Saeed (2020) que exaltam seus valores arquitetônicos, estéticos, sociais, políticos, simbólicos, dentre outros. Entretanto, deve-se considerar as alterações climáticas ocorridas nas últimas décadas que tendem a comprometer a vida útil e a durabilidade dos materiais e componentes das edificações, principalmente, as históricas onde os danos são mais significativo devido ao estado insatisfatório de conservação (Walsh, 2012; Philipson, Emmanuel e Baker, 2016).

Mühlbauer e Razeira (2003) destacam o emprego da madeira como material de construção, destacando sua abundância e variedade, tanto na natureza quanto nas obras de arquitetura e engenharia e, com o aprimoramento tecnológico o seu emprego tornou-se mais nobre na fabricação, por exemplo, de esquadrias.

Deve-se considerar, inclusive, a capacidade de renovação que a madeira possui, o que fortalece o seu valor incomparável com as demais fontes de matéria-prima empregadas na indústria da construção civil, já que é uma fonte de recursos renovável (CUNHA, 2011). Sendo assim é empregada há anos como esquadrias nas edificações considerando fatores econômicos (médio e longo prazo), culturais e técnicos. As esquadrias (portas e janelas) são componentes das edificações que interligam os espaços e as pessoas e protege o ambiente interno seja do calor ou frio, seja de ruídos, chuva ou vento e, para as janelas acrescenta-se, também, a função de ventilação e iluminação natural (MIOTTO, 2002; MARQUES; KOJIMA E TOMA, 2014). A tipologia, proporções e quantidades das janelas de madeira empregadas nas construções brasileiras desde o

seu descobrimento estão correlacionadas às condições culturais e econômicas, bem como ao avanço tecnológico.

De acordo com Marques; Kojima e Toma (2014) “as esquadrais fazem parte da edificação como um elemento simbólico-funcional, mas que possuem também um valor plástico/artístico muito forte, agregando às residências uma linguagem artística e arquitetônica própria do período e da época que foram construídas”. Nesse contexto, é natural que à medida em que envelhecem, os materiais das edificações poderão surgir falhas e/ou defeitos, e/ou anomalias (IDRUS; KHMAMIDI; SODANGI, 2010). Desta forma, todos os edifícios, novos ou antigos, requerem planejamento que sejam capazes de limitar sua deterioração; entretanto, no caso dos edifícios históricos, a principal diferença consiste na impossibilidade de substituição de elementos devido a questões de autenticidade e de valor histórico (BARBOSA; SILVA e COURA, 2017).

Os princípios para a intervenção em edificações históricas são universais e estão contidos nas diversas cartas patrimoniais. No que concerne aos elementos de madeira, o ICOMOS (1999) publicou os “Princípios para a Conservação de Estruturas Históricas de Madeira” sendo destacado, resumidamente, na preservação desse material: o reconhecimento da sua importância histórica; a variabilidade de espécies e, conseqüentemente da qualidade do produto o que o torna vulnerável com o tempo; a escassez, na atualidade, de estruturas históricas em madeira; domínio de ações para preservação desse recurso e, finalmente, o reconhecimento e a obediência às cartas patrimoniais (Carta de Veneza e Carta de Burra) e as doutrinas afins (UNESCO e ICOMOS) nos serviços de restauração e reparo, ou seja, deve-se assegurar a autenticidade e a integridade histórica do patrimônio cultural.

Segundo Lorenzetti (2010) as esquadrias de madeira localizadas nas fachadas externas, estão expostas a agentes abióticos e biológicos causadores de diversas anomalias, destacando, ainda, que as principais causas de degradação nas esquadrias de madeira são os ataques de xilófagos, má conservação da pintura e a insolação que provoca o avançado estado de degradação e ressecamento da madeira.

Segundo PARMA; ICIMOTO (2018) os agentes bióticos são organismos, como fungos e insetos, que alimentam e degradam o material estando as manifestações patológicas associadas a falta de conhecimento do material e de tratamento prévio da madeira. Brito (2014) menciona, também, as degradações originárias de fatores estruturais decorrentes de: remoção de elementos estruturais, fraturas incipientes, deformações e flechas, dentre outros.

Nesse contexto, o presente trabalho visa estabelecer o conceito de degradação das estruturas de madeira presentes nas construções históricas, mas especificadamente, nas esquadrias do Centro Cultural Bernardo Mascaranhas (CCBM), identificando as manifestações patológicas, suas origens, causas bem como, a elaboração de estratégias de intervenção por meio do emprego da ferramenta matriz de priorização GUT, possibilitando, assim, o planejamento da conservação e do reparo do empreendimento.

Segundo Kepner e Tregoe (1997) a matriz de priorização GUT apura os problemas através de três critérios, a saber: Gravidade, Urgência e Tendência, sendo amplamente utilizada no setor empresarial para a definição de prioridades e tomada de decisões. A gravidade é definida como a intensidade, a profundidade do dano que o problema pode causar se não houver intervenção sobre ele; a urgência refere-se ao tempo para que se tenha resultados indesejáveis caso não ocorra nenhum tipo de intervenção e, por fim, a tendência é a desenvolvimento que o problema na ausência de ação. Portanto, o cálculo de GUT ($= G \times U \times T$) indica a maior ou menor prioridade para uma dada demanda.

Sendo assim, o presente trabalho é dividido em três etapas: o levantamento qualitativo sobre as manifestações patológicas nas esquadrias de madeira localizadas no CCBM; o diagnóstico das anomalias identificando as causas e a análise quantitativa das anomalias, com auxílio do método GUT.

2. ESTUDO DE CASO: CENTRO CULTURAL BERNARDO MASCARENHAS (CCBM)

De acordo com Moratori e Paiva (2016, p.01) “atual Núcleo Histórico e Arquitetônico Complexo Mascarenhas teve sua origem em 1888, como sede da Companhia Têxtil Bernardo Mascarenhas, sendo a primeira industria a utilizar energia elétrica, contribuindo no reconhecimento da cidade de Juiz de Fora, fundada em 1850, como Manchester Mineira”, vide Figuras 1 e 2.

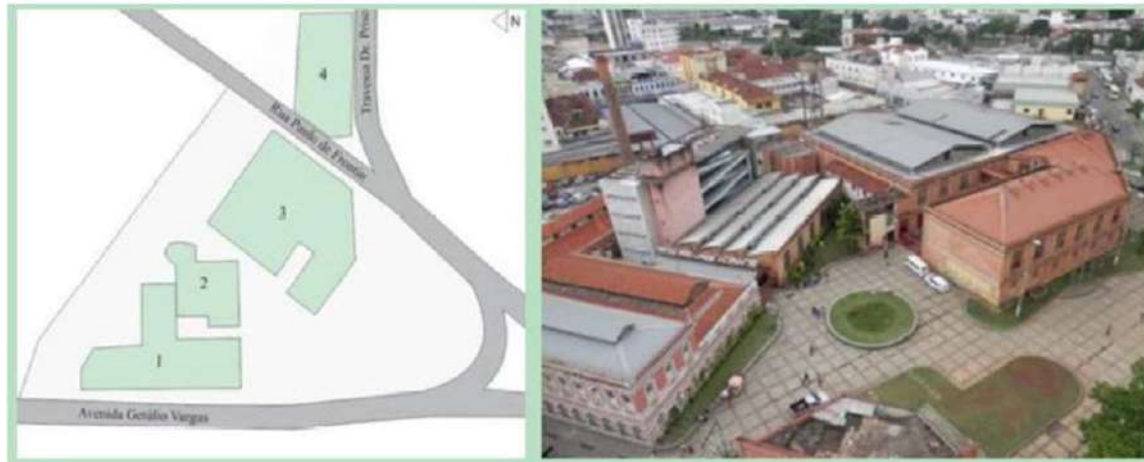


Figura 1. Complexo CCBM. Fonte: Moratori, Paiva e Barbosa (2016).

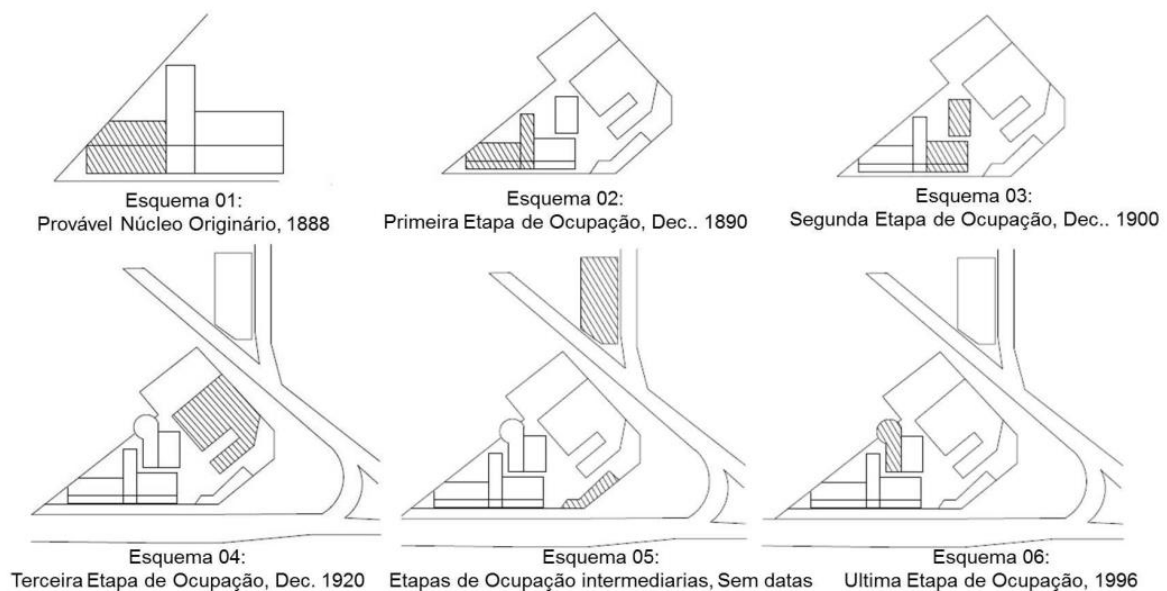


Figura 2. Esquema de intervenções no CCBM. Fonte: Moratori e Paiva (2016).

Segundo Moratori (2016) a simetria do CCBM está embasada em corpo central constituído de três pavimentos, com frontões retos com dupla arcada cega arrematando a composição em suas quatro faces que compõe seu coroamento e marcando o eixo de simetria, ladeado por extensas alas horizontais de dois pavimentos. No térreo abrem-se três vãos de portas, enquanto o segundo nível possui amplas janelas rasgadas por inteiro, com vergas retas, balcões protegidos por grades metálicas apoiadas sobre consoles ornamentados, as fachadas seguem um ritmo regular da

seqüência de vãos arqueados, com vedações de madeira e vidro, com bandeira fixa, caixilho tipo guilhotina na parte superior e veneziana na inferior.

Todo o conjunto de edifícios tem cerca de 12.498 m², sendo que 11.233 m² são de área construída e 1.264 m² são áreas livres, tais como: estacionamento, áreas de carga e descarga, cívica praças e áreas de circulação. Hoje, o Complexo Cultural Bernardo Mascarenhas (ver Figura 1) é composto por quatro edificações: o Centro Cultural Bernardo Mascarenhas (BMCC) (1); o Mercado Municipal e a Secretaria Municipal de Educação (2); a Biblioteca Municipal Murilo Mendes (3) e Centro de Educação Dr. Geraldo Moutinho de Jovens e Adultos (CEM) (4). (MORATORI, PAIVA, BARBOSA, 2016 p.196).

3. METODOLOGIA

Ao percorrer a edificação, identifica-se diversas anomalias nas janelas, sendo grande parte, fruto da ação das intempéries e da deficiência nos serviços de manutenção. Nesse aspecto destacam-se nas janelas (esquadrias de madeira): avançado estado de degradação decorrente da presença de umidade; vidros quebrados; pequenos reparos com massa em cor destoante aos componentes das esquadrias resultando numa falta de harmonia dos componentes da fachada da edificação.

Diante do exposto, os procedimentos metodológicos são divididos em duas etapas, a saber: qualitativa que consiste no levantamento fotográfico das esquadrias de madeira na fachada Frontal e lateral direita do CCBM, identificando as manifestações patológicas e quantitativa que consiste no no emprego do método GUT, conforme apresentado a seguir:

Primeira etapa: Levantamento das manifestações patológicas nas esquadrias: nesta etapa efetuou-se uma análise visual e um levantamento fotográfico do estado atual das esquadrias de madeira da fachada do CCBM (vide Figura 3), para identificação das anomalias, incluindo suas causas e consequências.

Baseado no levantamento fotográfico e análise visual efetuado nas esquadrias do CCBM, onde identificou-se as causas das manifestações patológicas, o seu grau de criticidade, elaborou-se uma etapa quantitativa de forma a priorizar os reparos e assegurar a salvaguarda do patrimônio.

Segunda etapa: Matriz GUT: o método GUT tem como objetivo priorizar as ações de intervenção aos problemas de forma racional, permitindo escolher a tomada de ação menos prejudicial, seguindo as seguintes etapas: listagem dos problemas ou pontos de análise; pontuação de cada tópico; classificação e tomada de decisões estratégicas (SOTILLE, 2014). Sendo assim, atribui-se valores em uma escala de 1 (um) a 5 (cinco) observando critérios de Gravidade, Urgência e Tendência, conforme ilustrado na Tabela 1.



Figura 3. Levantamento fotográfico das patologias nas esquadrias do CCBM.

Tabela 1. Critérios da Metodologia GUT. Fonte: adaptado Aldo *et al* (2020).

Pontos	Gravidade	Urgência	Tendência
Definições	É a intensidade de danos que pode ocorrer caso não ocorram intervenções	Tempo estimado para a resolução de uma determinada situação	Padrão evolutivo, quando ausente ação
5	Extremamente grave	Imediatamente	Piora muito ou, rapidamente.
4	Muito grave	Curto prazo	Aumenta ou piora em pouco tempo
3	Grave	Prazo médio	Permanece igual ou piora em médio prazo
2	Pouco grave	Longo prazo	Reduz ou piora em longo prazo
1	Sem gravidade	Longuíssimo prazo	Desaparece ou não piora

4. RESULTADOS E ANÁLISES

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos no levantamento efetuado, incluindo aos resultados obtidos com o emprego do método GUT, sendo possível verificar:

Tabela 2. Levantamento das manifestações patológicas nas esquadrias externas (fachada) e método GUT

Manifestações Patológicas	Causas prováveis	MÉTODOGUT			Total
		G	U	T	
Apodrecimento	Ação do intemperismo associada a presença de umidade, microrganismos e insetos.	5	3	4	50
Manchamentos	Percolação e penetração de água decorrente de falhas no sistema de proteção (pintura)	3	2	3	18
Pigmentação	Pequenos reparos efetuados com massa inapropriada.	2	3	1	6
Falta de seção	Instabilidade do componente devido a ações físicas e/ou mecânicas e/ou higrotérmica.	1	2	2	4
Heterogeneidade do material	Deterioração da madeira e/ou perda do componente original.	1	2	4	8

- i) A deficiência nos serviços de manutenção associada a presença de agentes de degradação (intemperismo, físicos, químicos, biológicos) em muito contribuíram para o elevado grau

de deterioração do componente construtivo. Deve-se considerar que uma medida protetiva e preventiva consiste no emprego de produtos que dificultam o acesso, principalmente, da umidade à madeira, como o caso das tintas já que são capazes de penetrar no material (madeira) formando uma película externa protetora e impermeável. Sendo assim, para as peças comprometidas recomenda-se serviços de restauro com recuperação ou substituição da área comprometida;

- ii) Os manchas presentes, causados pela presença de umidade e desenvolvimento de microorganismos (fungos, por exemplo) são resultado da falta de serviços de manutenção, ou seja, repintura. Essa anomalia tende a reduzir sua dureza do material em até 10%, a resistência à flexão em até 5% e ao impacto em até 30%. (RHODMANN, 2021), comprometendo a vida útil do componente. Para o tratamento dessa anomalia empregam-se produtos químicos que elimine os fungos, se a umidade não tiver penetrado até o cerne podem ser indicados o tratamento com lixamento e escovação;
- iii) Os pequenos reparos efetuados até o momento, devido a falhas no material (perda de material por ataque, por exemplo, insetos, impactos, dentre outros) que resultaram num aspecto estético desuniforme bem como, proporcionam uma resistência mecânica heterogênea no componente, já que ora empregou-se material de recomposição de qualidade inferior ao original, ora superior. Sendo assim, destaca-se a importância do emprego de peças de recomposição de mesma origem, devendo-se substituir por novas peças de acordo com molde para evitar problemas de encaixe nas seções. Deve-se considerar, inclusive o emprego de massa para corrigir as imperfeições causadas por insetos, sendo necessário, também, a descupinização ou colagem da estrutura de madeira das esquadrias, no levantamento fotográfico realizado foi identificados que esses pontos com massa nas estruturas não receberam nenhum acabamento, dessa forma apresentaram um aspecto destoante da madeira prejudicando a estética das esquadrias. Para solucionar esses problemas, devem primeiramente fazer o trabalho de descupinização por seringa na madeira através da injeção de produtos como inseticidas e dedetizadores, para aplicação de massas primeiramente deve retirar as partes comprometidas e fazer a modelagem e a colagem de acordo com formato das seções, depois da secagem das massas deve-se fazer o lixamento para eliminar excessos do produto, e por fim pintar as peças com a cor original do madeiramento para não destoar da estrutura original;
- iv) A Falta de seção no componente são resultado das degradações físico-química, biológicas e estrutural sendo, portanto, necessário a proteção e monitoramento contra os agentes biológicos, para evitar possíveis deteriorações, para as degradações deve-se auxiliar de uma equipe técnica que possa a interferir de forma correta sobre a substituição e reposição das partes comprometidas;

5. CONCLUSÃO

A manutenção nas estruturas de madeiras para a detecção e patologias geralmente é um processo mais racional e não custoso, deve incluir procedimentos periódicos de inspeção. Com isso as patologias que ocorrem na madeira podem ser minimizadas ou até evitadas se houver inspeção preventiva. A partir da inspeção é possível identificar alterações no material e qualificar os agentes envolvidos nas deteriorações.

O método GUT usado no estudo foi muito importante para determinar as prioridades de intervenção de acordo com as causas das patologias registradas pelo levantamento fotográfico.

Através do estudo constatou-se que a inspeção periodicamente da madeira pode maximizar a vida útil e minimizar os custos com reparos, detectando os tipos de anomalias para propor um tratamento mais simples e de custo menor.

O tratamento confere durabilidade e longevidade à madeira. O tipo de tratamento é definido de acordo com o ambiente em que a madeira ficará exposta.

Sendo assim foram encontradas manifestações patológicas como o avançado estado de degradação da madeira, manchamentos, pontos com massa, perda de seção e substituição de estrutura destoante.

Estima-se que as principais causas são a Interferência de condições naturais: temperatura Umidade e oxigênio, espécie da madeira, microrganismo e insetos, Presença de umidade na madeira através da penetração de água, defeito, falha de execução, vida útil, processos naturais, agentes externos, intempéries e ação do homem, descupinização ou colagem da madeira.

Espera-se que esse trabalho possa contribuir para um melhor entendimento das causas patológicas nas esquadrias do de madeira e que as ações de restaurações possa ser inseridas no contexto correto para que as intervenções no patrimônio histórico seja elaboradas com estratégias aplicáveis e eficientes na reabilitação do conjunto arquitetônico que se alinhem com os objetivos dessa causa, identificando as ações que não estão sendo desenvolvidas e comprometam as diretrizes derestauração e reparo.

6. AGRADECIMENTOS

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F. A. L. (2012). A madeira como material estrutural – Projeto da estrutura da cobertura de um edifício. 310 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. Portugal.

Araújo, R. T. (2012) Alternativas sustentáveis do uso da madeira na construção civil. *Especialize*. n.4, p. 115.

Barbosa, M T; Silva, B; Coura, C. (2017). A importância dos serviços de manutenção no patrimônio histórico. Cine Theatro Central, Palacete Santa Mafalda e Fórum da Cultura em Juiz de Fora. *Arquitextos*, São Paulo, ano 18, n. 205.04, Vitruvius, jun.

Braga, M; Razeira, P; Mühlbauer, C.F. (2003). Conservação e restauração de madeira na arquitetura brasileira. In: Marcia Braga. (Org.). Conservação e restauro. Rio de Janeiro: Editora Rio, v., p. 9-50.

Brito L. D. (2014). Patologia em Estruturas de Madeira: Metodologia de Inspeção e Técnicas de Reabilitação. 502 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

Calil JR, C. *et al.* (2006) . Manual de projeto e construção de pontes de Madeira. 237 f. Departamento de Engenharia das Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

Carvalho, A; Silva, I. ; Rosse, V.; Barbosa, M T. (2020). O emprego do Método GUT na solução de manifestações patológicas no Instituto Maria. In: V Congrsoo Internacional de recuperação, manutenção e reabilitação, 2020, Rio de Janeiro – Virtual. V Cirmare.

Cunha, V. (2011). Madeira e sustentabilidade, como vai esta relação?. *Arquitextos*, n.11.

- Feilden, B. (1994). *Conservation Historic Buildings*. Oxford: Butterworth Architecture.
- ICOMOS (1999). Princípios para a preservação das estruturas históricas em madeira. Disponível em: <https://5cidade.files.wordpress.com/2008/03/principios-para-a-preservacao-das-estruturas-historicas-em-madeira.pdf>, acessado em 21 de fev/2021.
- Idrus, A.; Khmamidi, F.; Sodangi, M. (2010). Maintenance Management Framework for Conservation of Heritage Buildings in Malasya. *Modern Applied Science*. Vol. 04, n.11.
- Kepner, C; Tregoe, B. (1997). *The new rational manger*. Pinceton Research Press.
- Lorenzetti, E.T. (2010). Análise das técnicas de intervenção em esquadrias de madeira e nos revestimentos argamassados da fachada de tres edificações históricas do século XIX e XX no estado do Paraná, sob o enfoque tecnológico e dos critérios de conservação patrimoniais. 2010. 180 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis.
- Manchas na madeira. **Rhodmann**. Mercês, Curitiba PR, Disponível em: <https://www.rhodmann.com.br/2018/06/manchas-na-madeira/>. Acesso 24 Fev. de 2021.
- Marques, C.C.G; Kojima, J.S; Toma, M.Y.(2014). Casas de madeira de Londrina: Á importância das esquadrias. *Revista terra e cultura*, Ano 30, Centro Universitário Filadélfia, Londrina, Paraná.
- MilanI, C. J; Kripka, M. (2021). A identificação de patologias em pontes de madeira: diagnóstico realizado no sistema viário do município de Pato Branco – Paraná. 11 f. Anais In: REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/index.php/index>. Acesso em: 19 Jan. 2021.
- Miotto, J. L.(2002). A evolução das esquadrias de madeira no Brasil. *UNOPAR Cient., Ciênc. Exatas Tecno*. Londrina, v. 1, n. 1, p. 55-62.
- Moratori, D. A. (2016). Centro Cultural Bernardo Mascarenhas: Reabilitação, desenvolvimento sustentável e educação patrimonial. In: VIII MESTRES E CONSELHEIROS: Agentes Multiplicadores do Patrimônio - Os Desafios do Patrimônio Imaterial, 2016, Belo Horizonte, MG. Anais do 8º Forum Mestres e Conselheiros: Agentes Multiplicadores do Patrimônio - Os Desafios do Patrimônio Imaterial. Belo Horizonte. p. 1-16.
- Moratori, D. A.; Barbosa, M. T. G. (2016). Análise da reabilitação do Centro Cultural Bernardo Mascarenhas baseado nos critérios do Desenvolvimento Sustentável. In: 2º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, 2016, Belém, PA. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. São Leopoldo: Casa leiria, 2016. p. 149-157.
- Moratori, D. A.; Paiva, C. R. (2016). Paisagem Cultural e Patrimônio Industrial: Processo de salvaguarda de núcleo historico arquitetônico do século XIX em Juiz de Fora/MG. In: 4º Colóquio Ibero-americano Paisagem cultural, patrimônio e projeto: Desafios e perspectivas, 2016, Belo Horizonte. Anais do 4º Colóquio Ibero-americano Paisagem cultural, patrimônio e projeto: Desafios e perspectivas.
- Moratori, D. A.; Paiva, C. R.; Barbosa, M. T. G. (2016). Analysis of rehabilitation of the Centro Cultural Bernardo Mascaranhas considering the concept of sustainable development. In: SBE16 Brazil & Portugal - Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment, 2016, Vitória - Espírito Santo. Anais do SBE16 Brazil & Portugal - Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment, 2016. v. 1. p. 295-304.

Neves, D.R.R. (2009). Estr t gia de Inspe o Predial. P. 12-19. Disserta o (Mestrado em Constru o Civil) – Universidade Funda o Municipal para Educa o Comunitária, Belo Horizonte.

Parma, A.P; Icimoto, F.H. (2018). Patologias em Estruturas de Madeira ocasionadas por agentes bióticos e abióticos. Revista Científica Semana Acad mica. Fortaleza, ano MMXVIII, N . 000141, 14/11/2018.

Phillipson; Emmanuel; Baker. (2016). The durability of building materials under a changing climate. WIREs, Clim Change.. 590-599. DOI: 10.1002/wcc.398.

Saviz, M; Luc, C; Saeed, M. (2020). Design strategies using multi-criteria decision-making tools to enhance the performance of building façades. Journal of Building Engineering; 30. DOI: 10.1016/j.jobbe.2020.101274.

Sotille, M.A. (2014). GUT – Gravidade, Urgência e Tendência. PM Tech Capacita o em Projetos..

Souza, V. C. M.; Ripper, T. (1998). Patologia, recupera o e reforço de estruturas de concreto. Editora Pini. São Paulo.

Walsh, Justin St. P. (2012). Protection of humanity’s cultural and historic heritage in space. *Space Policy*. 28.4, 234-243. DOI: 10.1016/j.spacepol.2012.04.001.

Sistemas hidráulicos: procedimentos sustentáveis aplicáveis à manutenção dos edifícios

Rita de Cássia Teixeira Assis^{1*}, Maria Teresa Gomes Barbosa²

*Autor de Contato: rita.assis@engenharia.ufjf.br

¹ Engenheira Civil, Mestranda do programa de pós-graduação em Ambiente Construído, UFJF, Juiz de Fora, Brasil

² Professora D. Sc., Departamento de Construção Civil, UFJF, Juiz de Fora, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar as manifestações patológicas recorrentes no sistema hidráulico e na cobertura das edificações e discutir sobre as atividades de manutenção que colaborem para a sustentabilidade. Para isso, é realizada uma revisão sistemática de literatura, buscando identificar as principais patologias e a partir dessa investigação, sugerir os procedimentos sustentáveis que podem ser adotados na etapa de manutenção das edificações residenciais, especialmente no que tange a manutenção preventiva, visando otimizar o uso de água e de energia. Pretende-se, com essa pesquisa, contribuir para a melhoria da qualidade dos sistemas em estudo, ressaltar a importância da realização da manutenção e destacar como essas ações podem minimizar os impactos ambientais provocados na fase de uso de uma edificação.

Palavras-chave: Instalações hidráulicas prediais; Manifestações patológicas; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the recurrent pathological manifestations in the hydraulic system and in the coverage of buildings and to discuss maintenance activities that contribute to sustainability. For this, a systematic literature review is carried out, seeking to identify the main pathologies and from this investigation, suggest the sustainable procedures that can be adopted in the maintenance phase of residential buildings, especially with regard to preventive maintenance, in order to optimize the use of water and energy. It is intended, with this research, to contribute to the improvement of the quality of the systems under study, to emphasize the importance of carrying out maintenance and to highlight how these actions can minimize the environmental impacts caused in the phase of using a building.

Key words: Building hydraulic installations; Pathological manifestations; Sustainability.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar las manifestaciones patológicas recurrentes en el sistema hidráulico y en la cobertura de los edificios y discutir las actividades de mantenimiento que contribuyan a la sostenibilidad. Para ello, se realiza una revisión bibliográfica sistemática, buscando identificar las principales patologías y, a partir de esta investigación, sugerir los procedimientos sostenibles que se pueden adoptar en la fase de mantenimiento de edificaciones residenciales, especialmente en lo que se refiere al mantenimiento preventivo, con el fin de optimizar el uso de agua y energía. Se pretende, con esta investigación, contribuir a la mejora de la calidad de los sistemas en estudio, enfatizar la importancia de realizar mantenimientos y resaltar cómo estas acciones pueden minimizar los impactos ambientales provocados en la fase de uso de un edificio.

Palabras clave: Construcción de instalaciones hidráulicas; Manifestaciones patológicas; Sustentabilidad.

1. INTRODUÇÃO

Em relação à construção civil, “patologia” diz respeito ao estudo de falhas e defeitos que alteram o aspecto estrutural e visual de uma edificação. Assim, o estudo de patologias nas construções é parte imprescindível na garantia de qualidade e na prevenção dos problemas que levam à degradação das edificações (NAZÁRIO e ZANCAN, 2011).

A degradação prematura das edificações manifestada pelo decréscimo de desempenho é um problema atual e frequente, podendo ser observada na queda da segurança, utilização, estabilidade, durabilidade e na estética das edificações. Como solução, apresenta-se a gestão do sistema de manutenção, devendo englobar possibilidades para preservar as características originais da edificação e também garantir a prevenção da perda de desempenho proveniente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes (ABNT, 2012).

Diversos problemas relacionados à durabilidade da edificação podem ser resolvidos durante o processo de construção, caracterizado como a primeira fase da vida de um imóvel. Um projeto eficaz, orientações adequadas, o atendimento às exigências impostas pelas normas e pelo programa de uso, a qualidade dos materiais empregados e o acompanhamento técnico adotado na construção são procedimentos importantes que vão propiciar essa durabilidade. Em contrapartida, durante a

segunda fase, a de uso, uma série de complicações pode aparecer devido ao desgaste ocasionado por usos indevidos. Faz-se necessário, portanto, procedimentos regulares e programados de manutenção para a conservação e eficácia da destinação da edificação, evitando o surgimento de patologias e deteriorações inesperadas, permitindo previsão segura de gastos periódicos (MARTINS, 2017).

Leal *et al* (2008) afirma que em uma instalação predial de água, alguns serviços são necessários para, em certos casos, repor as condições originais e, em outros, refazer algum tipo de componente, dentro dos padrões de qualidade que possibilitem um melhor uso da edificação. Assim como qualquer outro sistema que compõe um edifício, o sistema de cobertura também está passível de sofrer com as manifestações patológicas que possam surgir durante a sua vida útil, comprometendo assim, o nível de desempenho esperado. Dessa forma, medidas de manutenção devem ser planejadas buscando atender aos requisitos de desempenho e sustentabilidade, especialmente, relacionadas à redução do consumo de água e energia.

O crescimento da consciência ecológica aponta para a importância da adoção de um modelo de gestão e planejamento urbano adeptos à questão da sustentabilidade, ou seja, buscando conciliar desenvolvimento socioeconômico à preservação e manutenção dos recursos naturais disponíveis. Essa problemática tem ocupado um lugar relevante no conjunto de reflexões globais, sobretudo a partir do século XX, quando começaram a acontecer as grandes conferências mundiais acerca de questões relacionadas à degradação do meio ambiente e a eficácia das instituições e das agências mundiais quanto ao planejamento do desenvolvimento urbano e da qualidade de vida da população (ALMEIDA, 2019).

Visto a importância da gestão das atividades de manutenção para a garantia do desempenho das construções, é possível destacar com incomplexidade a necessidade do estudo das patologias existentes a fim de preservar a vida útil dos componentes de uma edificação habitacional.

Diante disso, o objetivo principal desse estudo é analisar as manifestações patológicas recorrentes no sistema hidráulico e na cobertura das edificações habitacionais, abordando sobre as atividades de manutenção que colaborem para construções mais sustentáveis, reduzindo os impactos ambientais na fase de uso. Dentre os objetivos específicos estão: (i) Levantar as manifestações patológicas mais frequentes nas instalações hidráulicas e na cobertura de edifícios residenciais; (ii) Discutir sobre a importância das atividades de manutenção predial; e (iii) apresentar propostas de soluções sustentáveis que contribuam para a sustentabilidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As manifestações patológicas estão presentes na maioria das edificações, seja com maior ou menor intensidade, variando no período da aparição e/ou na forma como se manifestam nos edifícios (PIRES, 2013). Estudos de Araújo, Medeiros e Silva (2019) constatam que 66% das prováveis causas e origens dos acidentes em edificações com mais de dez anos estão relacionados à deficiência com a manutenção, perda precoce de desempenho e deterioração acentuada.

Conforme define o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE), as anomalias podem ser endógenas (da própria edificação), exógenas (provocadas por fatores externos), naturais (advindas de fenômenos da natureza) ou funcionais (pela degradação natural dos sistemas construtivos). Carvalho Júnior (2018) ressalta ainda que as principais causas de patologias de origem endógena são: falhas de projeto (40%), falhas de execução (28%), qualidade dos materiais (18%), uso das instalações (10%), e diversos (4%).

De acordo com Marinho (2011), as coberturas são umas das áreas mais críticas da construção, contribuindo para elevadas patologias construtivas associadas a más soluções técnicas e deficiente execução. Alguns detalhes, como os fatores climáticos e aspectos de dimensionamento devem ser considerados na elaboração desta componente do edifício.

Teixeira *et al.* (2011) afirmam que patologias frequentes nos sistemas hidráulicos de um edifício não envolvem sérios riscos à vida dos seus usuários. Porém, elas costumam causar transtornos, aborrecimentos e desconfortos, em geral associados aos sintomas comuns de suas manifestações.

Para Vieira (2016), os sistemas hidráulicos prediais não estão recebendo a atenção necessária e indispensável para que tenham um bom desempenho de acordo com a vida útil da edificação. Essa condição é decorrente de alguns fatores, tais como: execução de obras sem os projetos de instalações; redução de custos nas instalações; e o fato de serem ocultas.

Além disso, a falta de observação às normas pertinentes e a falta de qualidade dos materiais utilizados na construção do edifício, bem como da mão de obra e eventuais negligências dos construtores, podem ocasionar vícios, defeitos construtivos e, conseqüentemente, danos ao proprietário da edificação (CARVALHO JR, 2013).

Fatores já citados anteriormente, aliados à falta de manutenção, tem criado despesas extras aos usuários que, em alguns casos, com menos de cinco anos de uso, já necessita consumir recursos financeiros em reparos. Reparos estes que poderiam inteiramente ser evitados (MARINHO, 2011).

Araújo, Medeiros e Silva (2019) afirmam que a previsão e o planejamento das possíveis intervenções ao longo da vida útil dos edifícios são fundamentais para reduzir o aparecimento de anomalias. A manutenção preventiva, quando feita por meio de intervenções regulares e planejadas, é essencial para conservação e eficácia da destinação da edificação. Também é importante para a segurança do usuário que essa manutenção seja realizada periodicamente.

De acordo com a normalização brasileira, NBR 5674:

“A omissão em relação à necessária atenção para a manutenção das edificações pode ser constatada nos frequentes casos de edificações retiradas de serviço muito antes de cumprida a sua vida útil projetada (VUP), causando muitos transtornos aos seus usuários e um sobrecusto intensivo dos serviços de recuperação ou construção de novas edificações” (ABNT, 2012, p.2).

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) avalia a manutenibilidade como um requisito para “manter a capacidade do edifício e de seus sistemas e permitir ou favorecer as inspeções prediais, bem como as intervenções de manutenção previstas no Manual de Uso, Operação e Manutenção”.

Os empreendimentos da indústria da construção civil são atualmente um dos maiores causadores de impactos ambientais. As atividades relacionadas à construção, operação e demolição de edifícios promovem a degradação ambiental por meio do consumo excessivo de recursos naturais e através da geração de resíduos sólidos.

O conceito de sustentabilidade no ambiente construído demanda por sistemas construtivos que se integrem ao meio ambiente, adaptados as necessidades de uso, produção e consumo humano, preservando os recursos naturais para as futuras gerações, utilizando soluções que permitam o desenvolvimento econômico e o bem-estar social (SOARES, 2017).

Edificações que possuem um sistema para captar e acumular água da chuva, para um uso futuro, apresentam uma redução no consumo de água tratada e, conseqüentemente, diminuição do valor pago por esse serviço. As cidades sustentáveis apresentam como princípio a melhoria do bem-estar e qualidade de vida de seus habitantes, priorizando a integração do planejamento e da administração do meio urbano, juntamente com os sistemas ecológicos e ambientais (SEBRAE, 2019).

Dessa forma, o tema sustentabilidade nas práticas da manutenção predial apoia-se na perspectiva de aplicação de atividades de manutenção, de melhoria e modernização das edificações na etapa de uso e operação, visando a contribuição para a sustentabilidade (ABREU, 2012).

3. METODOLOGIA

3.1. Considerações iniciais

A estratégia metodológica adotada para a realização deste estudo foi a Revisão Sistemática de Literatura (RSL), que, segundo Maiorino e Bertoli (2017), pode ser considerada uma metodologia de trabalho que visa criar um protocolo de busca de literatura de maneira criteriosa. “A expressão sistemática significa que a revisão deve seguir um método explícito, planejado, responsável e justificável” (DRESCH; LACERDA e ANTUNES JÚNIOR, 2015, p. 142).

Como justificativa para essa revisão, tem-se a necessidade de esclarecer as seguintes indagações: “Quais são as patologias recorrentes no sistema hidráulico e de cobertura das edificações habitacionais?” e “Como as atividades de manutenção podem contribuir para a sustentabilidade das edificações?”. Definidas essas questões motivadoras, foi possível iniciar o planejamento da pesquisa de títulos relacionados ao tema proposto.

O processo de revisão foi dividido em duas etapas: (i) identificação e seleção dos artigos e (ii) análise sistemática do conteúdo.

3.2 Identificação e seleção dos estudos

Para o levantamento dos trabalhos já publicados, as plataformas de busca utilizadas foram: Periódicos CAPES e Google Acadêmico, utilizando um recorte temporal de 2012 até o momento da pesquisa, filtrando o tipo de material em artigos e em qualquer idioma. Para a plataforma de busca Google Acadêmico utilizou-se a limitação de palavras-chave para serem inclusas no título, além disso, citações e patentes foram desconsideradas.

Para definição das *strings*, investigações preliminares foram realizadas, tendo a finalidade de refinar a busca sistematizada. Considerando que os resultados da busca com palavras-chave isoladas foram excessivamente amplos, optou-se por utilizar termos mais específicos, sendo adotados os conjuntos apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Termos de busca.

Etapas	1ª busca	2ª busca	3ª busca	4ª busca
Termos utilizados	PATOLOGIAS EM SISTEMAS HIDRÁULICOS	PATOLOGIAS EM COBERTURAS	MANUTENÇÃO PREDIAL	EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS

Para a seleção dos artigos, alguns critérios de exclusão e inclusão foram estabelecidos, e após triagem, os artigos passaram por um processo de aprovação para serem avaliados na RSL.

Os critérios estabelecidos para a exclusão dos artigos foram: (a) Artigos repetidos; (b) Trabalhos em que o texto completo não esteja disponível online; (c) A partir da leitura do título, o artigo não apresenta aderência à questão motivadora; (d) A partir da leitura do resumo, o artigo não apresenta

aderência ao assunto investigado; (e) A partir da leitura do artigo, não há aderência aos objetivos propostos. Caso haja dúvidas em algumas das etapas, o artigo deverá ser mantido para análise na próxima fase.

Os critérios estabelecidos após seleção dos artigos para que pudessem ser incluídos e avaliados foram: (a) O estudo deve incluir em sua proposta o levantamento de patologias no sistema hidráulico e/ou cobertura de edificações; (b) Deve considerar a manutenção desses sistemas, considerando a importância para a sustentabilidade das edificações. Estudos que atenderam somente um dos critérios de inclusão também foram avaliados.

3.3. Análise sistemática do conteúdo

Nessa etapa aconteceu a síntese e organização dos estudos encontrados. Após a aplicação dos critérios estabelecidos na etapa anterior, os artigos selecionados foram analisados e organizados de acordo com os temas e conteúdos abordados que sejam relevantes para o entendimento entre as patologias existentes e a importância da manutenção a fim de contribuir para edificações mais sustentáveis.

Quadro 2. Quantitativo de artigos selecionados.

Etapas	1ª busca	2ª busca	3ª busca	4ª busca
Periódicos CAPES	01	01	02	03
Google Acadêmico	04	03	02	03
Total	19 artigos			

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. Manifestações patológicas

Há uma enorme variedade de materiais, equipamentos e componentes do sistema predial hidráulico como: bombas hidráulicas, tubos, registros, válvulas, conexões, tanques, entre outros. Essa variedade contribui para o aparecimento das manifestações patológicas nas instalações hidráulicas, que vão desde simples erros até falhas mais graves.

Barros, Silva e Paes (2016) destacam que, em muitos casos, a detecção de todas as falhas e inconformidades nas instalações hidráulicas é dificultada, visto que muitos de seus componentes estão embutidos nas edificações e não existe “*as built*” dessas obras. Isso compromete a identificação da origem dos problemas e sua relação com as normas e legislações vigentes.

Em um levantamento, realizado por Paz *et al.* (2016), é abordado que em edificações com mais de vinte anos é comum encontrar diversos pontos de infiltração provenientes de instalações hidráulicas. A umidade nos materiais construtivos origina e abre caminhos para outros tipos de patologias na edificação.

Em relação aos vazamentos os mesmos ocorrem por diversos fatores, entre eles destaca-se, principalmente, o desgaste natural de sistemas hidráulicos antigos e instalações hidráulicas malfeitas. Existem vazamentos de fácil detecção, percebidos através de testes rápidos ou da simples

inspeção nos produtos, e outros mais difíceis de serem detectados no qual é necessário o auxílio do aparelho de geologia para identifica-los. Os pontos mais críticos das tubulações estão nas conexões/junções (SANTOS e LAGE, 2020). Segundo Carvalho Junior (2013) as principais anomalias decorrem:

- i) *Patologias em instalações prediais de água fria:* oriundas de rupturas em tubulações, contaminação da água em tubulações e reservatórios, vazamento em tubulações embutidas (Figura 1), ruídos e vibrações, incidência de ar nas tubulações e desacoplamento em juntas de tubulações.



Figura 1. Vazamento localizado em tubulação embutida.
Fonte: SAAE Salto/SP, 2021.

- ii) *Patologias em instalações prediais de água quente:* decorre da perda de calor nas tubulações, deficiência no aquecimento da água, deformação e ruptura em tubulações de plástico, vazamentos em aquecedores a gás e corrosão em tubulações (Figura 2).



Figura 2. Corrosão em tubulação de água quente.
Fonte: Confea, 2021.

- iii) *Patologia em coberturas:* Silva e Góes (2019) afirmam que as coberturas têm como principal agente patológico a água cuja fonte geradora é, majoritariamente, as chuvas. Essas apresentam muitos vazamentos pelos seus sistemas de escoamento de águas pluviais (calhas e tubos de queda) ou pela integridade do próprio telhado. Esses vazamentos e infiltrações

(Figura 3), de acordo com Oliveira *et al.* (2019), podem gerar o apodrecimento de forros de madeira, derretimento dos forros de gesso e gerar bolores, fungos, manchas e corrosão das armaduras em lajes de concreto.



Figura 3. Infiltração em cobertura.
Fonte: Leroy Merlin, 2021.

O sistema de cobertura está passível a existência de manifestações patológicas durante a sua vida útil. Os problemas podem estar relacionados ao telhado em si, ou a sua estrutura de cobertura. Para sistemas com telhas cerâmicas e suporte em madeira, diferenciam-se os tipos de patologias observadas. Nesse caso, as patologias mais frequentes são a quebra ou o acúmulo de detritos nas telhas, que geram problemas de infiltração no edifício (PINHEIRO *et al.* 2018).

- iv) *Patologias em instalações prediais de águas pluviais:* decorrente da infiltração de água nas coberturas, transbordamento de calhas, vazamentos em calhas e condutores, entupimentos em calhas e condutores (Figura 4), acúmulo de água em coberturas horizontais, ressecamento de condutores aparentes.



Figura 4. Acúmulo de detritos em cobertura.
Fonte: Habitissimo, 2021.

4.2. Edificações sustentáveis

A necessidade de minimização dos impactos ao meio ambiente gerados pelas edificações e a difusão dos conceitos relacionados ao desenvolvimento sustentável levaram o setor a procurar construções que apresentem um melhor desempenho ambiental.

O primeiro ponto a se considerar na busca deste tipo de edificação é que as preocupações devem começar desde o projeto, prosseguirem durante a construção e participarem da etapa de utilização. Dentre as principais ações, é possível destacar: adoção de um modelo de projeto, no qual as soluções são avaliadas considerando o ciclo de vida da edificação, incluindo custos de operação, uso, manutenção e desmontagem das edificações, e não apenas seus custos iniciais; utilização de soluções que aumentem a flexibilidade das edificações e facilitem reformas e modernizações, como por exemplo, a reposição de componentes e subsistemas; utilização de materiais e componentes que resultem em menor impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida; garantir desde a concepção, um empreendimento voltado à economia de energia e água, redução de custos ao longo da vida útil do empreendimento e bem estar ao usuário.

Macêdo e Martins (2015) afirmam que a sustentabilidade desperta o interesse de todos os setores de produção, e do setor da construção civil de forma mais significativa. Edificações que geram a sua própria energia, equipadas com sistemas de reaproveitamento de águas ou qualquer outra prática que as tornem mais sustentáveis são cada vez mais almeçadas por um crescente número de consumidores, vindo a impactar positivamente na preservação da natureza e na minimização dos impactos ambientais.

O reaproveitamento de água pluvial apresenta vários aspectos positivos, pois permite a redução no consumo de água potável acarretando a diminuição do custo de água fornecido pelas companhias de abastecimento, reduzindo o risco de alagamentos e contribuindo para a preservação do meio ambiente através da redução da exploração de recursos hídricos. A facilidade na composição do sistema é a principal característica para o aproveitamento da água da chuva, o que implica diretamente a redução dos custos de implantação e manutenção. Desse modo, o uso de cisternas, por exemplo, apresenta baixo custo e pode ser eficaz para o uso excessivo da água potável pelo ser humano, tornando viável economicamente (TUGOZ, BERTOLINI e BRANDALISE, 2017).

Conto, Oliveira e Ruppenthal (2017) destacam que o desenvolvimento constante de novas técnicas construtivas e a crescente adesão de diversas certificações ambientais vêm contribuindo para o aumento do desempenho do ambiente construído, associado à sustentabilidade.

Certificações ambientais de edificações são uma importante ferramenta para a transformação do setor da construção civil. Através delas, é possível mensurar, avaliar e mitigar os impactos ambientais da implantação, construção e uso de uma edificação, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do planeta.

Diante do exposto recomenda-se:

- i) *Aproveitamento da água pluvial:* com a incidência das chuvas tem-se o potencial de recolhimento das águas e a possível utilização das mesmas para fins de serviço como: bacias sanitárias, torneiras de jardim e reservas de incêndio. Para isso, é necessário empregar um sistema para recolher, filtrar e armazenar as águas pluviais. Estas são coletadas em áreas impermeáveis da edificação, como calhas, estacionamentos e coberturas. Após esse recolhimento, são encaminhadas para um filtro e armazenadas em um reservatório para posterior utilização.

De acordo com Tugoz, Bertolini e Brandalise (2017), a economia de água potável gerada através da implantação de um sistema para aproveitamento de água pluvial se aproxima de 60%. Além do benefício econômico, haverá menor exploração dos recursos naturais e diminuição de enchentes intensificadas pelo escoamento superficial.

- ii) *Equipamentos hidráulicos economizadores:* são elementos hidrossanitários com a finalidade de reduzir o consumo de água desnecessária para a sua operação, sendo alguns deles: arejadores de torneiras, registros reguladores de vazão, bacias sanitárias com caixa acoplada de volume reduzido e válvulas ou caixas de descarga com acionamento duplo. Esses dispositivos podem ser adotados em construções novas ou serem empregados na fase de manutenção da edificação, em substituição à equipamentos que apresentam maior consumo. Miranda (2019) destaca que a redução do consumo de água decorrente da instalação desses dispositivos pode chegar até 40%.
- iii) *Energia fotovoltaica:* pode ser obtida através da fixação de painéis com lâminas finas e sensíveis nas coberturas existentes; por meio de telhas solares, que funcionam também como cobertura; ou ainda com a utilização de tintas capazes de absorver luz solar e transformar em energia elétrica. O armazenamento dessa energia solar é feito em baterias ou ainda, podem ser diretamente ligados à rede elétrica. Quando a energia coletada não é totalmente utilizada pela residência, pode ser revendida para a concessionária de energia elétrica, reduzindo a compra de energia e gerando um lucro para os moradores. Embora essas tecnologias de geração de energia solar sejam inicialmente mais caras, segundo Cabral e Vieira (2012), os possíveis benefícios socioambientais trazidos por essa fonte de energia, como o alcance de áreas isoladas, a geração de empregos, a não emissão de gases de efeito estufa, compensam o seu custo. Além disso, esse investimento será recompensado por meio da redução do pagamento à concessionária que fornece energia elétrica.
- iv) *Dispositivos para redução do consumo de energia:* além de investir em fontes alternativas para a geração de energia elétrica, é importante também optar por equipamentos de baixo consumo. Dispositivos com acendimento / fechamento automático, lâmpadas de baixo consumo e aproveitamento de luz e ventilação natural são itens que podem contribuir para a redução dos impactos ambientais gerados pelas edificações em uso.

Além das recomendações citadas, diversas modificações podem ser implantadas nos procedimentos de manutenção predial para obtenção de melhorias na sustentabilidade das edificações já existentes e em fase de uso.

Entretanto, apesar de todas as vantagens apresentadas, o uso dessas alternativas sustentáveis ainda são pouco utilizadas no Brasil devido, principalmente, ao seu custo inicial elevado se comparado com os sistemas construtivos convencionais. Importante ressaltar que esse investimento é compensado ao longo do tempo.

A manutenção predial com práticas sustentáveis é uma nova perspectiva no campo da construção civil. Sua aplicação efetiva nos edifícios residenciais podem ser estendidas para outros tipos de edificação, ampliando, dessa forma, a extensão das medidas de redução de impactos ao meio ambiente.

5. CONCLUSÕES

Inovações, através do emprego de opções tecnológicas durante a etapa de construção e a fase de uso, são fundamentais para que a edificação colabore para o desenvolvimento sustentável.

O sistema hidráulico predial, além de assegurar o fornecimento de água predial, bem como, garantir a qualidade da água e a distribuição de maneira adequada, traz consigo benefícios ambientais provenientes de sua instalação eficaz, garantindo a fácil manutenção preventiva, levando também em consideração a constatação de vazamentos, contribuindo para evitar o desperdício de água.

A economia de água potável é evidente, especialmente, quando a infraestrutura está preparada para garantir a coleta e armazenamento da água da chuva, para ser reaproveitada posteriormente, como por exemplo, para irrigação de jardins e lavagem de pisos e carros.

Pelo fato de ficarem embutidas e ocultas, as instalações hidráulicas, em geral, não recebem a atenção necessária, resultando muitas das vezes em improvisos e utilização de materiais de baixa qualidade, comprometendo futuramente o bom desempenho da edificação.

Além do projeto e execução serem cruciais para o bom desempenho das coberturas, é necessária uma manutenção periódica, a fim de evitar acúmulo de detritos e infiltrações. Com investimentos nesses sistemas, diversos benefícios econômicos e ambientais são gerados, além de agregar valor comercial à edificação.

A partir da breve apresentação das possíveis manifestações patológicas do sistema hidráulico predial e das coberturas das edificações, fica evidente o quanto o projeto se torna indispensável, evitando erros nas montagens das instalações, utilizando materiais de qualidade e, principalmente, promovendo as atividades de manutenção necessárias à conservação da vida útil e bom desempenho desses sistemas.

Dessa forma, o tema sustentabilidade nas práticas da manutenção predial apoia-se na perspectiva de aplicação de atividades de manutenção, de melhoria e modernização das edificações na etapa de uso e operação, visando a diminuição de manifestações patológicas e a redução dos impactos ambientais, contribuindo para edificações com maior durabilidade e mais sustentáveis.

6. AGRADECIMENTOS

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil

7. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). NBR 5674. *Manutenção de Edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR 15.575: *Edificações Habitacionais - Desempenho*. Rio de Janeiro.

Abreu, W. G. *Identificação de práticas sustentáveis aplicadas às edificações*. (2012). 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

Almeida, S. C. C. (2019). *Indicadores de sustentabilidade: análise da aplicabilidade da NBR ISO 37120:2017 sob a perspectiva da engenharia urbana*. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

- Araújo, N. M. C.; Medeiros, M. O.; Silva, M. R. (2019). Um estudo multicaso quanto à relação entre os Manuais do Usuário e a legislação vigente. *HOLOS*, [S.l.], v. 7, p. 1-9, dez. DOI: [10.15628/holos.2019.6217](https://doi.org/10.15628/holos.2019.6217).
- Barros, F. A.; Silva, D. V. C.; Paes, R. P. (2016). Instalações prediais hidráulicas e sanitárias em escolas públicas: patologias e satisfação dos usuários. *REEC*, v.11, n.2, p.39-50. DOI: [10.5216/reec.V11i2.32880](https://doi.org/10.5216/reec.V11i2.32880)
- Cabral, I.; Vieira, R. (2012). *Viabilidade econômica x viabilidade Ambiental do uso de Energia Fotovoltaica no caso Brasileiro: Uma abordagem no período recente*. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia.
- Carvalho JR, Roberto. (2013). *Patologias em sistemas prediais hidráulicos-sanitários*. São Paulo: Editora Blucher.
- Carvalho JR., R. (2018). *Patologias em sistemas prediais hidráulico-sanitários*. Editora Blucher, 3ª edição revista. São Paulo - SP.
- Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. Disponível em: <https://www.confed.org.br/> Acesso em: Março de 2021.
- Conto, V.; Oliveira, M. L.; Ruppenthal, J. E. (2017). Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, [S.l.], v. 12, n. 4, p. 100, nov. DOI: [10.15675/gepros.v12i4.1749](https://doi.org/10.15675/gepros.v12i4.1749).
- Dresch, A.; Lacerda, D. P.; Antunes Júnior, J. A. V. (2015). *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman.
- Habitissimo. Disponível em: <https://www.habitissimo.com.br/> Acesso em: Março de 2021.
- Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. (2012). *Norma de inspeção predial nacional*. São Paulo.
- Leal, C. M. S. et al. (2008). *Diagnóstico da manutenção preventiva das instalações prediais de água fria do CEFET-PB, Unidade João Pessoa*. PRINCIPIA, nº 16, João Pessoa.
- Leroy Merlin. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/> Acesso em: Março de 2021.
- Macêdo, A. T.; Martins, M. F. (2015). A sustentabilidade urbana sob a ótica da construção civil: um estudo nas empresas construtoras de Campina Grande-PB. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 4, n. 1., pp. 139-157. Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil.
- Maiorino, A. V.; Bertoll, S. R. (2017). Características arquitetônicas e o decaimento sonoro de salas acopladas: uma revisão da literatura. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 8, n. 3, p. 194-204.
- Marinho, M. J. P. S. (2011). *Reabilitação predial em Portugal e no Brasil*. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- Martins, G. (2017). *A manutenção preventiva das edificações: o olhar dos gestores*. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Miranda, Z. L. B. (2019). *Estimativa de redução de consumo de água proporcionado por aparelhos economizadores em comparação com aparelhos convencionais nos blocos 14, 15, 16 e 17 do IFTO*

- *Campus Palmas*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Palmas.

Nazário, D.; Zancan, E. C. (2011). *Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma*: inspeção dos sete postos de saúde. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

Oliveira, M. R.; Oliveira, T. N.; Araújo, S. C. (2019). Patologias nas edificações, seu diagnóstico, e suas causas. In: IV Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar. *Anais....*

Paz, L.; Costa, L.; Paula, M.; Almeida, W.; Fernandes, F. (2016). Patologias causadas pelo levantamento de umidade em um prédio em Palms - TO town. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 20 (1), 174-180. DOI: [10.5902/2236117019063](https://doi.org/10.5902/2236117019063)

Pinheiro, C. N. P.; Barbosa, A. R.; Reis, V. D.; Sales, L. H. F. (2018). Análise de Manifestações Patológicas em um Casarão Histórico Localizado na Cidade de Belém-PA. In: Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 2018, Rio de Janeiro. *Anais....*

Pires, J. R. (2013). *Patologias na construção dos edifícios*. Caso de estudo, edifício da FICASE na Cidade da Praia. 2013. 2285. Tese (Licenciatura) – Faculdade de Arquitectura. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, Palmarejo Grande, Cidade da Praia.

Serviço de Abastecimento de Água de Sato/SP. Disponível em: <https://saaesalto.sp.gov.br/> Acesso em: Março de 2021.

Santos, F. P.; Lage, E. G. S. (2020). Patologias dos sistemas hidráulicos e sanitários da Escola Dom Domingos Carrerot. *Engineering Sciences*, v.8, n.1, p.17-26. DOI: [10.6008/CBPC2318-3055.2020.001.0003](https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.001.0003)

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – *Cidades Resilientes e Sustentáveis*. 2019. 60f. Cuiabá, MT. Disponível em: <http://sustentabilidade.sebrae.com.br/> Acesso em: Janeiro/2021

Silva, V. M. F.; Góes, B. P. (2019). Uma Abordagem sobre as Perícias de Engenharia na Manutenção Preventiva das Edificações. *Revista Científica Semana Acadêmica*. v.1. DOI: [10.35265/2236-6717-semanaacademica-v1n178-6](https://doi.org/10.35265/2236-6717-semanaacademica-v1n178-6).

Soares, R. R. (2017). A sustentabilidade aplicada na elaboração de centros de distribuição no Brasil. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 6, n. 3, pp. 1-14. Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil.

Teixeira, P. C. *et al.* (2011). A influência das variáveis microclimáticas na decisão pelo uso da bicicleta em centros urbanos: uma revisão da literatura. *REEC*, nº 2 34-50. ISSN: 2179-0612.

Tugoz, J. E.; Bertolini, G. R. F.; Brandalise, L. T. (2017). Captação e aproveitamento da água das chuvas: o caminho para uma escola sustentável. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 6, n. 1, pp. 26- 39. Universidade Nove de Julho, São Paulo, Brasil.

Vieira, P. C. C. (2007). *Patologias em instalações hidro-sanitárias de edifícios residenciais na zona centro-sul de Manaus (AM): Diagnóstico e Terapia*. 122 f. Dissertação (Engenharia de Processos) - Universidade Federal do Pará, Belém.

Inspeção predial em edificações de Capão da Canoa – Elaboração de laudo técnico de inspeção predial (LTIP)

D. S. Pinto.¹, G. C. Menegussi^{2*}

*Autor de Contato: giovanna_menegussi@hotmail.com

¹ Pós-graduando em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil.

² Graduanda em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil.

RESUMO

O concreto armado é um dos materiais de maior empregabilidade na construção civil, dada sua facilidade de moldagem, baixo custo, bom desempenho mecânico, entre outros fatores. Porém, quando se encontra em localidades próximas da orla marinha, pode apresentar corrosão nas armaduras, visto que, nesses locais, normalmente há alta concentração de sais e umidade, que servem de gatilhos para esse fenômeno. Destarte, tem-se a inspeção dessas estruturas como de suma importância para que se efetue as manutenções necessárias e, se for o caso, até mesmo reforços. A falta da referida manutenção ou a sua má execução pode culminar no colapso de edificações em regiões litorâneas, como do edifício Andréa – na cidade de Fortaleza, CE – e, no Rio Grande do Sul, o edifício Santa Fé, localizado na Beira-Mar de Capão da Canoa. Após esse último episódio, Capão da Canoa conta com a lei municipal de nº 2.678, de 24 de dezembro de 2009, que estabelece a obrigatoriedade de inspeção em todas edificações verticais do município. Assim sendo, tendo em vista esse cenário, esse trabalho objetivou a Inspeção em edificações de Capão da Canoa, identificando danos patológicos em edificações de região litorânea, buscando suas origens e intervenções cabíveis.

Palavras chave: inspeção; manifestações patológicas; manutenção.

ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the most used materials in civil construction, due to the facility of molding, low cost, good mechanical performance, among other factors. However, when it is located

in places close to the sea, it may show corrosion in the armor, since in these places there is usually a high concentration of salts and moisture, which serve as triggers for this phenomenon. Thus, the inspection of these structures is of paramount importance in order to carry out the necessary maintenance and, if necessary, even reinforcements. The lack of such maintenance or its poor execution can culminate in the collapse of buildings in coastal regions, such as the Andréa building – in the city of Fortaleza, CE – and, in Rio Grande do Sul, the Santa Fé building, located in sea shore of Capão da Canoa. After this last episode, Capão da Canoa has the municipal law No. 2,678, of December 24, 2009, which establishes the mandatory inspection of all vertical buildings in the municipality. Therefore, in view of this scenario, this work aimed at the Inspection of buildings in Capão da Canoa, identifying pathological damages in buildings in the coastal region, seeking their origins and appropriate interventions.

Keywords: inspection; pathological manifestations; maintenance.

RESUMEN

El hormigón armado es uno de los materiales más empleables en la construcción civil, dada su facilidad de moldeado, bajo costo, buen desempeño mecánico, entre otros factores. Sin embargo, cuando se ubica en lugares cercanos a la orilla del mar, puede presentar corrosión en el blindaje, ya que en estos lugares suele haber una alta concentración de sales y humedad, que sirven como detonantes de este fenómeno. Por tanto, la inspección de estas estructuras es de suma importancia para poder realizar el mantenimiento necesario y, en su caso, incluso los refuerzos. La falta de dicho mantenimiento o su mala ejecución puede culminar en el derrumbe de edificios en regiones costeras, como el edificio Andréa – en la ciudad de Fortaleza, CE – y, en Rio Grande do Sul, el edificio Santa Fé, ubicado en la orilla del mar de Capão da Canoa. Después de este último episodio, Capão da Canoa cuenta con la ley municipal N° 2.678, del 24 de diciembre de 2009, que establece la inspección obligatoria de todos los edificios verticales del municipio. Por lo tanto, ante este escenario, este trabajo tuvo como objetivo la Inspección de edificios en Capão da Canoa, identificando daños patológicos en edificios en la región costera, buscando sus orígenes e intervenciones adecuadas.

Palabras clave: inspección; manifestaciones patológicas; mantenimiento.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado mundialmente e pode ser encontrado nos mais diversos tipos de obra, desde casas de alvenaria até nos edifícios mais altos do planeta. Anualmente, estima-se que 11 bilhões de toneladas de concreto são utilizadas no mundo, o que representa um consumo de 1,9 toneladas por pessoa ao ano, de acordo com a *Federación Iberoamericana de Hormigón Presmesclado* (FIHP), quantitativo menor, apenas, do que o uso de água. Em termos de Brasil, em 2009, o consumo girou em torno de 30 milhões de metros cúbicos por ano (Pedroso, 2009). Um dado mais recente indica a produção de 12 bilhões de metros cúbicos anualmente (Sangadji, 2017).

Fatores como umidade, temperatura, concentração de agentes nocivos, pressão atmosférica e umidade influenciam na classe de agressividade do ambiente, especificação apresentada pela NBR 6118 – *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento* da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2014), que corresponde à classificação do meio em função da hostilidade que este impõe às estruturas. Conforme a referida norma, construções localizadas em área marinha estão inseridas em zona de agressividade forte (Pacheco 2016), que apresenta alto risco de deterioração às edificações.

Cánovas (1988) expõe que quando uma estrutura localiza-se próxima ao mar, devido à grande concentração de sais e umidade relativa, que normalmente é alta, o ar penetra pelos vazios do concreto, danificando-o. O autor ainda comenta que, em algumas ocasiões, esse ambiente deletério pode atingir distâncias de 5 km, dado que, consoante Alves (2007), Mehta e Monteiro (2014), Ribeiro *et al.* (2018), o vento tem potencial de transportar as partículas salinas por grandes distâncias. Helene (1986) complementa que a intensa agressividade imposta pelo meio marinho deve-se à presença de substâncias como sulfatos, cloreto de sódio e de magnésio, que contribuem para a corrosão das armaduras e degradação do concreto.

Considerando a abordagem apresentada, em virtude da grande utilização do concreto na região litorânea do Rio Grande do Sul – assim como em todo o Brasil – e em virtude da forte agressividade que esse meio apresenta às estruturas, ressalta-se a importância das rotinas de inspeção nas edificações. De acordo com Goebel (2018), é relevante a adoção de planos de inspeção, manutenção e análise das construções, de forma que, se necessário, sejam elaboradas propostas para conservar ou até mesmo aumentar a vida útil das estruturas.

Em Capão da Canoa, município do Rio Grande do Sul, no ano de 2009, um edifício de quatro pavimentos entrou em colapso enquanto passava por reforma. Apurou-se que a obra estava sendo realizada sem acompanhamento técnico, de modo que a edificação não havia sido inspecionada tecnicamente. Recentemente, um caso semelhante ocorreu na cidade de Fortaleza, no estado do Ceará, e, nessa situação, assim como no caso gaúcho, a edificação se localizava em região litorânea e desabou durante a reforma.

Após o ocorrido, o então prefeito da cidade de Capão da Canoa, Amauri Maganus Germano, sancionou a lei municipal nº 2.678, de 24 de dezembro de 2009, que estabelece a obrigatoriedade de realização de vistorias periódicas em edificações construídas no município. Na referida lei, estipulou-se que toda edificação vertical, após seis anos da sua execução, deve ser inspecionada e, caso seja necessário, as devidas manutenções devem ser realizadas.

Em reportagem ao portal clicrbs, no dia 20 de julho de 2009, o empreiteiro responsável pela reforma da edificação retratou: "*Quando peguei o serviço para fazer, notei que parte do concreto se esfarelava ao toque, aí vi que era grave e sugeri chamar um engenheiro*". Assim, pode-se concluir que a edificação não passou nem por inspeção, nem por manutenção preventiva.

O Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE) apresenta a Norma de Inspeção Predial Nacional, que define a inspeção predial como um levantamento, realizado individual ou em conjunto, das condições técnicas, da utilização e da manutenção da construção.

Considerando o cenário apresentado, esse estudo buscou a análise de edificações localizadas em zona de agressividade forte, analisando seus danos patológicos, bem como sua ocorrência e gravidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Agressividade

A norma de concreto armado NBR 6118 (ABNT, 2014) identifica as classes de agressividade do meio, de acordo com o ambiente em que estão inseridas, e que devem ser consideradas na fase de projeto. A norma ainda permite um maior rigor ao projetista estrutural, que pode adotar uma classe mais agressiva, desde que tenha o devido conhecimento dos dados ambientais do local em que a estrutura será construída. As classes apresentadas pela norma estão expostas na Tabela 1.

Tabela 1. Tabela de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana e Marinha	Pequeno
III	Forte	Industrial e Industrial	Grande
IV	Muito Forte	Respingos de maré	Elevado

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118 (2014, p. 17).

Além dessas classes de agressividade impostas pela norma técnica, estudos estão sendo realizados a fim de classificar os locais em que as estruturas de concreto estão inseridas, de acordo com as peculiaridades de cada zona, como a concentração da névoa salina, o teor de umidade e a poluição do ar (Albuquerque; Otoch, 2005; Medeiros *et al.*, 2013; Vilasboas; Machado 2010 apud Pacheco 2016).

Lima (2011) disserta que os agentes químicos, físicos e biológicos presentes na atmosfera marinha são responsáveis por uma significativa redução no desempenho e, conseqüentemente, na vida útil do concreto. A autora ainda explica que, nesses ambientes, mesmo que as estruturas não estejam em contato direto com a água do mar, ocorre um depósito considerável de sais em suas superfícies, em virtude da ação do vento. Em conformidade, Mehta e Monteiro (2014) expõe que a deterioração do concreto em meio marinho deve-se a ações concomitantes de processos físicos e químicos que o tornam, também, mais passível a outros tipos de ataques agressivos.

2.2 Deterioração

Dentre os fatores de envelhecimento patológico do concreto, a NBR 6118 (ABNT, 2014) menciona o processo de lixiviação, a expansão por sulfatos e a reação álcali-agregado. Já para a deterioração das armaduras, a norma regulamentadora traz a despassivação por carbonatação e pela ação de cloretos e, no tocante à agressividade ambiental, o desgaste do concreto relaciona-se às ações físicas e químicas atuantes na estrutura. Em adição às substâncias agressivas como gás carbônico, cloretos e sulfatos, Rebmann (2011) aponta a água como um dos principais agentes de degradação do concreto, que pode atuar como solvente e como componente de reações químicas, além de contribuir no transporte de elementos nocivos.

Outro material de grande relevância no tangente à deterioração das estruturas é a alvenaria que, assim como o concreto, está presente em grande parte das construções. Silva (2002) aponta quatro causas de manifestações patológicas em alvenarias, são elas: humanas, ações naturais, desastres naturais e desastres de causas humanas. Outrossim, o autor coloca que, partindo de uma perspectiva global, as manifestações patológicas de uma construção justificam-se por razões conjunturais ou políticas, podendo ser chamadas de "patologias precoces", isto é, aquelas manifestações patológicas que aparecem sem explicação, em pouco tempo depois da conclusão da obra.

2.3 Manutenção

Cánovas (1988) apresenta um esquema, representado na Figura 1, que indica como deve ser realizado o processo patológico – desde a detecção da enfermidade até o seu tratamento – a fim de, possivelmente, solucionar a manifestação patológica e retomar a capacidade de resistência da estrutura.

Figura 1. Esquema sobre o caminho a ser seguido em todo processo patológico.



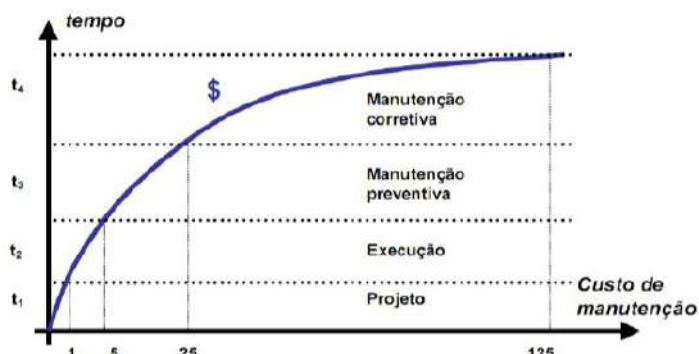
Fonte: Adaptação de Cánovas (1988, p. 12).

Todo material possui uma certa vida útil, e, assim, o desgaste é uma de suas características intrínsecas. Com o avanço constante da tecnologia, entretanto, e o desenvolvimento de novos materiais, torna-se possível resolver anomalias causadas pelo tempo, além de problemas oriundos desde falhas de projeto e execução, até a desqualificação da mão de obra (Goebel, 2018).

A norma de Desempenho das Edificações, NBR 15575 – *Edificações habitacionais – Desempenho* (ABNT, 2013), destaca que as rotinas de manutenção têm potencial de ampliar a vida útil de uma construção, aumentando consideravelmente o seu desempenho ao longo do tempo.

Quanto mais cedo for realizada a manutenção, mais eficientes serão as correções das manifestações patológicas e menor será o custo envolvido. (Helene; 1993). O mesmo pode ser observado na Lei de Sitter, evidenciado na Figura 2, que expõe que os gastos com manutenção são diretamente proporcionais ao tempo em que dado reparo é realizado, podendo ser até 125 vezes mais oneroso do que quando realizado na fase de projeto.

Figura 2. Lei de Sitter.



Fonte: Sitter apud (Tutikian e Pacheco 2019).

2.4 Inspeção

A Norma de Inspeção Predial Nacional (IBAPE) classifica a inspeção em três níveis, de acordo com a sua complexidade, são eles: nível 1, realizada em construções de pouca complexidade técnica de operação e manutenção dos elementos e sistemas construtivos, normalmente utilizada em edificações com planos de manutenção simples; nível 2, inspeção executada em construções de média dificuldade técnica de manutenção e de operação dos componentes e sistemas construtivos, geralmente aplicada em edificações de vários pavimentos; nível 3 inspeção realizada em

construções com alta dificuldade técnica de manutenção e operação dos elementos e sistemas construtivos, de padrões superiores e sofisticados, geralmente utilizada em edificações de vários pavimentos ou com sistemas construtivos com automação.

A NBR 16747 – *Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento* (ABNT, 2020) revela que a inspeção predial deve abranger os quesitos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Já para Gomide (2006), a inspeção é dada como uma visão sistêmica tridimensional que deve ser utilizada no momento de realização de um procedimento dessa natureza em alguma edificação, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3. Sistema tridimensional.



Fonte: Gomide (2006).

Gomide, Neto e Gullo (2009) apresentam como ferramenta para hierarquização, com uso de prognóstico para uma inspeção, a chamada matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), representada na Tabela 2.

Tabela 2. Matriz GUT.

GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
MÁXIMO	10	Risco à vida dos usuários, colapso de edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	8	Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução no curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	6	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução no médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	3	Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução no longo prazo	Prognóstico para adiante
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Fonte: Adaptação Gomide, Neto e Gullo (2009) apud (Tutikian e Pacheco 2019).

2.5 Fachada

A NBR 13755 – *Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção e aceitação - Procedimento* (ABNT, 2017) estabelece alguns requisitos relativos ao uso dos materiais, como componentes para as juntas de movimentação, pastilhas, argamassas e aditivos, considerações de projetos de fachadas, execução dos revestimentos cerâmicos e inspeção. Dentre os aspectos abordados pela norma, pode-se citar: o planejamento dos trabalhos, respeitando, por exemplo, o tempo mínimo de 14 dias da cura do emboço para assentamento das placas cerâmicas; a temperatura ambiente no momento da

execução, que deve ser entre + 5°C e + 40° e temperatura da base do revestimento entre + 5°C e + 27°C; o planejamento das juntas de assentamento, de movimentação e de dessolidarização entre outros.

Em um estudo realizado em três obras na cidade de Balneário Camboriú, em Santa Catarina, Luz (2004) encontrou, como manifestações patológicas na fachada, o destacamento das pastilhas, fissuras e manchas nas placas cerâmicas, que se atribuem às falhas de projeto executivo da construção. O autor associou os problemas encontrados às variações na temperatura da região – que favorecem a dilatação e retração do sistema de revestimento cerâmico da fachada – e à presença de sais devido à proximidade das edificações com o mar, o que provavelmente acelerou a degradação dos rejuntas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O intuito deste trabalho é analisar as manifestações patológicas de dois edifícios localizados na beira mar de Capão da Canoa, RS, através de levantamento fotográfico realizado em inspeções nas duas edificações, e verificar a necessidade de reparos ou reforços. Após o levantamento, foi aplicada a matriz GUT buscando uma hierarquização dos danos patológicos.

3.1 Objeto de estudo

O Condomínio Edifício Alphaville está localizado na Rua Moema, bairro Centro, na beira mar de Capão da Canoa – RS. Foi construído no ano de 2004, possui 1.696,07 m², divididos em 11 pavimentos, sendo 02 de garagem com 12 box, pavimento tipo com 01 apartamento cada, totalizando 09 unidades. A edificação possui sistema construtivo viga-pilar de concreto armado com blocos de vedação em cerâmica, fachadas revestidas com pastilhas cerâmicas e cobertura em telha fibrocimento. A Figura 4 apresenta o Condomínio Edifício Alphaville.

O segundo prédio em estudo é o Condomínio Edifício The Palace, construído em 2011, situado na mesma quadra do Edifício Alphaville, porém na Rua Tiarajú, que se localiza próxima ao mar. A edificação possui 4.395,64 m², divididos em 12 pavimentos, com os dois primeiros pavimentos abrigando garagens com 37 box e o restante apartamentos, com 02 unidades em cada andar, e um apartamento por pavimento no décimo primeiro e segundo, totalizando 18 unidades autônomas, e casa de máquinas no alto da edificação. O sistema construtivo utilizado é de viga-pilar de concreto armado com blocos de vedação cerâmicos, fachadas com revestimento cerâmico e cobertura com telhas fibrocimento. A Figura 5 apresenta o Condomínio Edifício The Palace e a Figura 6 ilustra a posição dos dois edifícios em relação ao mar.

Figura 4. Edifício Alphaville.



Fonte: Autores.

Figura 5. Condomínio edificio The Palace.



Fonte: Autores.

Figura 6. Localização dos edifícios com relação ao mar.



Fonte: Google.

3.2 Técnica utilizada

A técnica utilizada para levantamento de dados baseou-se na inspeção no local, com vistoria em todos os espaços – áreas de uso comuns (garagem, corredores, hall de acesso e terraço), áreas privativas (apartamentos) e áreas de serviço (casa de máquinas, reservatórios e telhado). Durante a inspeção, foi realizado o registro fotográfico das manifestações patológicas encontradas e que foram utilizadas na realização dos estudos deste trabalho.

3.3 Vistorias

As vistorias foram executadas em datas distintas, sendo que em cada dia foi visitado uma edificação. O Edifício The Palace foi vistoriado no dia 05 de março de 2020, pela manhã, em dia ensolarado com temperatura aproximada de 23°C. O Edifício Alphaville foi vistoriado no dia 07 de setembro de 2020, também no turno da manhã, com situações climáticas semelhantes às encontradas na vistoria do Edifício The Palace. Ambas as inspeções foram acompanhadas pelos zeladores dos prédios e por alguns condôminos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 The Palace

A seguir estão listados os danos patológicos encontrados na edificação, de acordo com seu local de ocorrência.

a) Danos no revestimento

Identificou-se danos que tange à fixação de peças cerâmicas no revestimento da fachada, conforme apresenta a Figura 7a. Ainda em relação ao revestimento, percebeu-se a presença de umidade ascensional, ilustrado na Figura 7b. Os problemas de fixação das peças cerâmicas estão ocorrendo na fachada sul, em toda sua extensão. Como correção, aponta-se a retirada desses revestimentos e para que seja realizada a correta execução dos mesmos. Referente à umidade ascensional descrita na Figura 7b, foi percebida no terceiro pavimento, próximo ao terraço.

Figura 7. (a) Danos de fixação de peças cerâmicas; (b) Danos no revestimento causados pela umidade ascensional.



Fonte: Autores.

b) Danos na estrutura

Dentre os danos verificados na estrutura, cabe destacar a corrosão das armaduras no interior dos elementos, exibido na Figura 8a localiza na rampa de subida do estacionamento, a corrosão nas armaduras da laje da garagem próxima à parede – Figura 8b – e marcas de corrosão nas armaduras das vigas no segundo pavimento de garagem no centro da viga próximo ao apoio, apresentando sinais de infiltração, conforme mostra a Figura 8c. Ademais, notou-se fissuras em 45° na região das aberturas do apartamento do zelador, sendo um problema isolado, exemplificado na Figura 8d.

Figura 8. (a) Corrosão das armaduras na rampa do estacionamento; (b) Corrosão na laje; (c) Sinais de umidade e corrosão na viga; (d) Fissura no revestimento cerâmico próximo à abertura.



Fonte: Autores.

c) Presença de fungos

Diagnosticou-se a presença de fungos na região da central de GLP, conforme a Figura 9a, bem como um pilar com a pintura danificada, no mesmo local (Figura 10b), localizado no pavimento térreo. A coloração amarelada identificada é alusiva à presença de microrganismos, indicando a presença de umidade, condição indispensável para a formação e desenvolvimento de fungos.

Figura 9. (a) Formação de fungos; (b) Pintura do pilar danificada.



Fonte: Autores.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos danos patológicos apresentados na edificação, assim como suas gravidades, urgências e tendências.

Tabela 3. Resumo dos danos patológicos.

ITEM	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	OBSERVAÇÃO
Falha na aderência das peças cerâmicas	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução no médio prazo	Queda das peças cerâmicas e penetração de umidade no local, podendo causar problemas no restante do revestimento cerâmico e argamassado	Deve-se refazer toda a fachada com todos os itens necessários
Umidade ascensional	Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução no longo prazo	Deterioração do revestimento e falta de aderência do mesmo, causando deslocamento	Localizar a origem do problema, o qual pode estar sendo causado por entupimento de ralo, tendo em vista o local de ocorrência da manifestação patológica, o terraço, e refazer o revestimento e a pintura
Corrosão das armaduras	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução no médio prazo	Aumento da corrosão das armaduras, deslocamento do concreto, podendo levar ao colapso dos elementos	Identificar a origem da corrosão, que pode estar sendo causada por infiltração, então deve-se estancar a mesma e assim tratar as armaduras e, se necessário, refazer a concretagem do elemento com novo elemento

Fissuração na região das aberturas	Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução no longo prazo	Aumento da fissura, problemas no funcionamento das esquadrias, deslocamento do revestimento cerâmico	Deve-se monitorar o tamanho da fissura e, se necessário, realizar reparo
Presença de fungos	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução no longo prazo	Deterioração de maior parte do revestimento, podendo ocasionar seu colapso	Deve-se realizar a lavagem do local e refazer a pintura
Dano na pintura do pilar	Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução no longo prazo	Presença de umidade e queda do revestimento argamassado	Localizar a presença de umidade no local, verificando se há acúmulo de água que possa estar danificando a pintura, e refazer a mesma

4.2 Alphaville

A seguir, estão listados os danos patológicos encontrados na edificação, de acordo com seu local de ocorrência.

a) Danos no revestimento

Em relação aos revestimentos, foram diagnosticados danos patológicos nas proximidades das aberturas, conforme mostra Figura 10a, e nocividades oriundas da umidade ascensional na região da sacada, ilustrado na Figura 10b, ambas localizadas no sétimo pavimento. Trata-se de um problema isolado de apenas um apartamento no referido pavimento. Como a fachada está em bom estado neste local, acredita-se que o problema exposto na Figura 10a seja ocasionado pela má execução da vedação entre a abertura e a alvenaria. Alusivo à Figura 10b, a manifestação patológica apresentada pode ter como causa infiltrações na interface da laje com a alvenaria.

Figura 10. (a) Dano no revestimento próximo à abertura; (b) Problema por umidade ascensional no revestimento da sacada.



Fonte: Autores.

b) Danos na cobertura

No telhado, identificou-se problemas na impermeabilização e na calha (Figura 11a), além de proliferação de fungos próximo à edificação vizinha, conforme a Figura 11b.

Figura 11. (a) Falha na calha e impermeabilização; (b) Formação de fungos.



Fonte: Autores.

c) Corrosão longitudinal

A Figura 12 expõe uma fissura no revestimento, que pode estar associada à formação de corrosão na armadura longitudinal na cobertura da edificação.

Figura 12. Fissura no revestimento.



Fonte: Autores.

d) Umidade ascensional

Em um apartamento, localizado no sexto pavimento, notou-se a presença de umidade ascensional em paredes internas, como exemplifica as Figuras 13 (a) e (b). Essas manifestações patológicas podem ser causadas por infiltrações na interface da laje com a alvenaria, pois os locais não estão próximos nem de shafts hidráulicos, nem de lavabos e banheiros. Além disso, trata-se de aspectos isolados apenas no referido andar.

Figura 13. (a) Pintura danificada; (b) Dano no revestimento.



Fonte: Autores.

A Tabela 4 apresenta um resumo dos danos patológicos detectados na edificação, informando suas gravidades, urgências e tendências.

Tabela 4. Resumo dos danos patológicos.

ITEM	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	OBSERVAÇÃO
Umidade ascensional	Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução no longo prazo	Deterioração e falta de aderência do revestimento, causando deslocamento	Localizar a origem do problema, investigando a presença de umidade no local, que pode estar danificando o revestimento e refazer o mesmo e a pintura
Fissuração na região das aberturas	Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução no longo prazo	Aumento da fissura, problemas no funcionamento das esquadrias, queda do revestimento cerâmico	Deve-se monitorar o tamanho da fissura e, se necessário, realizar o reparo
Presença de fungos	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução no longo prazo	Deterioração de maior parte do revestimento, ocasionando seu colapso	Deve-se realizar a lavagem do local e refazer a pintura
Calha e impermeabilização danificada	Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução no longo prazo	Entupimento da calha, transbordo e possível infiltração na laje de cobertura	Localizar a presença de umidade no local e refazer a impermeabilização
Corrosão das armaduras	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução no médio prazo	Aumento da corrosão das armaduras, deslocamento do concreto, podendo acarretar no colapso dos elementos	Identificar e tratar a origem da corrosão e, se necessário, concretar novamente o elemento com nova armadura

4.3 Análise dos resultados

Realizada a análise, percebe-se que ambas edificações possuem avarias que se caracterizam por evolução de médio e de longo prazo.

Na edificação The Palace salienta-se para o risco de deslocamento e queda de peças cerâmicas, podendo colocar em risco, além dos próprios usuários da construção, os indivíduos que se deslocam em seu entorno. Outro dano notável e que demanda certa urgência de intervenção é a corrosão das armaduras, visto que, por localizar-se próximo à orla marinha, há elevado risco de evolução desse dano em caráter progressivo, com aumento da velocidade do processo corrosivo, podendo culminar na perda considerável de seção transversal das armaduras, com potencial de abalar a capacidade estrutural da edificação. Os demais malefícios diagnosticados também causam impactos na edificação, contudo em menor intensidade e à longo prazo, dentre os quais pode-se citar o surgimento de fungos emboloradores e a umidade ascensional.

Em relação à edificação Alphaville, nota-se, mais uma vez, a agressividade do local imposta pela presença de cloretos, evidenciada na corrosão das armaduras, cuja correção deve ser uma prioridade na intervenção do edifício. Percebe-se, assim como no The Palace, a problemática da umidade ascensional e a presença de fungos, degenerações passíveis de ocorrência e características da elevada umidade, circunstância identificada em ambas construções investigadas.

Constata-se, entre as semelhanças encontradas em ambas as edificações, a falta de manutenção preventiva e de rotinas de inspeções, visto que determinadas manifestações patológicas observadas – como umidade ascensional e presença de fungos – poderiam ser sanadas e prevenidas previamente, se corretamente realizadas as práticas de conservação. No edifício Alphaville, também, nota-se a falta de limpeza na calha da cobertura, ressaltando a falta de manutenção na edificação.

Os malefícios encontrados nas duas construções assemelham-se e podem ser justificados em função das suas localizações, uma vez que ambas possuem vicinalidade com o mar. Outrossim, os sistemas construtivos são análogos, o que reforça a ideia de semelhança entre as manifestações patológicas encontradas.

5. CONCLUSÃO

Essa pesquisa realizada em edifícios situados em município litorâneo destaca a importância da execução correta das rotinas de inspeção e manutenção nas edificações, visto que esses hábitos, além de solucionar, também contribuem para a profilaxia de diversas manifestações patológicas que podem se desenvolver ao longo do tempo nas construções. Evidencia-se, ainda, o potencial efetivamente agressivo que o meio marinho exerce sobre as estruturas.

Em relação aos danos patológicos das edificações analisadas, pode-se afirmar que, em ambas, as rotinas de inspeção e manutenção preventiva foram falhas ou até inexistentes, pois, se executadas corretamente, poderiam ter solucionado ou evitado o desenvolvimento das manifestações patológicas identificadas. Como aspectos que careçam de intervenção imediata, pode-se destacar a corrosão das armaduras, que podem causar danos estruturais em ambos os prédios, o descolamento das peças cerâmicas das fachadas, que apresentam sérios riscos aos usuários e indivíduos que transitam nos arredores, e a presença de umidade ascensional nos revestimentos, que pode levar ao seu deslocamento e queda.

Em virtude dos malefícios encontrados serem, de certa forma, passíveis de ocorrência tendo em vista a localização e idade das construções, conclui-se que os resultados obtidos após vistoria e análise das edificações está dentro do esperado.

6. REFERÊNCIAS

Alves, Amara Midiã Correia. (2007), “*Contribuição à análise da perspectiva de vida útil de estruturas em concreto face ao teor de cloreto registrado em Maceó-AL*”. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15.575-1: Edificações Habitacionais: desempenho, parte 1, requisitos gerais*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). *NBR 13.755: Revestimento cerâmicos de fachadas de paredes externas com utilização de argamassa colante*. Rio de Janeiro.

Cánovas, Manuel Fernández. (1988), “*Patologia e terapia do concreto armado*”. São Paulo: Pini.

Goebel, Claudio da Silva de. (2018), “*Levantamento das Principais Manifestações Patológicas nos Prédios das Escolas Municipais da Cidade de Pelotas*”, Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, p. 121.

- Gomide, T. L. (2016), “*Engenharia e Diagnóstico na Reabilitação de Edificações*”. 115 slides.
- Gomide, T. L.; Neto, J. C. P. F.; Gullo, M. A. (2009), “*Normas técnicas para engenharia diagnósticas em edificações*”. 1. ed. São Paulo: Pini.
- Helene, P. (1993), “*Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado*”. São Paulo.
- Helene, P. (1986), “*Corrosão em Armaduras para Concreto Armado*”. São Paulo: PINI.
- Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. (2012). *IBAPE: Norma de Inspeção Predial Nacional*. São Paulo.
- Lima, Maryangela Geimba de. (2011), Ações do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (ed.). “*Concreto: Ciência e Tecnologia*”. 1. ed. São Paulo: IBRACON. v. 1. cap. 22. p. 733-772.
- Luz, Marcos de Almeida (2004), “*Manifestações Patológicas em Revestimentos Cerâmicos de Fachada em Três Estudos de Caso na Cidade de Balneário Camboriú*”, Dissertação (Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura) – Área de concentração: Tecnologia do Ambiente Construído - Sistemas Construtivos, Florianópolis, Santa Catarina. p. 172.
- Mehta, P. Kumar; Monteiro, Paulo J. M. (2014), “*Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*”. 2. ed. São Paulo: PINI.
- Pacheco, F. (2016), “*Investigação da relação entre os parâmetros de projeto das estruturas de concreto armado visando à durabilidade*”, Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul. p. 185.
- Pacheco, F.; Tutikian, B. (2019). “*Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado*”. Notas de aula – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul. p. 259.
- Pedroso, Fábio Luiz. (2009), “*Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem*”. Revista Concreto e Construções. IBRACON, n. 53, p. 14-19.
- Rebmann, Markus Samuel. (2011), “*Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Ribeiro, Daniel Vêras. et al. (2018), “*Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção*”. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Sangadji, Senot. (2017), “*Porus Network ConcretE: a bio-inspired building component to make concrete structures self-healing*”. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Institut Teknologi Bandung, Indonésia.
- Silva, J. Mendes da. (2002), “*Alvenarias não estruturais patológicas e estratégicas de reabilitação*”. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Universidade de Coimbra, Porto, Portugal.

Evolução de manifestações patológicas em edificações escolares após vinte anos de exposição

Milton Paulino. Costa Junior^{1*}, Lucas Friedrich. Behrend², Geilma Lima. Vieira³

*Autor de Contacto: milton.paulino@gmail.com

¹ Departamento de engenharia civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Universidad o Institución, Vitória-ES, Brasil

² Departamento de engenharia civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Universidad o Institución, Vitória-ES, Brasil

³ Departamento de engenharia civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Universidad o Institución, Vitória-ES, Brasil

RESUMO

As manifestações patológicas em edificações de instituições de ensino geram, além do desconforto visual, a possibilidade de prejuízos ligados à realização das atividades acadêmicas e à segurança de seus usuários. O objetivo do trabalho é identificar e analisar como essas manifestações patológicas evoluíram após 20 anos, desde o primeiro levantamento, realizado em 2001. Para o levantamento adotou-se a metodologia da norma de inspeção predial do Ibape. A inspeção predial seguindo essa norma tem como objetivo a avaliação das condições técnicas, de uso, operação, manutenção e funcionalidade de uma edificação. Observou-se nos resultados que em alguns casos, houve o aumento do estado de degradação nos materiais presentes em alguns sistemas construtivos, com variações principalmente na quantidade de manchas de umidade e bolor verificadas.

Palabras clave: manifestações patológicas, construção civil, instituição de ensino.

Evolución de las manifestaciones patológicas en los edificios escolares después de veinte años de exposición

RESUMEN

Las manifestaciones patológicas en los edificios de las instituciones educativas generan, además del malestar visual, la posibilidad de pérdidas relacionadas con el desempeño de las actividades académicas y la seguridad de sus usuarios. El objetivo del trabajo es identificar y analizar cómo evolucionaron las patologías después de 20 años, desde el primer relevamiento, realizado en 2001. El relevamiento de patologías se realizó utilizando la metodología estándar de inspección de edificios Ibape. La inspección de edificios siguiendo esta norma tiene como objetivo evaluar las condiciones técnicas, el uso, la operación, el mantenimiento y la funcionalidad de un edificio. Se observó en los resultados que en algunos casos se produjo un aumento del estado de degradación de los materiales presentes en algunas patologías, con variaciones principalmente en la cantidad de humedad y manchas de moho comprobadas.

Palabras clave: Patología de la construcción, construcción civil, institución educativa.

Evolution of pathological manifestations in school buildings after twenty years of exposure

ABSTRACT

Pathological manifestations in edifices of educational institutions generate, in addition to visual discomfort, the possibility of losses related to the performance of academic activities and the safety of their users. The objective of the work is to identify and analyze how pathologies evolved after 20 years, since the first survey, carried out in 2001. The survey of pathologies was carried out using the Ibape building inspection standard methodology. Building inspection following this standard aims to assess the technical conditions, use, operation, maintenance and functionality of a building. It was observed in the results that in some cases there was an increase in the state of degradation in the materials present in some pathologies, with variations mainly in the amount of moisture and mold stains verified.

Keywords: Pathology of construction, civil construction, educational institution.

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução dos aspectos econômicos e tecnológicos, o ser humano aumenta o seu poder de transformação da natureza, e é cada vez mais exigente quanto ao seu abrigo. Essas exigências são, principalmente, relativas aos aspectos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade (JESUS et al., 2018).

Algumas dessas moradias e abrigos, em todas as épocas desde os primórdios da civilização, não tem apresentado desempenho satisfatório em relação às exigências dos usuários. O crescimento muito acelerado da construção civil provoca a necessidade de inovações, que contribuem com a aceitação de riscos, além de demandarem maior conhecimento acerca dos materiais e das estruturas. De qualquer maneira, a preocupação com os problemas que geram incômodos nos usuários é muito antiga e, pode-se dizer que, surgiu com o próprio ato de construir (LICHTEINSTEIN, 1985).

A abordagem dessa preocupação de modo sistemático é recente, surgindo com a aplicação na Engenharia Civil do conceito de desempenho, onde o edifício e seus componentes são produtos

cuja finalidade é atender às necessidades dos usuários (segurança, habitabilidade, durabilidade, e sustentabilidade) (SOUZA et al, 1995).

Seja nas edificações ou em obras de infraestrutura, entende-se por manifestações patológicas das construções, a ciência que estuda as causas, os mecanismos de ocorrência, as manifestações e as consequências das falhas na construção civil ou nas situações em que a edificação não apresenta um mínimo exigido pelo usuário.

De modo geral, esses sintomas patológicos não têm sua origem concentrada em fatores isolados, mas sofrem influência de um conjunto de variáveis, classificadas de acordo com o processo de cada material ou sistema, com os sintomas, com a causa que gerou o problema e, ainda, com a etapa do processo produtivo em que ocorrem.

As manifestações patológicas são também responsáveis por uma parcela importante da manutenção, e grande parte das intervenções de manutenção nas edificações poderia ser evitada se houvesse um melhor detalhamento do projeto e a escolha mais apropriada dos materiais e dos componentes da construção (DUNSTON e WILLIAMSON, 1999).

Os projetos de execução da manutenção preventiva são incipientes e tornam-se uma prática usual nas instituições públicas, a chamada “manutenção não-planejada”, na qual se está sempre corrigindo um problema de natureza imprevisível, mas que poderia ter sido evitado se fossem executados procedimentos de prevenção (COSTA JUNIOR, 2001). De acordo com Souza (2000) esse problema atinge um número considerável de instituições públicas no Brasil.

Sob o impacto de uma crise financeira que se abateu sobre o país, o Brasil se encontra num momento de reduzir despesas onde for possível, para que não falem recursos em setores essenciais. Trata-se de uma nova realidade para gestores que ainda não se adequaram à urgência de se tomar todos os cuidados necessários com o dinheiro público (SOUZA FILHO, 2017; BARBOSA FILHO, 2017).

A fase de produção de um edifício no Brasil é razoavelmente bem conhecida. Mas ao se deixar de lado pesquisas voltadas para as fases de uso, operação e manutenção, passa-se a ter uma visão incompleta do processo de construção, acarretando em redução de vida útil dos ambientes construídos. Repetições de falhas, nos projetos futuros de edifícios semelhantes, ocorrem devido à falta de retroalimentação e análise dos fatos ocorridos em ambientes já em uso. Para que esse círculo seja rompido é preciso alimentar esse ciclo com informações da fase de ocupação, tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista dos usuários (ORNSTEIN, 1992).

Em se tratando de edificações escolares, as manifestações patológicas são bastante comuns, uma vez que na maioria das situações tem-se: projetos padronizados, ocorrendo muitas vezes a falta de detalhamentos técnicos, bem como a inexistência de projetos complementares bem definidos (hidráulico, por exemplo); a especificação dos materiais é feita em função do preço; os controles realizados na fase de execução são em grande parte deficientes e/ou inadequados e, em algumas dessas obras, esse controle inexistente. Um outro fator agravante da degradação das edificações escolares é a falta de sensibilização dos usuários com a conservação, gerando falhas na fase de operação (ARAÚJO, 2004; SCHARDONG e PAGNUSSAT, 2011).

A análise de manifestações patológicas em edificações escolares se torna difícil com o passar do tempo, devido à pouca manutenção e ao uso intensivo das escolas, gerando um alto nível de degradação de seus elementos, com o surgimento de anomalias cada vez mais complexas (AZZALIN, 2005).

As manifestações patológicas presentes nos edifícios da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), oriundas em muitos casos da ausência dos devidos cuidados nas fases de produção e uso, trazem prejuízo ao Governo Federal, que muitas vezes deixa de investir em ensino e pesquisa para realizar reparos e reposições de componentes nestas edificações. Não é desnecessário lembrar que os cortes orçamentários restringem os recursos destinados às atividades de manutenção.

2. PROCEDIMIENTO

O estudo de caso envolveu pesquisa bibliográfica e descritiva. Após a revisão da bibliografia e delineamento da metodologia foi realizado o estudo de caso, onde se definiu e selecionou-se os edifícios da UFES, campus Alaor de Queiroz Araújo (campus de Goiabeiras), como universo amostral, com base em critérios descritos nessa metodologia.

Em relação à análise dos dados foram apresentadas as distribuições das edificações avaliadas por idade, construtora, tipo de edifício e centros a que pertencem, sendo essas algumas das variáveis consideradas.

No trabalho desenvolvido por Costa Junior (2001) foi utilizada a metodologia de avaliação pós ocupação (APO), para a observação e o registro das manifestações patológicas existentes nas edificações da UFES.

Os resultados obtidos na pesquisa de Costa Junior (2001), forneceram informações sobre os dados históricos da construção dos edifícios do campus de Goiabeiras, permitindo a caracterização do universo pesquisado. Tais dados dizem respeito às características gerais das edificações no ano de sua construção, ao tipo de edifício, ao centro a que pertencem, à sua área construída e à empresa construtora.

O agrupamento e a escolha dos edifícios selecionados por Costa Junior (2001), para a observação e o registro das manifestações patológicas, basearam-se nos seguintes critérios:

- Representatividade, tentando-se selecionar um ou mais edifícios que representassem cada centro da universidade;
- Características construtivas, como edifícios de concreto aparente, de um, dois ou três pavimentos; de localização dentro do campus da universidade, seleccionando-se edifícios de diferentes localizações, tais como, próximo ao lago, à rua principal, à área de manguezal, entre outros;
- Informações existentes, registros quanto às características gerais: ano de construção, tipo de edificação, centro a que pertencem e as empresas construtoras;
- Quantidade - o campus alvo da pesquisa (Campus Alaor Queiroz Araújo) apresenta 126 edificações, das quais 73 são cabines, guaritas, quadras de esportes, bancos, áreas de lazer, entre outros; e 53 são edifícios de sala de professores, salas de aula, administração, laboratórios e centros de vivência, que foi o grupo de edifícios pré-selecionado para a avaliação. Porém, destes 53 edifícios selecionou-se 40% deles foram selecionados como amostra representativa, resultando nos 21 prédios avaliados nesse trabalho.

O levantamento das patologias nas edificações foi realizado por meio de registro fotográfico, quantificado e categorizado, conforme observado no Quadro 1, segundo a metodologia de Costa Junior (2001).

Quadro 1 - Levantamento das manifestações patológicas encontradas de acordo com o sistema.

Sistema ou subsistema	Sintomatologia patológica detectada
instalações hidrossanitárias e impermeabilização	infiltração, problemas nas louças sanitárias, manchas de umidade e bolor
Vedações horizontais	fissuras e manchas de umidade e bolor
Vedações verticais	fissuras, destacamento do revestimento, zonas estufadas, manchas de umidade e bolor, desprendimento de placa cerâmica, descolamento de revestimento, rejunte e piso, e eflorescência
Esquadrias	esquadrias empenadas, vidros danificados, manchas de umidade e bolor, fissuras, infiltração, corrosão
Estruturas	Fisuras, manchas de umidade e bolor, infiltração, corrosão da armadura, niões de concretagem, eflorescências e fungos

Definidas essas diretrizes, segundo Costa Junior (2001), a pesquisa de campo foi realizada segundo as instruções da norma de inspeção predial nacional do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2012). Esta norma apresenta os conceitos e os critérios para a realização da Inspeção Predial.

De acordo com a metodologia de inspeção descrita na norma de inspeção predial nacional do IBAPE, o objetivo das imagens é identificar as manifestações patológicas encontradas, classificar o objeto da inspeção, determinar a sua localização, assim como a data, a sua descrição técnica, a tipologia e o padrão construtivo, a utilização e a ocupação da edificação, assim como a sua idade.

De modo a se verificar a evolução da degradação das manifestações na Universidade ao longo do tempo (20 anos), desde a pesquisa realizada por Costa Junior (2001)), contou-se com a ajuda de informações obtidas por meio da revisão bibliográfica, consultas aos projetos disponíveis na Superintendência de Infraestrutura (SI) da UFES, além de questionamentos junto à equipe técnica responsável por esse setor.

Os resultados desse levantamento foram comparados com aqueles encontrados por Costa Junior (2001), observando-se as principais mudanças nas manifestações, em geral, função do tempo decorrido.

3. RESULTADOS

4.1 Principais manifestações patológicas encontradas nos edifícios da universidade

Na Figura 1 estão descritas as manifestações patológicas encontradas em estruturas inspecionadas durante o levantamento de campo. Observa-se que 86% dos edifícios avaliados apresentam manchas de umidade e bolor e apenas 14% dos edifícios apresentam eflorescência.

Os dados da Figura 1 foram mensurados por meio da incidência de manifestação patológica (fissuras, infiltração, etc.), em estruturas das edificações pesquisadas. Assim, se uma manifestação patológica foi identificada durante a inspeção no edifício, ela passa a ser considerada como existente naquela edificação. Essa mensuração foi realizada, também, nos outros subsistemas estudados (instalações hidrossanitárias, vedações, etc.).

Vale ressaltar que a tipologia construtiva observada nessas edificações é de estrutura de concreto armado, com fck variando de 15 a 20 MPa, sem especificação da relação de água/cimento.

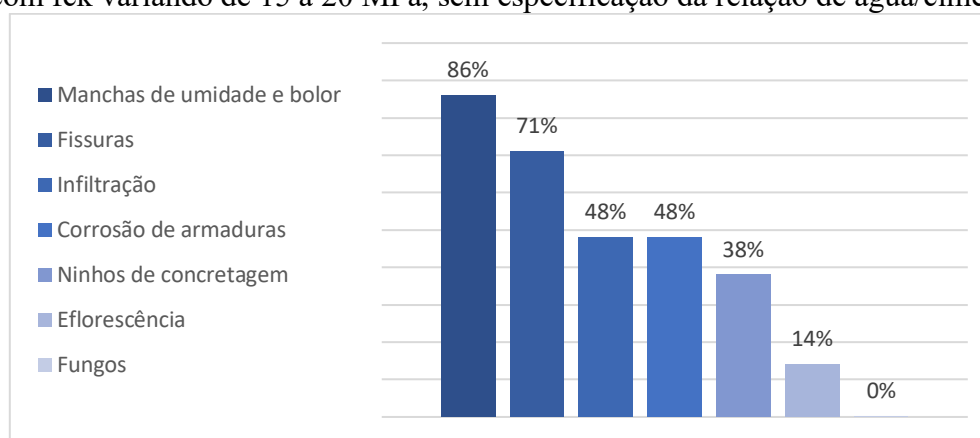


Figura 1: Frequência das manifestações patológicas em estruturas das edificações da UFES.

As manifestações patológicas observadas nesta avaliação não diferenciam muito daqueles problemas encontrados na revisão bibliográfica, onde se observa que entre as principais sintomatologias destacam-se as fissuras, as eflorescências, as manchas, o descolamento da pintura, o mofo e o bolor, as infiltrações em esquadrias, a armadura aparente, os ninhos de concretagem, a

segregação e a desagregação do concreto e as flechas excessivas (OLIVEIRA, 2000; GRILO e CALMON, 2000; ANDRADE e DAL MOLIN, 1997; APPLETON, 1994; HELENE, 1992).

Comparando os resultados com aqueles obtidos por Costa Junior (2001), observa-se constância na quantidade de fissuras (71%), um acréscimo de 10% nas infiltrações, elevando de 38% para 48%, assim como em ninhos de concretagem, antes 28%, agora 38%. Corrosão de armaduras evoluiu de 33% para 48%, eflorações tiveram uma redução de 28% para 14%. Houve um aumento significativo nas manchas de umidade e bolor, que evoluíram de 57% para 86%.

Observou-se, ainda, que muitas destas manifestações encontradas são interdependentes e correlacionadas, devido às múltiplas relações de causa e efeito que as caracterizam, como o fato de fissuras que podem, ao mesmo tempo, constituir uma das causas de infiltrações ou o início de um processo de corrosão das armaduras.

A Figura 2 apresenta a distribuição das manifestações patológicas relacionadas com as instalações hidrossanitárias. Observa-se que 20% dos edifícios avaliados apresentam infiltrações, que são muitas vezes seguidas de vazamentos.

Houve constância nos números de infiltração comparando-se com o estudo de Costa Junior (2001) (26,15%), aumento no número de manchas de umidade e bolor, subindo de 4,8% para 20%, e relativa constância no número de problemas nas louças sanitárias, com 14,3% em 2001 e 13% em 2018.

As análises feitas por Costa Junior (2001), mostraram que não há compatibilização entre os projetos de hidráulica/impermeabilização. Fato esse que gera improvisos durante a execução e tem reflexos negativos no desempenho dos edifícios.

A ausência de compatibilização de projetos é ainda hoje observada em instituições públicas e privadas no Brasil. Nem sempre existem coordenadores e há dificuldade de entendimento do que fazer em termos de coordenação e compatibilização, e de como fazer. Os projetos são elaborados por profissionais diferentes, que não se preocupam com a busca de continuidade dos projetos, o que poderia ser diminuído com a utilização de softwares com plataforma BIM (CRUZ, 2011).

Com o objetivo de reunir todas as informações de uma construção, de forma integrada e organizada, foi estabelecido pelo Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020, a utilização do Building Information Modelling (BIM ou Modelagem de Informações da Construção) na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública.

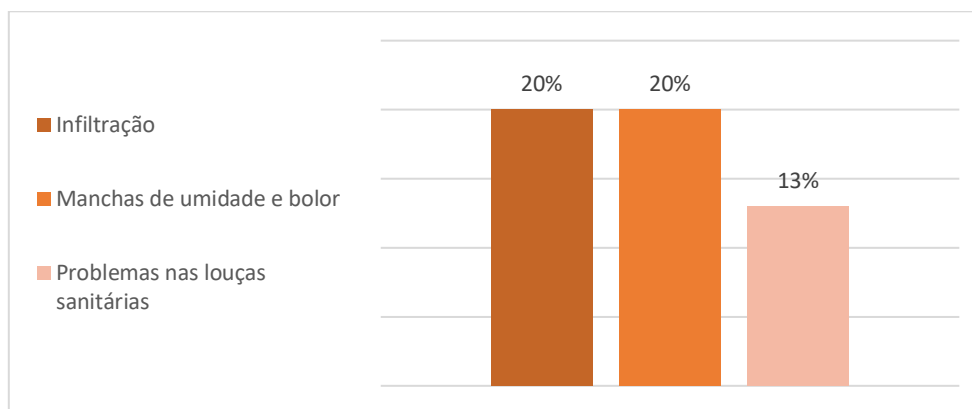


Figura 2: Manifestações patológicas relacionadas com instalações hidrossanitárias e impermeabilização nas edificações da UFES.

Após consulta a projetos disponíveis na Superintendência de Infraestrutura, verificou-se que as edificações entregues após o ano de 2001 na UFES não utilizaram nenhuma ferramenta de compatibilização de projetos.

Para as vedações horizontais, assim como nos itens anteriores, as manchas de umidade e bolor obtiveram aumento, sendo observadas em 59% das edificações avaliadas (no trabalho de Costa Junior (2001) o valor é de 38%), enquanto as fissuras mantiveram-se constantes no patamar de 47%, como se pode observar na Figura 3.

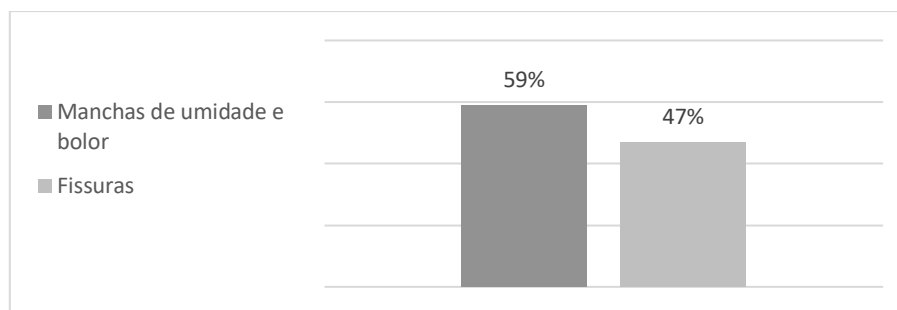


Figura 3: Manifestações patológicas em vedações horizontais nas edificações da UFES.

Para as manifestações patológicas observadas na figura 4, no subsistema revestimentos e vedações verticais, as fissuras se mostraram em 48% dos edifícios avaliados, tendo uma redução significativa em relação ao estudo de Costa Junior (2001), cujo valor foi de 100%.

Em termos comparativos, observa-se na figura 5 as porcentagens de manifestações patológicas em revestimentos e vedações verticais nas edificações da UFES inspecionados nessa pesquisa, em comparação com os resultados obtidos por Costa Junior (2001). Com exceção das manchas de umidade e bolor, houve uma redução nas ocorrências das patologias encontradas em vedações verticais.

Observa-se, ainda, variação no número de fissuras encontradas nos revestimentos e vedações verticais. Esclarece-se que esse número não deve ser interpretado sozinho. Trata-se de um dado que serve de complemento para o entendimento de uma idéia que se quer apresentar, uma vez que as fissuras variam desde pequenas aberturas no revestimento das vedações até aberturas na ordem de centímetros que atravessam blocos de vedação.

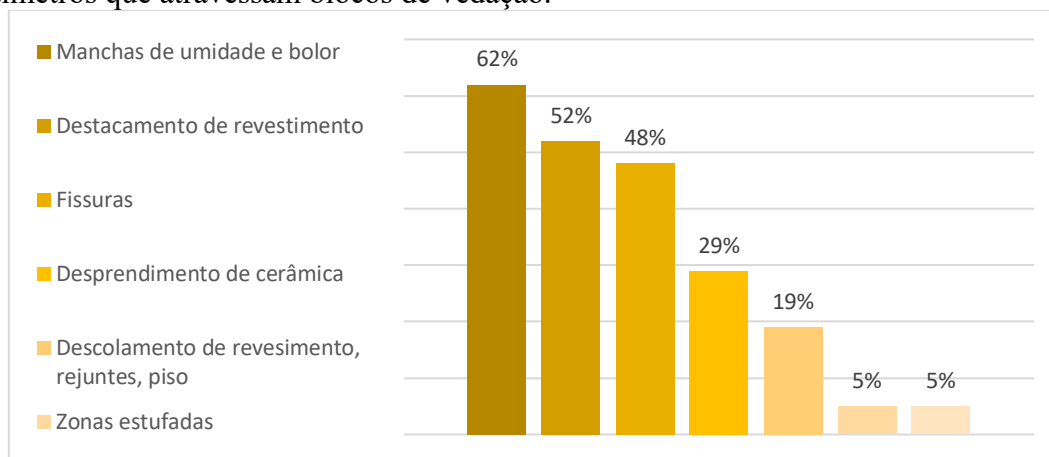


Figura 4: Manifestações patológicas em revestimentos e vedações verticais.

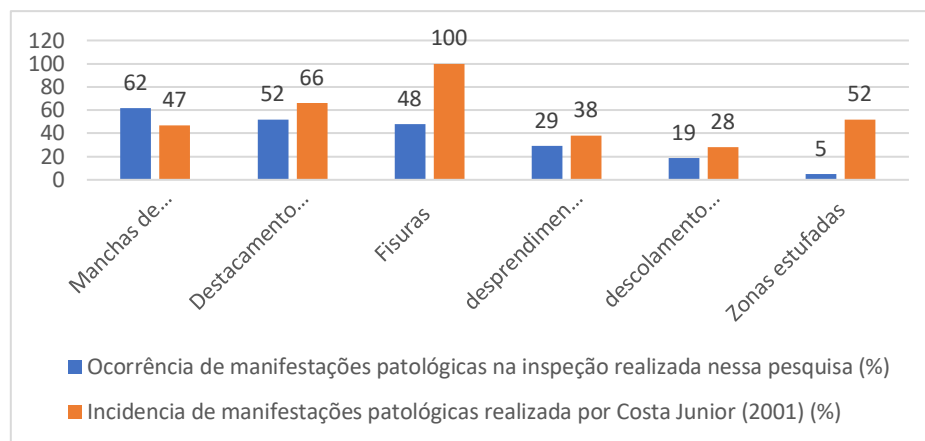


Figura 5: Comparação de manifestações patológicas desse trabalho com o de Costa Junior (2001).

O gráfico da Figura 6 apresenta os problemas encontrados nas esquadrias. Em 45% dos edifícios avaliados foram encontradas esquadrias empenadas, contra 28% em 2001. Corrosão também foi um item que obteve aumento significativo, com 45% comparados a 4% em 2001. Esses problemas costumam vir acompanhados de apodrecimento e infiltração.

Outro problema muito comum, observado em 23% das edificações avaliadas por Costa Junior (2001), foram vidros danificados que apresentavam, principalmente, fissuras, que podem ter sido resultado de vandalismo, de problemas de expansão térmica, ou por sombreamento excessivo de suas bordas, que causa uma diferença de temperatura entre a região central e as bordas do vidro (THOMAZ, 1989). Nessa pesquisa tais problemas foram observados em 15% dos edifícios avaliados.

A análise feita é que na maioria dos casos houve degradação natural dos elementos da esquadria, dada a idade avançada das edificações, não havendo reposição dos constituintes.

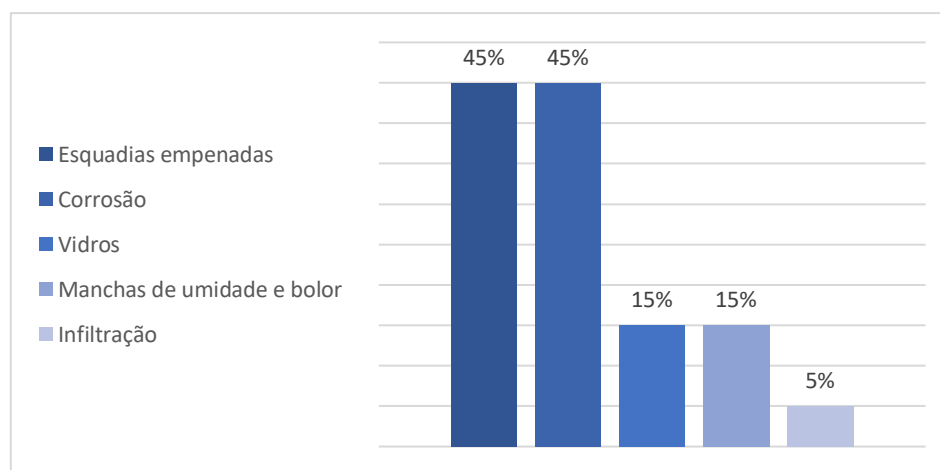


Figura 6: Defeitos em esquadrias nas edificações da UFES. Fonte: Autor

As fotos, a seguir, apresentam algumas das principais manifestações encontradas nas edificações da UFES durante o levantamento realizado nessa pesquisa. Como manchas de umidade e bolor, tem-se o exemplo da Figura 7a, onde a vedação horizontal foi consumida pela umidade, no banheiro do prédio da Reitoria. A Figura 7b mostra o mesmo problema, mas desta vez no pavimento térreo do Restaurante Universitário. De forma menos acentuada, mas também presente, no banheiro de um laboratório do CT V (Figura 7c) e no revestimento externo de uma boa quantidade de edifícios, como o caso da Figura 7d, no edifício CT I.



Figura 7 – Principais manifestações patológicas (manchas de umidade e bolor), em 2021.

Fonte: Autores.

As manchas de umidade e bolor estão entre as manifestações mais comuns em edificações, sendo que há uma série de mecanismos associados a estas manifestações patológicas (BAUER, 1997). Umidades são causadas principalmente por vazamentos em tubulações, decorrentes de má execução ou falhas no projeto, e ainda por falhas nos revestimentos de vedação, seja por uso incorreto de pinturas impermeabilizantes ou até mesmo falhas na produção da argamassa de revestimento (FIBERSALS, 2018).

Muitas são as causas dessas manifestações, podendo-se destacar nessa pesquisa:

- Bolor pode ser ocasionado também por argamassas de assentamento magras e porosas (CARASEK, 2007);
- Pode-se atribuir este problema também à ausência ou deficiência de impermeabilização.

Para as fissuras, foram encontradas: fissura em diagonal acompanhando os blocos de vedação no edifício CEMUNI III (Figura 8a); fissura horizontal ligando os vãos da porta e janela (Figura 8b) no prédio da Reitoria; fissura vertical próximo ao encontro de vedações no auditório do CCJE – ED III (Figura 8c); e fissura vertical na vedação em madeira no prédio IC III (Figura 8d).

Entre as causas dos principais tipos de fissuras, pode-se destacar: problemas com a argamassa de vedação, com a argamassa de assentamento, problemas de amarração da parede com elementos estruturais, retração das lajes, dilatações térmicas, recalques de fundações, ausência de vergas e contravergas, retração da alvenaria, entre outros (THOMAZ, 1989; COSTA, 1993; CASADO, 1997; THOMAZ, 1998; ROCHA, 1998; EBANATAW, 2001).



Figura 8 – Principais manifestações patológicas nas edificações da UFES (fissuras), em 2021.

Fonte: Autores.

Dentre as causas prováveis, destacam-se:

- Dimensões do painel de alvenaria, dimensões da abertura, posição que a abertura ocupa no painel e dimensões e rigidez das vergas e contravergas (THOMAZ, 1989).
- Observou-se, por meio do caderno de especificações da UFES, a indicação da colocação de vergas de concreto armado, convenientemente dimensionadas e com um mínimo de 20 cm de apoio para cada um dos lados. Este apoio pode ser insuficiente, pois concentra cargas excessivas sobre a alvenaria. Em janelas observou-se também este problema, que pode ter ocorrido devido à ausência de contravergas nos peitoris, (BAUER, 1997).
- Baixa deformabilidade da ligação entre a alvenaria e os elementos estruturais, que só deve acontecer após 15 a 30 dias da execução da alvenaria (BAUER, 1997).

Observa-se a incidência de infiltração no revestimento de vedação horizontal do CT I (Figura 9a), no revestimento externo dessa mesma edificação (Figura 9b), parcialmente tratada na Biblioteca Central (Figura 9c), na vedação horizontal do banheiro masculino do prédio da Botânica (Figura 9d).

Dentre as causas prováveis, destacam-se:

- Problemas de infiltração, através de lajes de cobertura, ocorrem principalmente quando não é feita a impermeabilização ou quando ela é deficiente (VERÇOSA, 1989; LYALL, 1992).
- Vazamentos através de fissuras ou eletrodutos.



Figura 9 – Principais manifestações patológicas nas edificações da UFES (infiltração), em 2021.

Fonte: Autores.

Quanto à corrosão de armadura, entre os casos encontrados pode-se destacar: pilar interno do prédio da Reitoria (Figura 10a), Pilar externo do NTI (Figura 10b).

É interessante notar que, nesses casos, pode-se perceber uma perda no cobrimento da armadura, assim como variações do grau de corrosão da armadura, o que ocasiona perdas na resistência original desses elementos (BRANCO, PAULO e GARRIDO, 2013).

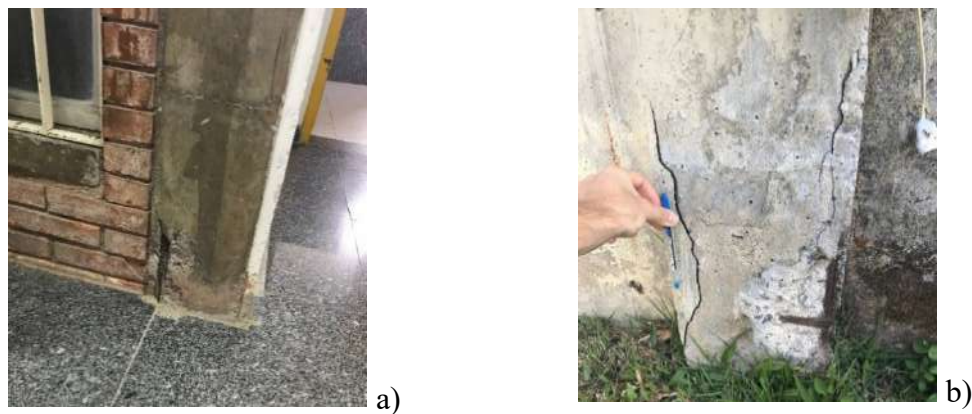


Figura 10 – Principais manifestações patológicas nas edificações da UFES (corrosão da armadura), em 2021.

Fonte: Autores.

4.2 Comparação e evolução das manifestações patológicas

Em uma análise mais detalhada pode-se observar o que provocou o surgimento e a propagação de algumas manifestações patológicas, desde o estudo de Costa Junior (2001) até a data da realização deste trabalho.

Começando pela fissura observada por Costa Junior (2001) na base de pilar da Escola de 1º Grau, com manchas de umidade e bolor e proliferação de fungos (Figura 11a). Percebeu-se que nas imediações do pilar não havia nenhuma fissura ou mancha de umidade, o que pode significar que os acréscimos de tensão, que provocaram fissuras na base, foram resistidos sem danos ao elemento estrutural.

Um retorno ao local encontrou situação semelhante, à encontrada em 2001, na maioria dos pilares da edificação (Figura 11b), sendo que um desses pilares estava com aspecto de deterioração mais avançado que os demais (Figura 11c).

É provável terem sido essas fissuras causadas por movimentações do solo ao longo do tempo decorrido, desde a entrega da edificação, sendo possível que a falta do cobrimento da armadura, e o contato com água (Figura 11d) tenha ocasionado ainda mais degradação no último pilar (Figura 11c). A realização de novas análises, mais detalhadas poderá determinar com um grau maior de certeza as suas causas.



Figura 11 – Análise de 2001 (Figura a) e atual das bases de pilar na escola de 1º grau (Figura b, c, d), em 2021.

Fonte: Autores.

Em se tratando de uma edificação onde ocorrem atividades escolares de crianças, a possibilidade de ocorrência de falhas deveria ser mínima. O ideal é que seja feita uma avaliação detalhada com os projetos arquitetônico e estrutural, em mãos, afim de se determinar a resistência residual de cada elemento da estrutura, além de ensaios na armadura, de modo a calcular com precisão qual será o comportamento da estrutura ao longo do tempo.

As fissuras em diagonal observadas por Costa Junior (2001) no Centro de Vivência (figuras 12a) se iniciam no canto da abertura da porta e provocaram desprendimento de cerâmica. A fissura atravessa a alvenaria. Foram observadas também em outras áreas do edifício.

Nota-se uma tentativa de contornar a situação pela colação de placas de cerâmica onde haviam ocorrido as falhas (Figura 12b), mas é provável que a lenta, porém, constante movimentação de separação na fissura provocou o reaparecimento da marca, em toda a parede.

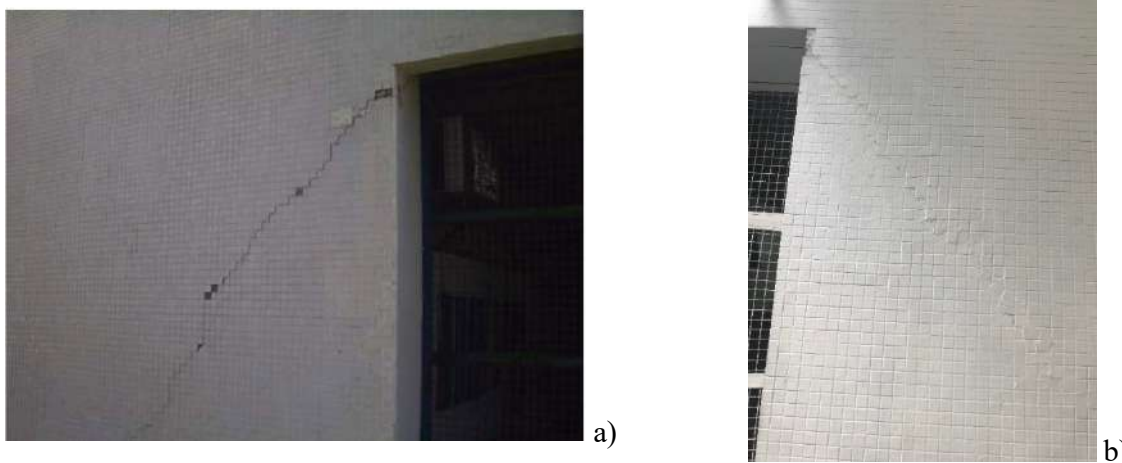


Figura 12 – Análise de 2001 (Figura a) e atual (Figura b, em 2021) das fissuras no centro de vivências.

Fonte: Autores.

Entre as causas de fissuras inclinadas nas paredes estão: recalques de fundações, ausência de vergas e contra vergas, concentração de tensões (sobrecargas) (THOMAZ, 1989; COSTA, 1993; CASADO, 1997; THOMAZ, 1998; ROCHA, 1998; EBANATAW, 2001). Pelo fato das fissuras se encontrarem em várias partes da parede, não somente próximo aos vãos das portas, é provável que exista algum tipo de tensão não previsto em projeto, seja por movimentação da estrutura de fundação ou não.

A figura 13a mostra um problema de infiltração, observado por Costa Junior (2001), onde ocorreu a lixiviação de produtos de hidratação do cimento, como hidróxido de cálcio, e a formação de estalactites, como o carbonato de cálcio.

A literatura recomenda a remoção desse material com jato de água. Verifica-se que houve um trabalho de remoção desse material, mas, não foi tratada a fonte da presença de umidade, e assim, o surgimento do material ocorreu novamente gerando incômodos estéticos, principalmente, à estrutura. (Figuras 13b).



Figura 13 – Análise de 2001(Figura a) e atual (Figura b, em 2021) da incidência de eflorescência na Reitoria.

Fonte: Autores.

4. CONCLUSÕES

Dentre as diversas manifestações patológicas observadas nas edificações da Universidade, algumas representam maior risco de provocarem paralisações ou danos contra a saúde ou a segurança dos usuários. São aquelas ligadas à estrutura das edificações, como as fissuras em pilares com corrosão da armadura (Escola de 1º Grau, CT I, NTI, Restaurante Universitário).

Esses pilares fazem parte de estruturas que não possuem mais que uma laje, mas, apesar das baixas cargas quando comparadas a estruturas de múltiplos pavimentos, recomenda-se que sejam feitas inspeções detalhadas afim de se determinar o valor residual de resistência dos elementos, assim como um estudo de suas deteriorações, para que se possa determinar com precisão a vida útil residual da estrutura ou os reforços que se fazem necessários.

As demais manifestações patológicas encontradas na universidade podem ser caracterizadas como de médio e mínimo risco. Apesar disso, é recomendado que se faça a devida correção dos problemas, para que não venham a tornar-se de riscos maiores, e para que se evite o aparecimento de mofo e bolor, fontes de doenças.

Ao se analisar as manifestações patológicas encontradas nos edifícios estudados por Costa Junior (2001) e no atual trabalho, pode-se concluir que algumas dessas manifestações receberam algum tipo de tratamento, enquanto que outras aumentaram o nível de degradação do seu estado.

A fissura horizontal encontrada em uma sala de aula do Centro de Línguas, por exemplo, recebeu o tratamento adequado. Também pode-se citar alguns casos de manchas de umidade e bolor que receberam o tratamento adequado, como no prédio da Reitoria.

O que ocorre, em uma quantidade considerável de casos, é que esses problemas receberam algum tipo de tratamento, mas, não tiveram acabamento na região tratada ou o tratamento não foi suficiente para controlar a fonte do surgimento, gerando novamente a ocorrência. Como exemplos podem ser citadas: a infiltração na parede da Biblioteca Central, a vedação horizontal do prédio do Núcleo de Línguas e a eflorescência no prédio da Reitoria.

Algumas manifestações mais dispendiosas ainda não receberam tratamento ou receberam tratamento inadequado, como é o caso da base de pilar da Escola de 1º Grau e das fissuras no Centro de Vivência.

A Superintendência de Infraestrutura é o órgão responsável pelo planejamento, construção, conservação e manutenção das áreas físicas dos campus da UFES, assim como pela fiscalização dos contratos de obras e manutenção predial. Assim como o trabalho de Costa Junior, este também será enviado ao setor técnico responsável, para conhecimento e providências.

A falta do controle da qualidade em todas as etapas do processo de construção, desde o planejamento, é o principal motivo do surgimento de manifestações patológicas nos edifícios da universidade (HELENE E SOUZA, 1988). Uma vez geradas as manifestações patológicas, os programas de controle e manutenção devem funcionar de maneira eficiente para que se possam distingui-las e, de acordo com a sua classificação, dispensar-lhes o tratamento adequado, com o objetivo de se possuir edificações que satisfaçam aos usuários.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal do Espírito Santo pela autorização das vistorias realizadas, ou seja, pela disponibilização das edificações para a pesquisa, assim como acesso aos documentos pesquisados e profissionais da universidade entrevistados.

6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Jairo, DAL MOLIN, Denise. *Influência da agressividade ambiental nas patologias em estruturas de concreto armado nas cidades de Porto Alegre (RS) e Recife (PE)*. In: Workshop – Durabilidade das construções. São Leopoldo – RS, 30 de junho a 01 de julho de 1997.
- APPLETON, João. *Patologia precoce dos edifícios*. In: 2ª ENCORE – Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios. Comunicações, V. II. Lisboa, 27 de junho a 1 de julho, 1994. p. 823 – 834.
- ARAÚJO, Leticia Santos Machado de. *Avaliação durante operação dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários em edifícios escolares*. Campinas, 2004. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas.
- AZZALIN, M. *Building pathology database and maintenance approach in a welldefined context: Calabrian historical centers*. 10th DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Component. p 988-994. Lyon, France, 2005.
- BARBOSA FILHO, Fernando de Holanda. *A crise econômica de 2014/2017*. Estud. av. [online]. 2017, vol.31, n.89 [citado 2021-03-15], pp.51-60.
- BAUER, Roberto. *Patologia em revestimento de argamassa inorgânica*. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas Anais... Salvador-BA, 17 e 18 de abril de 1997, p. 321-331.
- BRANCO, F.; PAULO, P.; GARRIDO, M. *Vida Útil na construção civil*. Boletim Técnico. Alconpat, 2013.
- CARASEK, H. *Argamassas*. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. ISAIA, G.C. (Organizador/Editor). São Paulo: IBRACON, 2007 p863-804.
- CASADO, Alberto L. *Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação*. Dissertação de mestrado, São Paulo, 1997.
- COSTA JUNIOR, M. *Avaliação pós-ocupação e manutenção estratégica de escolas públicas*. Dissertação (mestrado). UFES, 2001.
- COSTA, Antônio C. *A linguagem das trincas*. Revista técnica. mar/abr, nº 03. 1993, p. 14-18.
- CRUZ, G. P. S. *Coordenação e compatibilização de projetos para construção de edifícios: Estudos de casos em instituições públicas e privadas*. Viçosa: UFV, 2011.
- DUNSTON, P.S; WILLIAMSOM, C.E. Incorporating maintainability in constructability review process. *Jornal of management in engineering*. September/october, v.15, n.5, 1999.
- EBANATAW, Roberto. *Fissuras e trincas*. 2001. Disponível: <<http://www.ebanataw.com.br/roberto/patologias/trincas.htm>>
- FIBERSALS. *Impermeabilização: conheça todas as opções existentes no mercado*. FiberSals, 2018. Disponível em: <https://fibersals.com.br/blog/impermeabilizacao-conheca-todas-as-opcoes-existentis-no-mercado/>.

- GRILO, Leonardo M., CALMON, João L. *Falhas externas em edificações segundo a percepção dos usuários*. In: VIII ENTAC - Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. Salvador. Anais...25 a 28 de abril, 2000.
- HELENE, P. R. L. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. 2ª ed - São Paulo: PINI, 1992.
- HELENE, P.R.L., SOUZA, R. *Controle da Qualidade na Indústria da Construção Civil*. In: Tecnologia da edificações. Anais. São Paulo, 1988, p. 537-542.
- INSTITUTO BRASILEIRO de AVALIAÇÕES e PERÍCIAS de ENGENHARIA (IBAPE). *Norma de inspeção predial nacional*. São Paulo, 2012.
- JESUS, A. A.; et.al. *Comportamento Histórico no Brasil da Indústria da Construção Civil e suas Atuais Perspectivas*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 07, Vol. 05, pp. 87-95, julho de 2018.
- LICHTEINSTEIN, N.B. *Patologia das construções: procedimento para formulação de diagnóstico de falhas e definição de condutas adequadas à recuperação de edificações*. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.
- LYAL, Addeison. *Building failures – a guide to diagnosis remedy and preventions*. Third Edition. Great Britain, 1992.
- OLIVEIRA, Ana M. S. S. *Uma questão de falta de qualidade: incidência de manifestações patológicas em fachadas*. VIII ENTAC - Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. Salvador. Anais...25 a 28 de abril, 2000.
- ORNSTEIN, Sheila W. *Avaliação Pós-Ocupação (APO) do ambiente construído*. São Paulo. Studio Nobel: Editora da Universidade de São Paulo. 1992.
- ROCHA, Carlos C. *Paredes e trincas*. Os porquês. Revista Recuperar. nov/dez, 1998.
- SCHARDONG, Giana K.; PAGNUSSAT, Daniel T. *Avaliação de manifestações patológicas em edificações escolares públicas*. In: 7º. Congresso Internacional sobre Patologia e reabilitação de estruturas. Fortaleza-CE, 2 a 4 de junho de 2011. Acesso em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/PAGNUSSAT_ARTIGO_cinpar2011.pdf
- SOUZA, Paulo Renato. *Recursos públicos para as universidades federais*. Folha de São Paulo, 02/03/00. Disponível em: <http://www.mec.gov.br/acs/jornalis/ar_ministro/m001.shtm>.
- SOUZA, R., MEKBEKIAN, G., SILVA, M.A., LEITÃO, A. N., SANTOS, M.M. *Sistema de gestão da Qualidade para empresas construtoras*. São Paulo. Pini, 1995.
- SOUZA FILHO, Rodrigo. *O controle social como instrumento político na gestão do orçamento público*. III Simpósio orçamento público e políticas sociais. 17 e 18 de outubro, 2017. ISBN: 978-85-7846-440-0.
- THOMAZ, Ercio. As causas de fissuras. *Revista téchne*. set/out, nº 36. 1998, p. 44-49.
- THOMAZ, Ercio. *Trincas em edifícios – causas, prevenção e recuperação*. São Paulo. Ed. Pini, USP – Universidade de São Paulo / IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989, 194 p.
- VERÇOSA, Enio J. Patologia da umidade. In: Simpósio sobre patologia das edificações – Prevenção e recuperação. *Anais...* 24 e 25 de outubro de 1989. Porto Alegre, p. 174-194.

Levantamento do Quadro Patológico do Complexo do Ginásio Poliesportivo Ismaelino Moreira Pontes no Município de Tucuruí/PA.

Jehnnye. da Silva Damasceno Santos^{1*}, Jeffson. Taveiro Cruz Santos², Janiele. Moreira Roland³,
Jéssyca. Carolinne Santos Lacorte⁴, Dinilza. Melo Cohen Ribeiro⁵

* jehnyedamasceno@gmail.com* janieleroland@hotmail.com* jeffsontaveiro@gmail.com*
carolinnelacorte@gmail.com* dinilza20@hotmail.com*

¹ Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Brasil

² Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Brasil

³ Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Brasil

⁴ Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Brasil

⁵ Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Brasil

RESUMO

As patologias presentes em muitas edificações, normalmente, são resultado de muitos equívocos que são cometidos nas fases de projeto, execução ou uso das edificações, ou até mesmo pela falta de manutenção preventiva. Em função do crescimento acelerado das cidades com novas construções, sem o planejamento devido e execução correta, assim como a falta de manutenção em edificações antigas, tornou-se comum o desenvolvimento de trabalhos e estudos de detecção e análise das diversas manifestações patológicas observadas em prédios públicos e privados das nossas cidades. Neste trabalho é apresentado um levantamento das manifestações patológicas observadas e suas prováveis causas no ginásio poliesportivo Ismaelino Moreira Pontes, localizado no município de Tucuruí/PA. Foi realizado um levantamento superficial de diversos tipos de patologias, estruturais ou não, existentes na estrutura e componentes pertencentes ao complexo, apresentando algumas sugestões, como procedimento de manutenção e reparos, estabelecendo assim critérios para se aplicar medidas preventivas e de fiscalização das causas prováveis das patologias. Vale ressaltar que o conhecimento das causas que originam as patologias nos edifícios e a utilização de medidas preventivas, quer seja na fase de projeto, seja nos cuidados minuciosos na fase de execução e posterior manutenção, resultam em uma economia considerável se comparado ao custo com medidas de recuperação, que muitas vezes não são bem executadas, sendo assim ferramentas fundamentais para minimizar o surgimento dessas patologias.

Palavras chave: Patologia, Manifestações Patológicas, Ginásio; Projeto; Manutenção.

ABSTRACT

The pathologies present in many buildings, are usually the result of committed mistakes in the design phase, execution or its use, or even the lack of preventive maintenance. In function of the

accelerated growth of cities with new construction unplanning due and correct execution, as well as lack maintenance in old buildings, has become common the development of works and studies of detection, as well as review of several pathological manifestations observed in public and private buildings of our cities. This work presents a survey of pathological manifestations and its probable causes in the multi-sport gym “Ismaelino Moreira Pontes”, in Tucuruí/PA. A superficial survey of several kinds of pathologies was conducted, structural or not, existing in the structure and elements belonging to the complex, presenting some suggestions as maintenance procedures and repairs, establishing criteria to apply preventive measures and supervision of the probable causes of the pathologies. It is noteworthy that the knowledge of the causes that give rise to pathologies in buildings and the use of preventive measures, either in the design phase, the minute care in the execution phase, or subsequent maintenance, result in considerable savings compared to the cost recovery measures, which are often not well executed, therefore, essential tools to minimize the appearance of these pathologies.

Key Words: Pathology; Pathological Manifestations; Gym; Project; Maintenance.

ABSTRACTO

Las patologías presentes en muchos edificios generalmente ser el resultado de muchos errores que se cometen en las fases de diseño, ejecución o uso de los edificios, o incluso debido a la falta de mantenimiento preventivo. Debido al crecimiento acelerado de las ciudades con nueva construcción, sin una adecuada planificación y ejecución correcta, así como a la falta de mantenimiento en las edificaciones antiguas, se hizo común desarrollar trabajos y estudios para la detección y análisis de las diversas manifestaciones patológicas observadas en las edificaciones públicos y privados en nuestras ciudades. Este trabajo presenta un relevamiento de las manifestaciones patológicas observadas y sus probables causas en el gimnasio polideportivo Ismaelino Moreira Pontes, ubicado en el municipio de Tucuruí / PA. Se realizó un relevamiento superficial de varios tipos de patologías, estructurales o no, existentes en la estructura y componentes pertenecientes al complejo, presentando algunas sugerencias, como procedimiento de mantenimiento y reparación, estableciendo así criterios para aplicar medidas preventivas e inspección de las probables causas de las patologías. Cabe mencionar que el conocimiento de las causas que provocan patologías en los edificios y el uso de medidas preventivas, ya sea en la fase de diseño, o en el cuidado detallado en la fase de ejecución y posterior mantenimiento, redundan en ahorros considerables en comparación con el costo con medidas de recuperación, que muchas veces no están bien ejecutadas, siendo así herramientas fundamentales para minimizar la aparición de estas patologías.

Palabra Clave: Patología, Manifestaciones Patológicas, Gimnasio; Proyecto; Mantenimiento.

1. INTRODUÇÃO

O estudo das patologias em edificações começou a ganhar importância à medida que foi se intensificando problemas no comportamento da estrutura. Pode-se dizer que a vida útil de um material tem sua durabilidade diretamente ligada a sua conservação e manutenção, uma vez que

está submetido a ações direta ou indiretamente do meio em que está exposto. Segundo Helene (2003 *apud* SILVA, 2008) as ocorrências envolvendo patologias nas edificações possuem características de manifestações externas e internas, e a partir dessas ocorrências, deve-se diagnosticar a natureza, a origem e os mecanismos dessas patologias.

A princípio o interesse por esses estudos foram voltados para manifestações provocadas em estruturas de concreto armado e foram se expandindo para as ocorrências em revestimentos com argamassas, revestimentos cerâmicos, pinturas, estruturas metálicas e assim por diante. De acordo com Costa Jr. (2001 *apud* SILVA, 2008), a origem das patologias não está concentrada em fatores isolados, isso se dá pelo fato de sofrerem a influência de um conjunto de variáveis atuantes, que podem ser classificadas de acordo com fatores como: o processo patológico, os sintomas, a causa geradora dos problemas ou ainda com a etapa do processo produtivo em que ocorrem.

Para Souza e Ripper (1998), no que se refere ao surgimento da patologia na estrutura de concreto, há inúmeras limitações que devem ser superadas no que diz respeito ao desenvolvimento científico e tecnológico da engenharia civil, as quais associadas a falhas involuntárias, deterioração, ausência de perícia, irresponsabilidades e acidentes, resultam em condições propícias ao desempenho insatisfatório da estrutura.

A ocorrência de vários diagnósticos envolvendo patologias estruturais está relacionada muitas vezes, à ineficiência quanto à manutenção das estruturas, ou seja, existe quase que um abandono total das edificações de modo que o nível de deterioração muitas das vezes chega a não somente comprometer a estética em uma estrutura e sim ao comportamento e a funcionalidade em que está sujeita, de modo que se ocorresse à manutenção preventiva e pequenos reparos, os custos seriam menores, evitando gastos desnecessários.

Para garantir uma maior vida útil às edificações proporcionando desempenhos satisfatórios, tanto no que diz respeito a sua estrutura quanto a sua funcionalidade, é indispensável à realização de uma manutenção adequada, e diante disso, fazer parte de um processo mais amplo de gestão, que identifique, através de vistorias periódicas, os danos existentes, diagnosticando-os e indicando as ações de recuperação, afirma Vitório (2005 *apud* ALVES, 2012).

A importância de se fazer um levantamento sobre as patologias existentes em um local determinado está relacionada ao diagnóstico de possíveis danos que venham futuramente comprometer a resistência e a trabalhabilidade de uma estrutura. Mediante isso, é necessário obter informações suficientes para o conhecimento da evolução das patologias e dessa forma fornecer soluções voltadas à prevenção e reparação dos danos presentes.

2. MÉTODOS

Para realizar o levantamento das patologias existentes no complexo esportivo, realizou-se várias visitas no local. Essas vistorias foram necessárias para obter informações sobre o registro do período da sua construção, tempo da edificação, tipos de manutenção realizada, material utilizado, os projetos da edificação, entre outros. Todas essas informações foram buscadas na administração do complexo e na secretária de obras do município, porém, poucas informações nos foram repassadas, visto que nem a planta baixa foi encontrada.

O acesso na área do complexo esportivo foi limitado por questões administrativas. Durante o processo de vistoria não foi permitido, por parte da administração local, escavações, perfurações e retirada de materiais para análise quantitativa das patologias. Os registros fotográficos também foram limitados, seguindo a orientação administrativa, o que dificultou a realização de uma vistoria mais ampla. Para verificar quais as anomalias existentes no local, foram utilizados alguns materiais, na maior parte para métodos de análise não-destrutiva, tais como: fissurômetro, solução de fenolftaleína, trena, e em poucos casos, a talhadeira e martelo. O teste de carbonatação

e classificação de aberturas e fissuras, foram realizadas dentro das limitações estabelecidas. Em função de todos estes intervenientes citados, esse trabalho está sendo apresentado com base em uma análise qualitativa, uma vez que o acesso a informações e autorização para realizar uma avaliação quantitativa foi limitado, não sendo possível ter maiores detalhes sobre as causas das anomalias detectadas e a situação real da estrutura em estudo. As figuras 2.1 e 2.2 mostram os materiais utilizados no método de análise.



Figura 2.1. Materiais utilizados no método de análise.

3. RESULTADOS

3.1 Eflorescência

A ocorrência da eflorescência nas superfícies das peças de concreto podem alterar a aparência das mesmas, sobre a qual se depositam e em determinados casos seus sais constituintes podem ser agressivos, causando a deterioração da estrutura. A figura 3.1 mostra os trechos dos pilares P1, P2, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15 e P18 onde há a presença dessa patologia.

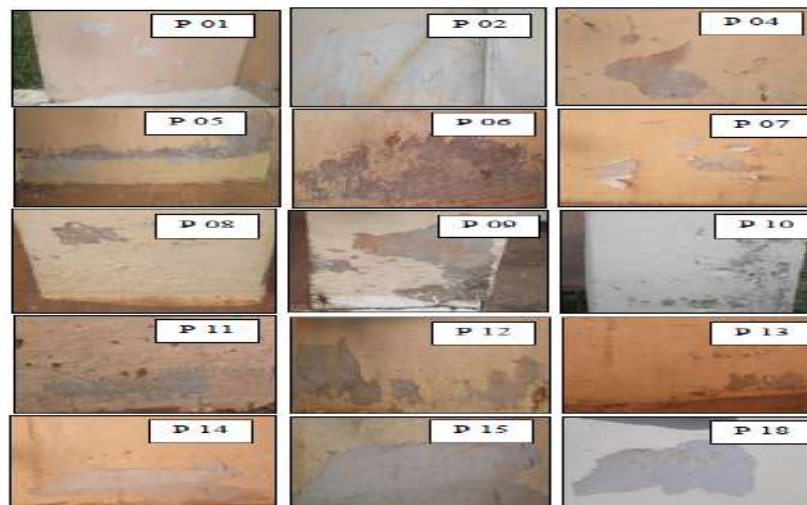


Figura 3.1. Trechos com eflorescência nos pilares.

Observa-se que em todos os pilares apresentados na figura 3.1, encontram-se manchas esbranquiçadas presentes em sua superfície, sendo esta, uma das características da eflorescência. Para uma melhor visualização quantitativa, o gráfico 3.1 apresenta a porcentagem dos pilares externos que apresentam essa patologia.



.Gráfico 3.1- Quantitativo de pilares com eflorescência.

Como observa-se no gráfico, mais da metade dos pilares apresentaram indícios de eflorescência. Essa patologia, como já foi dito anteriormente é causada devido a presença de sais que podem ter várias origens, dentre elas: as matérias-primas, os materiais de construção, a água existente no subsolo, entre outros; e que são dissolvidos quando entram em contato com a umidade decorrente da infiltração pelo subsolo ou mesmo de água pluviais. Uma das consequências mais comuns da eflorescência é o descolamento da pintura e o aparecimento de manchas brancas sobre a superfície do concreto, que pode gerar um aspecto aparente desagradável. Entretanto, esse tipo de patologia deve ser tratado com uma maior atenção, uma vez que a eflorescência pode causar a desagregação do concreto resultando na ruína da estrutura. Nesse caso, como medida de prevenção, deve-se buscar conhecer a origem e os mecanismos da eflorescência, a natureza dos sais e principalmente eliminar ou reduzir a possibilidade de umidade utilizando cimentos do tipo: CP IV (com adição de pozolana), tipo RS (resistente a sulfato), ou o cimento CP III (com baixo teor de hidróxido de cálcio e uma eficiente cura do concreto), tendo uma baixa porosidade superficial, com uma argamassa mais densa, impermeável e menor porosidade capilar.

3.2 Bolor e Limo

Outra patologia identificada na quadra poliesportiva foi a presença de bolor e limo. Durante a avaliação, observou-se nos pilares que em muitos trechos há a presença de bolor e limo, como mostra a figura 3.2 Percebeu-se que a fachada e a marquise também apresentavam uma quantidade considerável de bolor como mostra a figura 3.3.

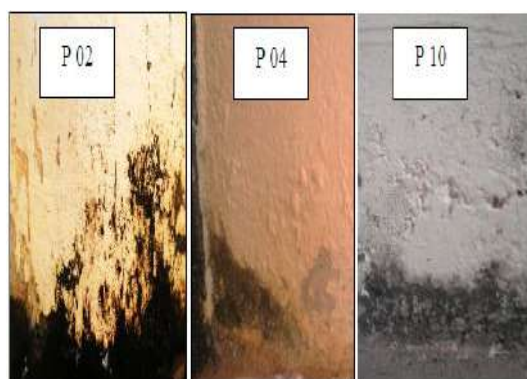


Figura 3.2. Base dos pilares com bolor e limo.



Figura 3.3. Presença de bolor e limo na fachada e Marquise.

Uma das causas prováveis para o surgimento dessas patologias seria a presença de umidade na estrutura de concreto, onde sua superfície sofre uma alteração, determinando em muitos casos, que seja feita uma recuperação ou até mesmo a aplicação de uma nova camada de revestimento. Alucci, Flauzino e Milano (1985 *apud* SOUZA, 2008), reforçam a ideia de que medidas de prevenção são indispensáveis para se evitar que o bolor aconteça nas edificações. Uma dessas medidas seria na fase de elaboração do projeto, onde deve ser garantida uma ventilação, iluminação e insolação adequada aos ambientes, bem como idealizar a diminuição de risco de condensação nas superfícies internas dos componentes, além de buscar evitar riscos de infiltração de água através de paredes, pisos e/ou tetos.

Todavia caso o projeto não tenha previsto esses fatores, e conseqüentemente a patologia ocorra, e caso não seja possível a prevenção, deve ser realizada a limpeza da superfície removendo a patologia, com emprego de soluções fungicidas podendo até ocorrer a troca de materiais que estejam contaminados por outros que resistam a ação de crescimento do bolor (SOUZA, 2008). No caso do ginásio, os pontos onde verificou-se a existência de bolor e limo, são locais ventilados, com iluminação natural frequente, visto que a maioria desses pontos estão nas colunas externas da quadra. Sendo assim observa-se que uma das possíveis causas para o surgimento dessas patologias seja o contato com a água proveniente da chuva, em função de respingos ou pela infiltração sofrida pelo solo e também da limpeza dos banheiros e dos vestiários.

Outro ponto encontrado com bolor foi a marquise. Para essa situação, o surgimento deve estar relacionado a falta de iluminação, ventilação e insolação, uma vez que a marquise está localizada dentro da quadra, que é um ambiente fechado, abafado, com pouquíssima ventilação. Também foi observado que a mesma fica em uma área totalmente desprotegida da água da chuva. Imagina-se que possivelmente não foram utilizados produtos impermeabilizantes durante a construção da mesma. Ou ainda, no caso de ter sido utilizado impermeabilizantes, a falta de manutenção contribui para a propagação e surgimento do bolor e do limo na estrutura.

3.3 Carbonatação

Para verificação da patologia de carbonatação, foram realizados testes com o emprego de fenolftaleína para a comprovação da possível existência.

O teste consiste na aplicação da solução na superfície recém exposta do concreto. A solução de fenolftaleína foi aplicada nos pontos onde havia deslocamento do concreto nos pilares externos da quadra do ginásio conforme figura 3.4, e em alguns pontos da caixa d'água nas figuras 3.5.



Figura 3.4. Trechos com carbonatação na quadra do ginásio.



Figura 3.5. Trechos com carbonatação na caixa d'água.

Observa-se nas figuras 3.4e 3.5 que nos elementos estudados foi notado a presença de CO₂. Este processo ocorre a uma velocidade decrescente, pois o CO₂ tem que se difundir através do sistema de poros, incluindo a região já carbonatada da superfície do concreto. A carbonatação provoca a redução do pH do concreto propiciando a despassivação da armadura. Com isso ocorre o processo de corrosão da armadura e posteriormente a expansão do aço, resultando no deslocamento do concreto. Isso causa a exposição da armadura deixando-a mais suscetível a agentes agressivos, havendo a perda da seção da armadura e conseqüentemente uma diminuição na resistência da peça. Outra consequência da carbonatação é a alteração da permeabilidade e do volume de poros do concreto em razão das alterações microestruturais causadas pelas reações químicas citadas na revisão bibliográfica, afirma Castro (2003).

Para combater a carbonatação, tem-se como método de prevenção medidas básicas, tais como: a armadura do concreto tem que ter o cobrimento mínimo necessário conforme as especificações estabelecida na NBR 6118:2014, que trata sobre Projeto de estrutura de concreto - procedimento; dosar o concreto com aditivos plastificantes ou superplastificantes; utilizar uma baixa relação a/c, proporcionando assim uma menor porosidade e sempre que possível, usar revestimento sobre a superfície de concreto armado.

3.4 Fissuras

Percebeu-se que nos pilares de concreto armado da quadra poliesportiva há presença de fissuras em muitos pontos. A figura 3.6 mostra o P1 e o P10 com várias fissuras no sentido longitudinal do elemento.



Figura 3.6. Pilar com fissuras.

Observa-se na figura 3.6 que os pilares apresentam fissuras ao longo da sua seção e em alguns trechos já indicam risco de deslocamento do concreto. Alguns pilares estão com a presença de aberturas e em alguns pontos apresentam-se com parte do concreto deslocado. A figura 3.7 indica esses pilares.

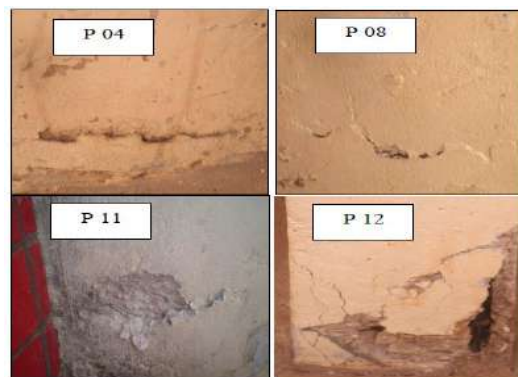


Figura 3.7. Pilares com aberturas e deslocamento do concreto.

Também foram notadas a existência de fissuras nas paredes e nos pilares do palco da quadra poliesportiva e em uma parede da sala de aula de balé. A figura 3.8 expõem a localização das fissuras observadas no palco e a 3.9 a indica a localização da fissura na sala de balé.



Figura 3.8. Fissuras no sentido transversal nas paredes e pilares do palco.



Figura 3.9. Fissuras na parede da sala de balé.

Faz parte do complexo tem-se uma caixa d'água que serve de apoio para o abastecimento do local. Na base da mesma notou-se fissuras na camada de revestimento, como mostra a figura 3.10 e 3.11.



Figura 3.10. Descolamento do revestimento da caixa d'água.



Figura 3.11. Caixa d'água com fissuras excessivas.

Percebeu-se que o reboco aplicado sobre a estrutura da caixa d'água apresenta fissuras e aberturas, inclusive com o risco de deslocamento do mesmo sobre os usuários do local. Tal fato pode ser atribuído a falta de aderência entre a superfície do concreto com o revestimento, provavelmente pela ausência do apicoamento recomendado para facilitar a aderência do reboco a superfície do concreto. Utilizando o medidor de fissuras, realizou-se em alguns pontos a verificação do tipo de abertura apresentada na caixa d'água conforme figura 3.12, e nos pilares da quadra poliesportiva figura 3.13.

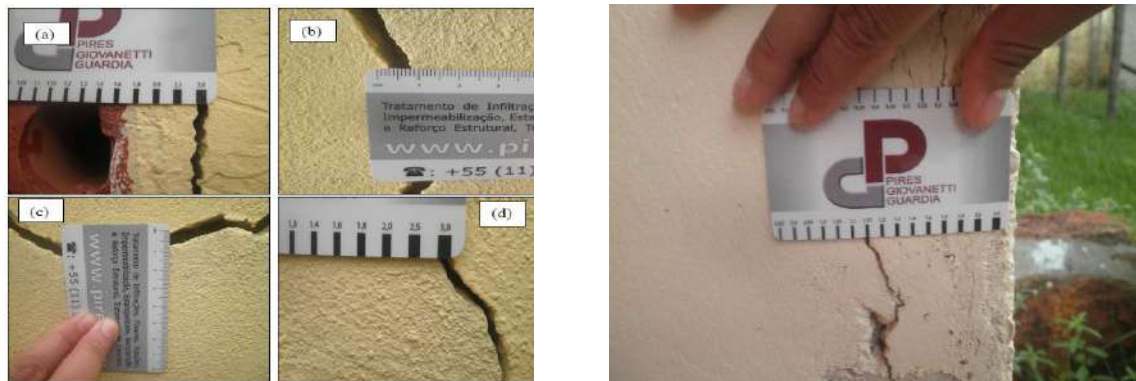


Figura 3.12. Verificação de aberturas na caixa d'água utilizando o fissurômetro.



Figura 3.13. Verificação das aberturas nos pilares da quadra utilizando o fissurômetro.

Analisando as figuras 3.12 e a 3.13, verifica-se que de acordo com o fissurômetro a classificação das aberturas quanto à dimensão da mesma são respectivamente: fenda (a), fenda (b), fenda (c), rachadura (d), trinca (e), e trinca (f). Todas essas fissuras e aberturas observadas podem ter origem em diversos pontos tais como: recalque, movimentação térmica, entre outros.

Observou-se também na figura 3.14, que por baixo da camada de reboco houve o lançamento de concreto em vários pontos. Em alguns destes pontos, foi possível observar o processo corrosivo presente na armadura e a penetração de CO₂. Já na figura 3.13, a causa provável para o surgimento dessas trincas presentes nos pilares pode ser devido a expansão da armadura do concreto decorrente da corrosão da mesma, resultando possivelmente no deslocamento do concreto.

Para detectar a causa provável da ocorrência dessas patologias deverá ser realizado um estudo mais detalhado. Todavia um dos fatores que talvez facilite o surgimento de patologias é o grau de porosidade do concreto, visto que este é um fator que influencia diretamente na resistência do mesmo. A intensidade dos poros do concreto é diretamente proporcional a relação a/c e inversamente proporcional a sua resistência.

3.5 Análise dos Defeitos Construtivos

Durante a pesquisa de campo, notou-se vários defeitos construtivos. O mais aparente são as deformações nos pilares, nas vigas, nas arquibancadas e no apoio da estrutura de aço da cobertura nos pilares. Essas deformações serão mostradas no decorrer desse tópico. A Figura 3.14 apresenta as imperfeições vistas nos pilares.



Figura 3.14. Pilares com imperfeições.

As arquibancadas da quadra do ginásio apresentam várias deformações na vista inferior das mesmas, como indica a figura 3.15. As vigas de sustentação das arquibancadas também estão com muitas imperfeições como nota-se na figura 3.15.



Figura 3.15. Deformação na parte inferior das arquibancadas e nas vigas.

3.6 Corrosão nas Armaduras

Essa patologia é uma das principais manifestações patológicas existentes no concreto armado. Sua causa pode estar relacionado há vários fatores, tais como: a espessura do cobrimento das armaduras, recomendados por normas; concreto executado com um fator a/c elevado, acarretando elevada porosidade do concreto e fissuras de retração; segregação do concreto com formação de ninhos de concretagem, entre outros.

A figura 3.16 mostra os pilares onde há a presença da armadura exposta. Na marquise e na base do guarda-corpo da quadra também foi notada a presença de armadura corroída, indicados na figura 3.17.



Figura 3.16. Presença de Corrosão nos pilares.



Figura 3.17. Base do guarda-corpo e superfície inferior da marquise corroida respectivamente.

Ressalta-se que com a armadura em processo de corrosão há uma diminuição na seção transversal da mesma. Para Helene (1993 *apud* BOTELHO e SILVA, 2008), para minimizar a corrosão da armadura, é indispensável que a armadura tenha um revestimento adequado, sendo que isto é uma ação isolante, ou de barreira, sendo exercida pelo concreto interpondo-se entre o meio corrosivo e a armadura, principalmente quando se trata de um concreto bem dosado, com pouca permeabilidade e compacto. Essa proteção impede a formação de células eletroquímicas, através da proteção física (estanqueidade) e da proteção química (reserva alcalina). A durabilidade depende da espessura, uniformidade e estanqueidade que o concreto de revestimento deva proporcionar ao longo do tempo às referidas armaduras e a apreciável reserva alcalina responsável pela passivação das armaduras.

Para minimizar os riscos de corrosão ou mesmo eliminá-los, o primeiro passo seria tomar medidas relacionadas ao projeto e execução. Há outras formas mais específicas para combater a corrosão das armaduras, como: utilização de métodos eletroquímicos, que consiste na proteção catódica e anódica da armadura; isolamento da armadura do eletrólito pelo uso de revestimentos, afirma Botelho e Silva (2008).

Necessita-se de correção, uma vez que as armaduras já estão em processo de corrosão e a partir disso, definir se a armadura será somente restaurada ou substituída. Independentemente da situação, o fato é que a armadura deve ser recuperada, para prevenir consequências futuras mais graves, como por exemplo o desabamento da estrutura.

3.7 Análise Geral das Patologias Identificadas nas Peças de Concreto Armado do Ginásio Poliesportivo

Durante a visita ao ginásio, identificou-se a existência de muitas patologias como já foi apresentado anteriormente. Para uma melhor visualização desses resultados, o gráfico 3.2, apresenta o quantitativo de cada patologia observada.

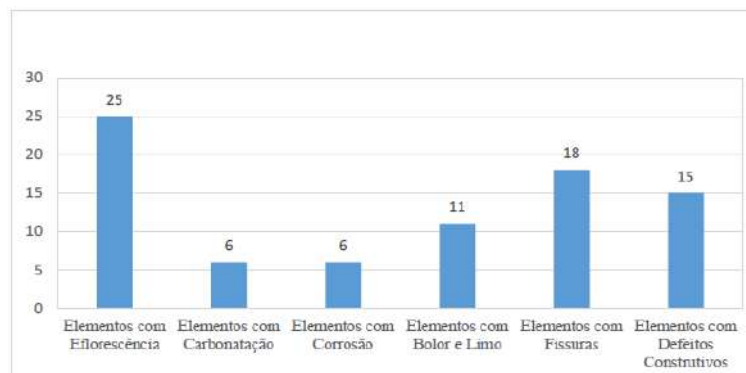


Gráfico 3.2. Quantitativo das Patologias Identificadas. Fonte – Elaboração própria.

De acordo com o gráfico, das ocorrências analisadas na quadra poliesportiva, a maior incidência foi a de eflorescência. Almeida (2008) relata que os problemas patológicos existentes na construção civil são evidenciados geralmente por meio de manifestações externas seguindo padrões característicos. A partir do momento que essas manifestações começam a ser analisadas, possibilitam investigar os sintomas, as causas, as origens e até mesmo, estimar prováveis consequências ligadas à evolução de cada patologia encontrada, proporcionando avaliar um possível diagnóstico seguida de uma adequada solução a ser aplicada.

3.8 Análise da Estrutura de Aço

Na estrutura metálica muitos trechos de corrosão foram observados. No encontro entre a montante e o banzo inferior está corroído, com a alma da montante apresentando o aço em processo de expansão, conforme indicado na figura 3.18. As bordas das mesas e alma das peças dos banzos inferiores da treliça estão deterioradas, com perda da seção dos perfis.



Figura 3.18. Aço em expansão na treliça e perda de perfil.

Percebe-se que em alguns pontos das treliças, os perfis da estrutura metálica do ginásio está com um elevado grau de corrosão, principalmente nas duas treliças localizadas na extremidade da estrutura. Uma das causas para tal ocorrência pode ser a exposição da estrutura a água pluviais, haja vista que dentre as nove treliças constituintes da estrutura, as mais afetadas pela corrosão são as da extremidade que estão desprotegidas das chuvas. No período do inverno, onde a frequência da chuva é maior, os banzos inferiores acumulam essa água, uma vez que não há pra onde escoar, e com isso as peças metálicas ficam em contato direto com essa água, facilitando e intensificando o processo de corrosão. Essa deterioração da estrutura deve ser minimizada e restaurado os trechos dos perfis em que houve a perda da seção, visto que tal fator influencia diretamente na resistência da peça, e por conseguinte, da estrutura como um todo.

Castro (1999) defende que o aço é um tipo material que precisa ser revestido com uma proteção, visto que a ausência dessa proteção implica na facilidade para a corrosão do aço e desproteção contra incêndio. A deterioração da armadura pode resultar na perda de estabilidade da estrutura, com isso a prevenção se torna uma ferramenta indispensável. Os meios mais usuais de prevenção contra a corrosão são a pintura e a galvanização ou ainda a adoção de aços com alta resistência à corrosão. Já a proteção contra incêndio é utilizada em determinadas circunstâncias como medida de segurança da estrutura para lhe garantir um determinado tempo de resistência ao fogo em caso do sinistro. Muitas vezes os dois revestimentos fazem parte da estética da edificação.

4. CONCLUSÃO

De acordo com o que foi constatado por análises visuais e ensaios efetuados in loco, pode-se concluir que durante o estudo realizado, várias patologias foram encontradas na estrutura de

concreto armado da quadra poliesportiva. A patologia mais frequente observada principalmente nos pilares de concreto foi à eflorescência. Todavia outras patologias também foram identificadas no complexo do ginásio, tais como: carbonatação, fissuras, trincas, corrosão da armadura, bolor e limo, defeitos construtivos. No caso da corrosão da armadura dos pilares pode se tratar de uma manifestação patológica devido a presença de outras patologias como por exemplo a carbonatação que causa a despassivação da armadura, ou seja, a perda da película de proteção. As condições de exposição da estrutura de concreto armado aos agentes agressivos causadores dessas patologias, pode acarretar em danos estruturais graves, podendo levar até mesmo ao colapso dos elementos como já foi dito anteriormente. Eliminar às causas que facilitam o surgimento de anomalias estruturais, é uma forma de prevenção contra o surgimento de manifestações de outras patologias, visto que uma patologia implica no surgimento de outras agravando ainda mais o problema. As fissuras existentes nos pilares de concreto armado podem ser um sintoma da existência de alguma patologia e para realizar um diagnóstico correto é necessário fazer um levantamento de dados e informações sobre: a construção, os materiais utilizados, o tipo de fundação, a técnica de construção adotada, análise dos projetos da edificação; ou seja é um trabalho minucioso antes de diagnosticar a causa real do tipo de patologia encontrada. A presença de água é um dos principais causadores do surgimento de muitas patologias, diante disso, se faz necessário a eliminação de todos os pontos propícios a esse tipo de exposição.

5. REFERÊNCIAS

Almeida, L. U. S.; (2012), “ *Corrosão em Armaduras de Concreto – Verificação do Processo Corrosivo em Pontes de Concreto Armado no Conjunto Feira VI, Feira de Santana – BA.*” Departamento de Tecnologia. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, p.26.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto-Procedimento*. Rio de Janeiro.

Barin, D. S.(2008). “*Carbonatação e Absorção Capilar em Concretos de Cimento Portland Branco com Altos Teores de Adição de Escória de Alto Forno e Ativador Químico.*” Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p.48.

Botelho, A. P.; Silva, D. da S. (20014), “*Corrosão de Armadura em Estruturas de Concreto Armado.*” *Trabalho de Conclusão de Curso*. Universidade da Amazônia, Belém. P.12.

Castro, E. M. C. de. (2014), “*Patologia dos Edifícios em Estrutura Metálica.*” Departamento de Engenharia Civil - Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal De Ouro Preto, p.10.

Castro, M. D. de; Martins, R. M. (2014), “*Análise e Sugestões Terapêuticas das Manifestações Patológicas de Infiltração de um Edifício com mais de 20 Anos*” – Estudo de Caso. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, p.09.

Cavaco, J. R. Z. (2008), “*Patologias nas Estruturas de Concreto Armado*” Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Regional de Blumenau, p.41.

Cunha, A. C. Q. da; Helene, P. R. L. (2021), “*Depassivação das Armaduras de Concreto por Ação da Carbonatação.*” Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, p. 75.

Gomes, N. de A.; “*Carbonatação do Concreto*”. Centro de Ciências e Exatas e de Tecnologia – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <<http://manifestacoespatologicas.blogspot.com.br/2013/05/carbonatacao-do-concreto.html>>. Acesso em: 13 de jun. 2014.

Lapa, J. S. (2008), “*Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto.*” Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Patologia,%20Recupera%E7%E3o%20e%20Reparo%20das%20Estruturas%20de%20Concreto.pdf>>. Acesso em: 04 de mar. 2014.

Lopes, E. M.(2003), “*A Influência da Umidade do Substrato no Desempenho De Revestimentos De Piso De Edifícios Dissertação*”. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p.03.

Mendes, F. (2013), “*Patologias de revestimentos*”. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://arquiteturacuriosa.blogspot.com.br/2013_12_01_archive.html >. Acesso em: 11 de ago. 2014. Ilustração.

Olivari, G (2003), “*Patologia em Edificações.*” Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2003. p.67.

Peres, R. M.(2001), “*Levantamento e Identificação de Manifestações Patológicas em Prédio Histórico – Um Estudo de Caso*”. Dissertação (Título de Mestre em Engenharia). Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio.

Polito, G.(2006), “*Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Causas, Mecanismos, Prevenção e Recuperação.*” Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.10.

Silva, A. C. S. da; Diniz, U. A. A.; Oliveira, J. B. de; Almeida, M. L. de; Souza, N. S. L de; Oliveira, S. L. de. (2010), “*A Reação Alcali-Agregado e suas Características.*” Departamento Acadêmico de Construção Civil – C. S. T em Construção de Edifícios. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, p.38.

Silva, C. F. C. da; (2008), “*Análise das Manifestações Patológicas de uma Edificação Residencial.*” Monografia (Título de Especialista em Inspeção, Manutenção e Recuperação de Estruturas). Escola Politécnica – Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade de Pernambuco, Recife, P.12.

Souza, M. F. (2008), “*Patologias Ocasionaladas pela Umidade nas edificações.*” Monografia (Especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Materiais de Construção. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, P.57.

Vitório, A. (2003), “*Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia.*” Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia. Recife, 2003.

Análise das manifestações patológicas em viaduto: estudo de caso em Barretos-SP.

Gonçalves. G. H. V.^{1*}, Rocha. L. B. G. da.¹, Marques Neto. J. da C.¹, Serra. S. M. B.¹

*Autor de Contato: gustavovital@hotmail.com.br

¹ Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil

RESUMO

As obras de arte especiais são estruturas que se encontram diretamente expostas à ação de agentes agressivos, estando sujeitas à deterioração dos elementos estruturais. O presente artigo refere-se a um estudo de caso realizado em um viaduto no município de Barretos, SP, cujo objetivo foi identificar, analisar as causas e propor terapias para as manifestações patológicas encontradas na estrutura do viaduto. Foi utilizada a metodologia proposta por Lichtenstein (1985), que se fundamenta em três etapas: análises de subsídio, diagnóstico e definição da conduta. Diversas manifestações patológicas foram observadas no viaduto, como corrosão da armadura, deslocamento do concreto, bolor, eflorescência, ninho de concretagem e fissuras. Conclui-se que existe a necessidade de realização de manutenções no viaduto, a fim de manter a estabilidade da estrutura e a segurança dos usuários.

Palavras chave: Viadutos; Manutenção preventiva; Corrosão; Anomalias; Obras de arte.

ABSTRACT

The works of art are special structures that are directly exposed to the action of aggressive agents, being subject to the deterioration of two structural elements. Or this article refers to a case study carried out on a viaduct outside the municipality of Barretos, SP, whose objective was to identify, analyze the causes and provide therapies for the pathological manifestations found in the structure of the viaduct. The methodology proposed by Lichtenstein (1985) was used, which is based on three stages: subsidy analysis, diagnosis and definition of conduct. Several pathological manifestations observed are not feasible, such as reinforcement corrosion, displacement of concrete, mold, efflorescence, concreting nest and cracks. It was concluded that there is a need to carry out impracticable maintenance, in order to maintain the stability of the structure and the safety of two users.

Keywords: Viaducts; Preventive maintenance; Corrosion; Anomalies; Works of art.

RESUMEN

Las obras de arte especiales son estructuras que están directamente expuestas a la acción de agentes agresivos, estando sujetas al deterioro de los elementos estructurales. Este artículo hace referencia a un estudio de caso realizado sobre un viaducto en el municipio de Barretos, SP, cuyo objetivo fue identificar, analizar las causas y proponer terapias para las manifestaciones patológicas encontradas en la estructura del viaducto. Se utilizó la metodología propuesta por Lichtenstein (1985), que se basa en tres etapas: análisis de subsidio, diagnóstico y definición de conducta. Se observaron diversas manifestaciones patológicas en el viaducto, como corrosión de armaduras, desconchado del hormigón, moho, eflorescencias, nido de hormigonado y fisuras. Se concluye que existe la necesidad de realizar el mantenimiento del viaducto, con el fin de mantener la estabilidad de la estructura y la seguridad de los usuarios.

Palabras llave: Viaductos; Manutención preventiva; Corrosión; Anomalías; Obras de arte.

1. INTRODUÇÃO

As obras de arte encontram-se expostas à agentes de deterioração e suscetíveis a manifestações patológicas diariamente, tal fato contribui diretamente para a redução de sua vida útil (SANTOS, 2017). Segundo a ABNT NBR 15575-1:2013 (ABNT, 2013), a vida útil de uma edificação consiste no período de tempo em que ela se mantém em condições de uso, durante as atividades para as quais foram projetadas e construídas. Este período pode variar em função de alguns fatores, como as características dos materiais utilizados, qualidade da construção, uso correto da edificação e manutenção das estruturas.

Segundo Iantas (2010), a falta de manutenção periódica é um dos fatores que permite que pequenas manifestações patológicas evoluam para problemas que prejudicam o desempenho da edificação, colocando em risco sua segurança estrutural, danificando sua estética, além de elevar o custo para a recuperação de sua estrutura.

No Brasil, a ausência de programas voltados à manutenção leva os órgãos responsáveis pelas obras públicas a priorizarem apenas a execução, desconsiderando a implementação de medidas relacionadas à conservação das edificações. Tal fato pode ser observado em obras de infraestrutura, especificamente as pontes e viadutos, visto que a falta de conservação dessas obras consiste em um dos maiores problemas enfrentados pelo sistema rodoviário (VITÓRIO, 2006).

Conhecidos como Obras de Arte Especiais (OAE), viadutos e pontes são edificações públicas importantes para o funcionamento de diversos sistemas viários. Suas estruturas podem ser constituídas de aço, madeira, concreto armado ou concreto protendido (MASCARENHAS et al., 2019).

De acordo com Laner (2001), os viadutos podem ser considerados verdadeiros equipamentos urbanos, promovendo melhores escoamentos das vias, vencendo acidentes geográficos e articulando cruzamentos. No entanto, suas estruturas possuem alto custo de construção, manutenção e recuperação.

A má gestão relacionada a conservação das OAEs vem gerando danos incalculáveis às estruturas, além de expor os usuários a riscos graves. Somente em 2018, dois viadutos de grande porte tiveram colapso parcial de suas estruturas. Tais acontecimentos, que ocorreram no viaduto do Eixão do Sul em Brasília e no Viaduto da marginal Pinheiro em São Paulo, poderiam ter sido evitados caso houvesse inspeções frequentes e realização de manutenções preventivas na estrutura (IBRAOP, 2018).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso em um viaduto localizado no município de Barretos, SP, com o intuito de analisar as manifestações patológicas, identificar as causas e propor possíveis intervenções de reparo nessa edificação.

2. METODOLOGIA

Apresenta-se neste capítulo a metodologia adotada no trabalho. Realizou-se um estudo de caso para detectar e analisar as manifestações patológicas em um viaduto localizado na cidade de Barretos, SP. Para isso, foram realizadas inspeções visuais e registros fotográficos das manifestações encontradas.

2.1 Local de realização do estudo de caso

O viaduto está localizado na Rodovia Assis Chateaubriand (SP 425) no km 94, no município de Barretos, SP, que faz ligação com a cidade de Guairá, SP. O microclima da cidade é caracterizado por estações com precipitação quentes e abafadas, enquanto estações de seca possuem temperaturas menores e clima árido.

O viaduto escolhido foi construído em concreto armado e apresenta uma grande quantidade de manifestações patológicas em sua estrutura. A Figura 1 apresenta a imagem do viaduto inspecionado.



Figura 1. Viaduto em Barretos, SP

2.2 Método adotado para a realização do estudo de caso

Para realizar as análises e diagnosticar as anomalias presentes no viaduto em que foi realizado o presente estudo de caso, foi adotado o método de análise de manifestações patológicas de Lichtenstein. Este método consiste em uma sequência de três etapas: o levantamento de subsídios, a elaboração do diagnóstico e a definição da conduta a ser seguida.

A etapa de levantamento de subsídios consiste em coletar as informações necessárias para o entendimento das manifestações patológicas. Essas informações podem ser obtidas por meio de vistorias no local, anamnese do caso, em que se realiza um levantamento histórico sobre a obra, resultado das análises e a realização de ensaios complementares, que ajudam na identificação da manifestação patológica (LICHTENSTEIN, 1985).

O diagnóstico tem como objetivo o entendimento e a delimitação de um quadro geral de fenômenos e manifestações. Pode ser descrito como um processo de geração de hipóteses a partir da análise dos dados coletados na etapa anterior, até que se chegue a uma correlação de prováveis manifestações patológicas com os sintomas encontrados (LICHTENSTEIN, 1985).

A última etapa do processo de análise de manifestações patológicas é a definição da conduta a ser seguida. Nesta etapa, são levantadas as hipóteses de evolução do problema, estabelecendo uma proposta de intervenção (LICHTENSTEIN, 1985).

2.3 Levantamento de subsídios, diagnóstico e definição de conduta

Foram realizadas vistorias nos dias 15/08/2020 e 15/10/2020, e através de inspeção visual in loco e registros fotográficos, analisou-se as manifestações patológicas encontradas no viaduto.

Além das vistorias, foram realizadas pesquisas junto aos órgãos públicos da cidade de Barretos, SP acerca do histórico da edificação, com o propósito de fazer uma anamnese do viaduto, a fim de se obter informações sobre quando a estrutura foi construída e se havia registros de manutenção.

Posteriormente, os dados coletados foram discutidos, avaliados e as possíveis causas foram determinadas. Também foram apontados os ensaios que devem ser realizados para constatação de cada manifestação patológica.

Em seguida, foram indicados os possíveis procedimentos e terapias que podem ser utilizados para a recuperação dos locais do viaduto onde houve ataques das manifestações patológicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados e analisados os resultados obtidos das inspeções in loco e das fotografias registradas, identificando quais as possíveis causas das principais manifestações patológicas encontradas no viaduto, e indicando possíveis terapias.

3.1 Levantamento histórico do viaduto

Foram realizadas pesquisas na prefeitura da cidade de Barretos, SP e no Departamento de Estradas e Rodagem (DER), no entanto, não foram encontrados documentos, memoriais, projetos ou demais registros acerca da construção da obra ou de manutenções realizadas durante sua vida útil. A única informação encontrada a respeito do viaduto foi a de que a responsabilidade e administração da obra foi de um extinto órgão privado. Diante disso, as análises das manifestações patológicas foram realizadas levando-se em consideração somente as inspeções visuais.

3.2 Manifestações patológicas encontradas na superestrutura do Viaduto

3.2.1 Tabuleiro Superior do Viaduto

No tabuleiro superior do viaduto, foi observado que algumas partes do guarda corpo encontravam-se completamente danificadas, como mostra a Figura 2a. Observou-se que houve a perda total da seção de concreto e as armaduras encontram-se expostas. Além disso, na extremidade do viaduto

há uma grande trinca por toda extensão transversal do pavimento asfáltico, como indicado na Figura 2b.



Figura 2 – (a) Corrosão da armadura do guarda-corpo (b) problemas na plataforma do tabuleiro

O guarda-corpo do Viaduto, apresentado na Figura 4a, possui contato direto com a ação da água da chuva, ou seja, possivelmente não houve o tratamento da superfície do concreto, deixando o elemento totalmente exposto a intempéries. Nesse caso, também é provável que os guarda-corpos tenham sofrido ataques por carbonatação, visto que o viaduto está exposto a um ambiente com alta concentração de CO₂, decorrente do alto fluxo de veículos que o utilizam.

Durante o processo de corrosão, o aço se expande em relação ao seu tamanho original, o que, conseqüentemente, pode ter ocasionado o deslocamento do concreto. Além disso, esta estrutura pode ter sido submetida a causas externas, como impactos, vandalismo, temporais e outros ataques. A trinca no asfalto, apresentada na Figura 4b, está localizada na divisa do pavimento da rodovia com o viaduto, portanto, o que pode ter provocado a abertura dessa região do asfalto foi a movimentação da estrutura do viaduto, devido ao carregamento dos veículos e movimentações térmicas da estrutura. Este problema também foi observado por Paixão et al. (2020) no Viaduto do Café em São Luís, MA, evidenciando a baixa realização de manutenções nos pavimentos dos viadutos.

3.2.2 Tabuleiro inferior do viaduto

Na laje do tabuleiro inferior do viaduto, exibida na Figura 3a, é possível observar que houve o processo de corrosão da armadura em alguns pontos, considerando-se o aparecimento de manchas de ferrugem na estrutura e pela exposição da armadura. Além disso, foi verificado a presença de umidade em todos os locais onde existem exposição da armadura.

Como mostrado na Figura 3b, observou-se que em uma das transversinas também houve o deslocamento da camada de cobertura, exibindo parte da armadura e, inclusive, barras que foram rompidas, indicando que possivelmente, houve o processo de corrosão da armadura.



Figura 3. (a) Corrosão da armadura na laje (b) corrosão da armadura na transversina

A umidade presente na estrutura foi um dos fatores críticos para o processo corrosivo das armaduras da laje e da transversina. Eventualmente, essa umidade é originada da água que penetra pela trinca formada no pavimento ou também por falha no sistema de drenagem do viaduto, o que faz com que água percole pelo tabuleiro, tal fato indica que o sistema de impermeabilização da estrutura é falho. Além disso, por ser uma estrutura antiga, há a possibilidade de que a camada de concreto de cobertura não seja suficiente para a proteção da armadura, deixando a estrutura vulnerável a ataques de agentes agressivos.

Essa região do viaduto também pode ter sido sujeita a ataques de carbonatação, contribuindo para despassivação da armadura. Além disso, devido ao processo corrosivo da armadura, houve uma expansão do aço, ocasionando deslocamento do concreto de cobertura, deixando a armadura exposta ao meio.

Em análises realizadas por Pintan (2013) em OAEs localizadas no município de Recife, PE, também foram observadas estruturas que apresentavam corrosão da armadura, devido a presença de umidade na estrutura e pela alta concentração de CO₂ no ambiente.

3.2.3 Balanço lateral do viaduto

Nas vigas, lajes e balanços laterais da superestrutura do viaduto, foi observada a existência de bolor e eflorescência, assim como áreas em que, possivelmente, houve corrosão da armadura, visto que existem manchas de ferrugem na superfície. A Figura 4 exibe um dos locais mais afetados por estas manifestações patológicas.



Figura 4. Bolor, eflorescência e manchas de ferrugem presentes no viaduto

O bolor e a eflorescência também são manifestações patológicas oriundas da presença de umidade. Estas manifestações patológicas podem ter sido ocasionadas pela falta de impermeabilização da estrutura e ineficiência dos drenos, os quais se encontram obstruídos e apresentam diâmetro pequeno, de modo que a água que escoar da plataforma se acumula nessa região do balanço, percolando a estrutura do viaduto. Além disso, essa área da estrutura está diretamente exposta à ação de chuvas, contribuindo para o acúmulo da umidade.

A ineficiência de drenos, semelhante às encontradas neste trabalho, também foi observada por Silva (2016) em análises realizadas em alguns viadutos de Recife, PE, nos quais a obstrução dos drenos provocou infiltrações no balanço da laje do tabuleiro, levando ao aparecimento de bolor e

eflorescência. Diante disso, o funcionamento adequado do sistema de drenagem do viaduto é imprescindível, de forma a evitar o acúmulo de umidade.

A presença de manchas de ferrugem na viga, como observado na Figura 6, pode ser indicio de corrosão da armadura que, eventualmente, foi ocasionada pela exposição da estrutura a intempéries e por ataques de carbonatação. A camada do concreto de cobrimento também pode ter contribuído para o processo corrosivo. Porém, como essa área não apresenta deslocamento do concreto e armadura exposta, é necessário realizar um estudo mais aprofundado, a fim de identificar se realmente está ocorrendo corrosão no local.

3.3 Manifestações Patológicas encontradas na mesoestrutura do viaduto

Foram encontradas diversas fissuras nos elementos estruturais do viaduto. Na Figura 5a, é possível observar a formação de uma fissura na estrutura de travamento do viaduto. Em um dos pilares, nota-se a presença de ninhos de concretagem e manchas de ferrugem, como mostra a Figura 5b.

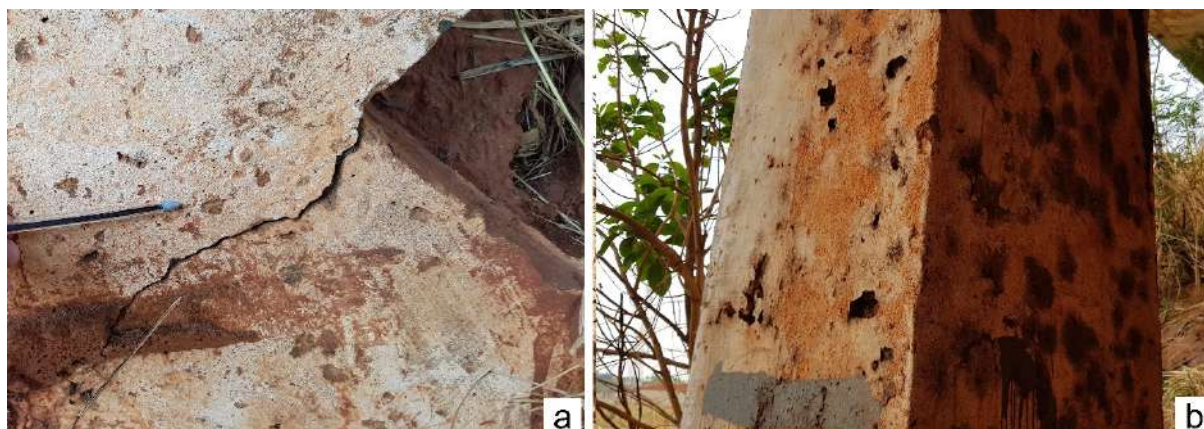


Figura 5 (a) Fissuras no viaduto (b) ninhos de concretagem

Como observado na Figura 5a, existe uma fissura no concreto na estrutura de travamento dos pilares. Eventualmente, ela pode ter sido ocasionada por recalque diferencial da fundação da estrutura ou pelo excesso de carregamento. Entretanto, para que seja possível diagnosticar corretamente a causa de uma fissura, é necessário que se realize um monitoramento mais preciso das aberturas.

Assim como em outras áreas do viaduto, o pilar indicado na Figura 5b está exposto ao CO₂ presente no ambiente e à ação da água da chuva, propiciando ataques por carbonatação, o que pode ter ocasionado o processo de corrosão da armadura em alguns pontos, evidenciados pela presença de manchas de ferrugem na superfície do concreto. Neste contexto, o fator que pode ter colaborado para entrada de agentes agressivos na peça são os ninhos de concretagem presentes na estrutura, causados por falhas durante a execução da concretagem, visto que as manchas de ferrugem se localizam próximo a eles.

3.4 Sugestões de ensaios e terapias a serem realizadas nos locais onde há presença de manifestações patológicas

Para realizar o tratamento correto e a restauração da estrutura, é necessário identificar o agente agressivo por meio de ensaios e estabelecer um diagnóstico para efetuar a correção necessária. Para

que o viaduto continue em funcionamento durante os estudos de identificação das manifestações patológicas, recomenda-se a utilização de ensaios não destrutivos.

3.4.1 Pontos de corrosão

Para identificar as causas do surgimento de corrosão das armaduras, é indicado que seja realizado o ensaio de carbonatação, por meio da verificação da profundidade da frente de carbonatação. Outro ensaio indicado para se obter um diagnóstico mais preciso é o de pacometria, para verificar a espessura do concreto de cobrimento. Desta maneira, pode-se obter dados importantes para analisar a situação dos pontos onde se evidenciam a corrosão do aço e adotar a estratégia correta de restauração do local.

De qualquer modo, as seções do guarda-corpo que foram totalmente deterioradas deverão ser reconstituídas. É importante que seja feito o tratamento das armaduras com inibidores de corrosão, assim como a impermeabilização do concreto, de forma a evitar o ressurgimento do problema.

Para a recuperação da laje e da transversina que apresentam armadura exposta, indica-se a remoção de todo o concreto deteriorado e dos produtos de corrosão. Caso tenha ocorrido perda de seção das armaduras superior a 10% de sua área, recomenda-se a substituição por novas barras de aço, dimensionadas de acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2014). As armaduras da transversina que foram rompidas deverão ser obrigatoriamente substituídas. Para proteção das armaduras, recomenda-se a aplicação de inibidores de corrosão a base de zinco, como o primer epóxi.

Após o procedimento de restauração das barras de aço, pode ser utilizado argamassa polimérica ou graute como forma de reparo do concreto, dependendo da profundidade do dano. Outra alternativa seria a utilização de concreto projetado, seguindo os métodos apresentados na NBR 14026 (ABNT, 2012).

Para evitar que o problema volte a surgir é de extrema importância que o pavimento asfáltico seja restaurado, pois a trinca é porta de entrada para a infiltração de água, prejudicando a estrutura do viaduto.

Para os locais onde não há exposição de armaduras, mas há presença de manchas de ferrugem no concreto, é necessário que sejam realizados ensaios específicos para constatar se está havendo corrosão da armadura, como o ensaio de potencial de corrosão.

3.4.2 Bolor e eflorescência

É necessário realizar a limpeza nos locais atingidos por fungos no concreto e removê-los. Para isso, pode-se realizar a lavagem dos locais afetados com solução de hipoclorito de sódio e, após o bolor ser removido, é necessário impermeabilizar corretamente a estrutura.

Para a remoção da eflorescência, pode-se realizar a limpeza através de jateamento de água ou escovação do local atingido, utilizando uma escova dura e seca. Em casos mais extremos, recomenda-se fazer o uso de soluções diluídas com ácido, tomando todos os devidos cuidados com a estrutura.

Para evitar a reincidência dessas manifestações, recomenda-se fazer a aplicação de material hidrofugante em toda a estrutura, visando impedir a infiltração da água no concreto. Também é importante que os drenos sejam desobstruídos e reparados, tendo em vista sua importância para prevenir a ação da água na estrutura.

3.4.3 Fissuras

Para realizar o tratamento das fissuras, deve-se obter um diagnóstico correto da causa. Para tanto, é necessário identificar sua profundidade e realizar uma análise da abertura, observando se a fissura está ativa ou não. Para realizar este monitoramento da fissura, podem ser utilizados ensaios com lâminas de vidro. Após o conhecimento da situação da fissura e a definição das prováveis causas,

é necessário designar os métodos corretos de restauração a serem realizados na estrutura. Além disso, é imprescindível que o reparo das fissuras seja realizado rapidamente, visto que ela pode ser porta de entrada para agentes agressivos.

4. CONCLUSÃO

Dando importância ao objetivo proposto neste estudo de caso, que foi identificar e analisar manifestações patológicas de um viaduto no município de Barretos, SP, por meio do método de Lichtenstein, e propor terapias para os problemas encontrados, verifica-se que a metodologia adotada se mostrou eficiente para este estudo.

Todavia, não foi possível obter informações sobre o histórico do viaduto e não foram realizados ensaios para comprovar as causas das manifestações patológicas, dificultando a elaboração de diagnósticos precisos, visto que as análises foram realizadas apenas por inspeções visuais.

Apesar disso, verificou-se que o viaduto se encontra em más condições. Este fato é constatado devido ao número significativo de manifestações patológicas encontradas. Dentre as manifestações identificadas no viaduto, foram detectadas as seguintes: ocorrência de corrosão da armadura, deslocamento do concreto, eflorescência, bolor, fissuras e ninho de concretagem.

A maioria das manifestações encontradas podem ter sido geradas devido à alta incidência da umidade na estrutura e a alta concentração de CO₂ no local, consequência do grande fluxo de veículos. Além disso, o Viaduto aparenta ser uma construção antiga, logo, pressupõe-se que o cobrimento do concreto, definido na fase de projeto, não é suficiente para a proteção da armadura, fator que pode ter acelerado o desenvolvimento das manifestações patológicas. O sistema de impermeabilização e de drenagem do viaduto também mostraram ser falhos.

Em síntese, de acordo com os resultados encontrados, pode-se dizer que a falta de inspeções e manutenções regulares foram fatores que contribuíram significativamente para o aumento das manifestações patológicas no viaduto, o que reforça a importância da implementação de programas voltados para a manutenção preventiva das obras de artes.

A partir das circunstâncias do viaduto e dos resultados obtidos pela análise, conclui-se que a estrutura precisa passar por um rigoroso programa de manutenção, de forma a manter o desempenho e aumentar a vida útil da estrutura, visto que a demora em iniciar os reparos adequados nesse viaduto pode comprometer sua estabilidade, colocando a segurança dos usuários em risco.

Para pesquisas futuras, sugere-se a realização dos ensaios indicados para constatação das manifestações patológicas, com ênfase no monitoramento das fissuras, além dos ensaios para identificação de corrosão da armadura, visto que a estrutura apresenta uma alta quantidade de manchas de ferrugem, sendo importante realizar um estudo preciso nessa área.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. B. F. Manifestações patológicas das estruturas de concreto armado. 2013. 42 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. e. Patologia das estruturas. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. v. 2. São Paulo, SP: IBRACON, 2005. Cap. 32, p. 953 - 983.

ARAUJO, C. J. R. V. Principais aspectos abordados na ABNT NBR 9452:2016, a importância das atividades de manutenção em pontes e viadutos e as dificuldades das condições de acesso às inspeções. Revista IPT, São Paulo, v. 1, n. 5, p. 17-40, ago. 2017. Disponível em: <http://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/42/46>. Acesso em: 30 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14026:2012: Concreto Projetado - Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1:2013: Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos gerais. 1 ed. Rio de Janeiro, 2013. 71 p.

BASTOS, H. C. N.; MIRANDA, M. Z. Principais patologias em estruturas de concreto de pontes e viadutos: manuseio e manutenção das obras de arte especiais. Construindo, Belo Horizonte, v. 9, p. 93-101, jul. 2017.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTO. (FIB 53) Structural Concrete Textbook on behaviour, design and performance. Second edition, Volume 3: Design of durable concrete structures, 2010, 390 p.

HELENE, P. R. L. Manual de reabilitação de Estruturas de Concreto: Reparo, Reforço e Proteção. 2. ed. São Paulo: Red Rehabilitar, editores, 2003. 718p.

IANTAS, L. C. Estudo de caso: Análise de Patologias estruturais em edificação de gestão pública. 2010. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção de Obras Públicas, Universidade do Paraná, Curitiba, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. Sobre a queda do viaduto da marginal em São Paulo. 2018. Disponível em: <http://www.ibraop.org.br/sobre-a-queda-do-viaduto-da-marginal-em-sao-paulo/>. Acesso em: 17 ago. 2020.

LANER, F. J. Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas no município de Porto Alegre. 2001. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LICHTENSTEIN, N. B. Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações. 1985. 31 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 1985.

LORENZI, A.; REGINATO, L.A.; LORENZI, L.s.; SILVA FILHO, L.C.P. Emprego de Ensaios Não Destrutivos para Inspeção de Estruturas de Concreto. Revista de Engenharia Civil Imed, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 3-13, 30 jun. 2016.

LOURENÇO, L. C.; ALVES, V. R.; JORDY, J. C.; MENDES, L. C. Parâmetros de avaliação de patologias em obras-de-arte especiais. Engenharia Civil, [S. L.], n. 34, p. 5-14, 2009.

MASCARENHAS, F. J. R.; CORTEZÃO, A. W. S.; AZEVEDO JÚNIOR, A. P.; ANDRADE, B. D.; OLIVEIRA, L. F.; VIANA, P. S. Patologias e inspeção de pontes em concreto armado: Estudo de caso da ponte Governador Magalhães Pinto. Engevista, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 288-302, maio 2019.

MATTOS, T. S. Programa para análise de superestruturas de pontes de concreto armado e protendido. 2001. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 22, p. 773 – 808.

NADALINI, A. C. V.; BISPO, A. O. Patologias em estruturas de concreto armado em ambiente marítimo. In: COBREAP. Inovações Científicas e Tecnológicas. Foz do Iguaçu, 2017. p. 1-25.

PAIXÃO, M. A. S.; BORBA, F. V.; ROCHA, J. P.; LIMA, K. B. A.; ARAÚJO, W. M. P.; VIANA, S. W. J. P.; FILHO, L. T. S. P. Manifestações Patológicas em obras de arte especiais: Estudo de caso de um viaduto Rodoviário em São Luís-MA. Revista Científica multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, São Luís, v. 5, p. 132-147, abr. 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/viaduto-rodoviario>. Acesso em: 20 out. 2020.

PETRY, S. B. Estudo da permeabilidade à água na camada de cobertura de protótipos de concretos com altos teores de cinza volante. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

PFEIL, W. Pontes em concreto armado. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1993.

PINTAN, N. M. Manifestações Patológicas e estudo da corrosão presente em pontes do Recife. 2013. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2013.

ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, A. L. Considerações sobre vida útil do concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1., 2005, São Carlos. Anais. Campinas: Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, 2005. p. 1-11.

SANTOS, F. M. A. Impactos da Aplicação da ABNT NBR 15.575/2013 nas Empresas de Edificações. 2017. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

SILVA, C. J. G. Uma amostra das condições estruturais e funcionais de pontes e viadutos das rodovias federais de pernambuco. 2016. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2016.

SITTER, W. R. Costs for Service Life Optimization. The “Law of Five”. In: CEBRILEM Durability of Concrete Structures. Proceedings of the Internacional Workshop held in Copenhagen, 1-20 May 1983. P. 131-134, Copenhagen, CEB, 1984. (Workshop Reported by Steen Rostam).

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.

VITÓRIO, A. Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia. Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia. Recife, 2003.

VITÓRIO, A. Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto. Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, 2006.

WAJDOWICZ, C. C. Elaboração de estrutura analítica de partição (EAP) para orçamentos referentes à recuperação das principais manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto armado. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

YAZIGI, R. Avaliação de carbonatação em viadutos em concreto armado. 2008. 185 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2008.

Manifestações patológicas em edifícios públicos no município de Viradouro - SP.

Gonçalves. G. H. V.^{1*}, Rocha. L. B. G. da.¹, Marques Neto. J. da C.¹, Serra. S. M. B.¹

*Autor de Contato: gustavovital@hotmail.com.br

¹ Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil

RESUMO

Nota-se um aumento significativo de manifestações patológicas em edificações, sendo de suma importância identificá-las, preveni-las e tratá-las, a fim de impedir problemas estruturais graves além dos danos estéticos. Este trabalho teve como objetivo realizar um diagnóstico das manifestações patológicas em edificações. Com este propósito, desenvolveu-se um estudo de caso, pautado na análise minuciosa de manifestações patológicas em edifícios públicos do município de Viradouro –SP, contando com registros fotográficos que comprovam os levantamentos. Desse modo, obteve-se como resultado as principais manifestações patológicas encontradas; os motivos que as acarretaram; a relevância da impermeabilização e da qualidade dos materiais utilizados em uma construção e a falta de manutenção preventiva e corretiva em edificações públicas.

Palavras chave: Manifestações patológicas; edificações públicas; anomalias; materiais.

ABSTRACT

There is a significant increase in pathologies in buildings, being of paramount importance to identify, prevent and treat them, in order to prevent serious structural problems in addition to aesthetic damage. This work aimed to make a diagnosis of pathological manifestations in buildings. For this purpose, a case study was developed, based on the detailed analysis of pathological manifestations in public buildings in the municipality of Viradouro - SP, with photographic records that prove the surveys. Thus, the main pathologies found were obtained as a result; the reasons that led to them; the relevance of waterproofing and the quality of the materials used in a construction and the lack of preventive and corrective maintenance in public buildings.

Keywords: Pathology; pathological manifestations; public buildings; anomalies; materials.

RESUMEN

Existe un aumento significativo de patologías en los edificios, siendo de suma importancia identificarlas, prevenirlas y tratarlas, con el fin de prevenir problemas estructurales graves además de daños estéticos. Este trabajo tuvo como objetivo realizar un diagnóstico de manifestaciones patológicas en edificaciones. Para ello, se desarrolló un estudio de caso, basado en el análisis detallado de manifestaciones patológicas en edificios públicos del municipio de Viradouro - SP, con registros fotográficos que acreditan las encuestas. Así, se obtuvieron como resultado las principales patologías encontradas; las razones que los llevaron; la relevancia de la impermeabilización y la calidad de los materiales utilizados en una construcción y la falta de mantenimiento preventivo y correctivo en los edificios públicos.

Palabras llave: Patología; manifestaciones patológicas; edificios públicos; anomalías materiales.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento do setor da construção civil foi inevitável a adaptação de novos materiais e novas tecnologias para evitar o surgimento de novas manifestações patológicas, porém é importante salientar que os materiais em si não são os causadores de novas anomalias, e sim a falta de mão de obra qualificada e o desconhecimento do emprego correto destas inovações, além da falta de manutenção preventiva (LIMA, 2015).

A execução de edificações de alta durabilidade é prioridade, sendo alcançada, especialmente, por meio da introdução de novos materiais, projetos e contratação especializada de colaboradores. No entanto, equívocos podem ser cometidos em diferentes estágios da construção, ocasionando problemas patológicos e comprometimento do desempenho das edificações até mesmo na fase inicial de sua ocupação (CAPORRINO, 2015).

A ocorrência de manifestações patológicas em edificações está ligada às falhas construtivas, de projeto e em sobrecargas na estrutura. Contudo, é importante ressaltar que as manifestações patológicas se manifestam em todos os tipos de estruturas, sendo elas antigas ou novas e bem projetadas (GONÇALVES, 2015).

É significativo considerar, no entanto, que o edifício e suas partes reagem com o meio e em função das condições de exposição a que estão submetidos sofrem uma série de fenômenos físicos, químicos e biológicos que podem provocar a queda de desempenho. Essa interação pode vir a se tornar sintomas e a situação tende a se agravar com o decorrer do tempo (VALLE, 2008).

Ao analisar um imóvel é de suma importância compreender o motivo do aparecimento e desenvolvimento da manifestação patológica em questão, sempre buscando o esclarecimento das causas antes das prescrições e, conseqüentemente, aplicação das correções, com o intuito de eliminar o problema identificado (SOUZA; RIPPER, 1998).

A falta de manutenção preventiva acaba contribuindo para o surgimento de anomalias que acarretam graves problemas estéticos ou estruturais e, por conseguinte, elevados gastos na tentativa de reparar a estrutura ou, em casos mais extremos, a condenação da edificação sendo necessário a demolição (BAUER, 2000).

Essa falta de manutenção está muito presente em prédios públicos. Visto que é frequente nos municípios brasileiros se deparar com edifícios utilizados para prestação de serviços para a população, tais como: creches, escolas, hospitais, postos de saúde, em situação precária, má conservação, pouca iluminação com infraestrutura debilitada, e diante de situações como essas, os próprios funcionários solucionam provisoriamente os problemas, por meio de “consertos” com materiais inadequados (GALVÃO, JOSÉ E GOMES, 2017).

Segundo a ABNT NBR 5674:2012 o órgão ou setor público responsável pela edificação, conseqüentemente está encarregado da manutenção da mesma, sendo seu dever acatar o que está determinado nas normas técnicas e no manual de operação, uso e manutenção, podendo conceder a gestão da manutenção para empresa ou profissional legalmente habilitado (ABNT, 2012).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo realizar o levantamento das manifestações patológicas encontradas nos prédios públicos no município de Viradouro - SP, além de propor soluções para reparar tais anomalias.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho caracteriza-se como um estudo de caso. Segundo CAMPOMAR (1991), o estudo de caso se enquadra em uma tipologia de pesquisa pautada em análise minuciosa, possibilitando examinar um ambiente e levantar dados.

Foram realizadas vistorias em cinco edificações públicas do município de Viradouro-SP no ano de 2020. As edificações escolhidas foram as que apresentaram maior número de anomalias e de maior gravidade.

A coleta de dados foi feita através de inspeção visual desses prédios. Não foram utilizados equipamentos físicos ou químicos para análise das anomalias. Foram registrados em planilhas os dados observados para posterior refinamento e análise dos resultados.

Durante a vistoria, fez-se uma lista dos principais problemas encontrados, buscando por meio de conversas com funcionários da prefeitura, como engenheiro, arquiteta, colaboradores que trabalham nos prédios analisados, para entender as possíveis causas das manifestações patológicas. Após o entendimento das causas passa-se a analisar quais seriam as melhores soluções de reparo, elaborando-se uma proposta na qual geralmente consta uma ou duas opções de reparo, buscando nessas soluções considerar duas questões primordiais: durabilidade e custo (não será abordada neste artigo a questão relativa às soluções de reparo).

Foi utilizado nas vistorias, um questionário realizado a partir do check-list da ABECE (2005) para adquirir dados que reforçam o que foi observado e analisado in loco. Houve a realização de pesquisas através de bibliografias especializadas com obtenção de dados fundamentais para esta pesquisa com a finalidade de embasar o estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise realizada in loco, constatou-se diversas manifestações patológicas nos edifícios públicos do município de Viradouro – SP, que foram identificadas com base no levantamento do referencial teórico deste trabalho.

3.1 Estudo de Caso 1

O descolamento de placas é uma patologia frequente em edificações. Na Figura 1, identifica-se uma deterioração do reboco devido à infiltração, observado no salão de festas denominado centro comunitário que se localiza na Av Manoel Inocência no município de Viradouro. Logo, observa-se na imagem o descolamento parcial do revestimento e, na parte superior da edificação, marcas de mofo.



Figura1. Deterioração do reboco devido a infiltração - Centro Comunitário, salão de festas de Viradouro/SP.

Quando as camadas do revestimento argamassado desprendem-se uma da outra, recebe-se o nome de descolamento. O revestimento tem por finalidade a proteção, segurança e conforto de uma edificação, o surgimento de descolamentos é bem mais que um problema estético (nota-se na figura o quão danificado está a estética do prédio em questão, dando impressão de abandono).

Durante a execução do projeto, falhas podem acarretar descolamentos futuros, tais como: escolhas de materiais inadequados, ou seja, incompatíveis com as condições de uso ou falhas técnicas. Essa patologia pode ser ocasionada por fatores externos, como por exemplo a umidade, conforme constatado na figura 1, observe a presença de manchas de bolor e mofo que constata a umidade presente no local.

Descolamentos são considerados graves, visto que podem causar acidentes e os custos de reparo são altos, pois a renovação do revestimento é necessária. Assim como as demais manifestações patológicas, estes podem ser evitados, por meio de elaboração de projetos detalhados, controle dos materiais, mão de obra qualificada.

Conforme Arivabene (2015), a umidade é uma das anomalias mais recorrentes em edificações. Pode causar sérias consequências à estrutura de uma construção, como vazamentos, infiltrações, manchas e eflorescência, e representa um dos problemas mais difíceis de serem corrigidos dentro da construção civil. Essa dificuldade está relacionada à complexidade dos fenômenos envolvidos e à falta de estudos e pesquisas.

O caso 1 apresenta descolamento com pulverulência, sendo perceptível a desagregação e o esfarelamento da argamassa, até mesmo quando pressionadas manualmente (ato realizado ao

examinar a edificação). Atente que além da argamassa, também há descolamento da película da tinta, o que caracteriza o descolamento mencionado.

Como terapia para a anomalia identificada cita-se a reiteração do revestimento com apicoamento da base, remoção da base hidrófuga e reaplicação do chapisco. É fundamental nesse caso que haja a eliminação da infiltração, após a remoção do revestimento, acrescentando um impermeabilizante e repondo um outro revestimento.

3.2 Estudo de Caso 2

O caso 2 representa uma situação comumente em prédios e residências. Conforme observado na imagem a seguir, a presença de bolor e mofo é visível na fachada da Prefeitura Municipal localizada na Praça Major Manoel Joaquim, 349 Viradouro SP. Nesse caso, a anomalia é excesso de umidade por se tratar de uma área externa, ocasionado quando a água da chuva penetra pela fachada como mostra a Figura 2.



Figura 2. Manchas de bolor e mofo - Prefeitura Municipal de Viradouro/SP

O excesso de umidade pode causar vários transtornos. Para edificações, pode danificar a estrutura e o revestimento do imóvel. Já para saúde dos moradores pode causar doenças respiratórias, alergias devido aparecimento de bolores e mofos. Na fachada, raramente ocorre por causa da permeabilidade dos materiais usados, mas sim pela ocorrência de fissuras (CINCOTTO, 1988).

Possíveis terapias para o problema: blocos de baixa movimentação interna, o que evitaria fissuras; projetar beirais, ressaltos ou molduras, impedindo a formação da lâmina de água; lavagem com solução de hipoclorito de sódio e aplicação de protetores de fachada (hidrofugante), troca de revestimento (argamassa).

3.3 Estudo de Caso 3

Fissura vertical por retração na alvenaria em ponto enfraquecido por tubulação embutida, encontrada em uma das dependências do Hospital e Maternidade São Vicente de Paula localizado na Rua do Hospital em Viradouro SP, conforme mostra a Figura 3.

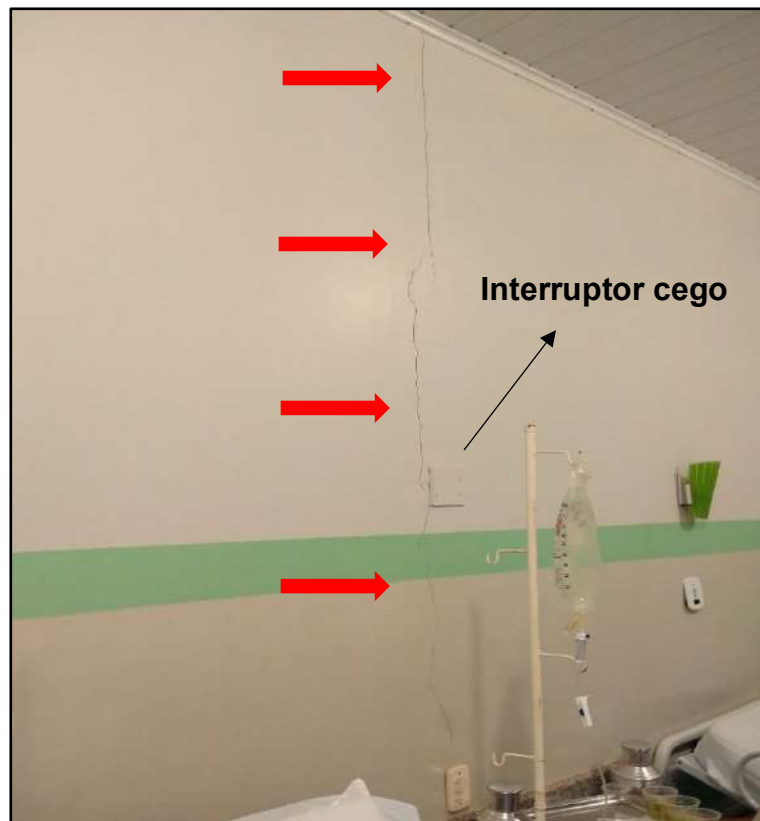


Figura 3. Fissura vertical de retração em alvenaria - Hospital e Maternidade São Vicente de Paula Viradouro/SP.

relacionados a exposição e deterioração da armadura. Mesmo não sendo estruturais acabam impactando negativamente na vida útil das estruturas, mesmo não condenando diretamente a estrutura, elas acabam facilitando a entrada de agentes oxidantes como água e oxigênio (Helene, 2003).

A retração das argamassas é determinante para o aparecimento e desenvolvimento de trincas e fissuras, além de destacamentos nas regiões de ligação com componentes estruturais. As fissuras poderão ocorrer nos encontros entre paredes, no terço médio de paredes muito extensas ou mesmo em seções enfraquecidas pela presença de eletrodutos ou tubulações hidráulicas e hidro sanitárias. Há vários modos de tratar esse tipo de fissura, dentre elas: aplicação de microcimento; fluorsilicato; nata de cimento ou tela adesiva de poliéster para reparo de fissuras a fim de fechar superficialmente as mesmas. É imprescindível efetuar a limpeza do local retirando a poeira, grãos de areia e partículas soltas das fissuras, empregando-se jato de ar limpo.

Fissuras e manchas são um sinal que a estrutura apresenta quando está sendo afetada por problemas

3.4 Estudo de Caso 4

O caso 4 apresenta corrosão em armaduras de concreto armado encontrada em duas edificações públicas. Na figura 4(a) ocorre corrosão em uma das vigotas da laje, nota-se a presença de umidade no local e o desprendimento do revestimento argamassado. Já na figura 4 (b) observa-se o descolamento do revestimento por consequência de algum impacto, e com isso fica exposta parte da armadura do pilar na fachada da edificação, podendo haver contato direto com água da chuva.



Figura 4. Corrosão em armaduras de concreto armado – Velório Municipal e Centro Comunitário Viradouro/SP.

A corrosão consiste na degradação dos materiais metálicos, ocorre quando uma película de eletrólito se forma sobre a superfície dos fios ou barras de aço, esta é causada pela presença de umidade no concreto e gera perda de seção.

A figura 4, tanto prédio (a) quanto (b) exemplifica uma corrosão eletroquímica, também conhecida como corrosão em meio aquoso, em virtude da presença de água na estrutura, ocorre, normalmente, à temperatura ambiente, é caracterizada pela transferência de elétrons, ou seja, formação de uma pilha ou célula de corrosão, havendo a circulação de elétrons na superfície metálica. Esse é o tipo mais comum de corrosão.

A corrosão eletroquímica envolve reações de oxirredução. Este tipo de reação acontece com a transferência de elétrons, esta pode ocorrer espontaneamente ou não. No caso da corrosão citada, as reações de oxirredução são todas espontâneas.

A pilha de corrosão é caracterizada pela ocorrência de reação de oxidação e redução juntas, porém para que isso ocorra, quatro elementos precisam existir: área anódica, onde ocorre a oxidação; área catódica, onde ocorre a redução; eletrólito, solução condutora de elétrons que cobre as áreas anódicas e catódicas simultaneamente e ligação elétrica entre as duas áreas. A área anódica corresponde à corrosão do aço, notória pela ferrugem, facilmente identificada na figura. A área catódica consiste na parte protegida do aço, onde não ocorre corrosão. O eletrólito é a água

encontrada na natureza contendo sais, ácidos ou bases, como por exemplo, cloretos, sulfatos e sulfetos. E a ligação elétrica é a própria peça.

A corrosão eletroquímica está presente em basicamente todos os locais onde identifica-se ferrugem. Para que a corrosão seja evitada, basta eliminar um dos quatro elementos essenciais para a formação da pilha, por se tratar de elementos naturais, será necessária a intervenção humana, através de uso de materiais especiais, mais resistentes à corrosão, como por exemplo, o aço inoxidável; aplicar barreiras por meio de pinturas com tintas desenvolvidas como película de proteção; utilização de métodos de proteção catódica ou anódica, um exemplo seria a aplicação de placas de zinco, porém exige manutenção, visto que o zinco necessita ser repostado.

Helene (2003) observa que, no Brasil, a manifestação patológica que mais preocupa é a corrosão de armaduras, pois se trata do processo mais agressivo aos vergalhões, ele gera ferrugem nas barras e conseqüentemente alteram sua seção comprometendo sua resistência e sua utilização.

Como solução para corrosão, é necessário a remoção do concreto de cobertura, a limpeza das barras de aço, aplicação do inibidor de corrosão, preparação da área de aplicação, recomposição do concreto com argamassa ou graute.

3.5 Estudo de Caso 5

Esse caso foi encontrado em duas paredes externas de um posto de saúde denominado PSF2 localizado na Rua Odilon Carvalho Braga, 220 Viradouro SP, e nele encontra-se a presença de manchas brancas sobre a pintura, caracterizando-se um caso de eflorescência. Essa patologia, na maioria dos cenários, se desenvolve por grande quantidade de umidade no local, e sua formação se dá pela existência de sais solúveis nos materiais.



Figura 5. Eflorescência em alvenarias – Posto de Saúde PSF2 Viradouro/SP

As eflorescências podem ser superficiais, afetando somente o aspecto visual ou mais graves, quando atingem a parte estrutural do revestimento. O caso 5 exemplifica as superficiais, nota-se pela imagem que as manchas danificam a estética da edificação. Vale salientar que se trata de uma pintura recente, caso não sejam solucionadas, acarretarão em degradação do revestimento.

Há três condições fundamentais para que apareçam eflorescências: quantidade de sais solúveis, presença de água e pressão hidrostática. A água (da chuva ou solo) é empurrada pela pressão hidrostática para fora do revestimento, carregando consigo os sais e, por evaporação, a água sai, deixando o depósito salino na superfície, o que ocasionam as manchas esbranquiçadas. Alguns outros fatores contribuem para essa patologia: excesso de água no processo de preparação das juntas; umidade constante; sais solúveis presentes no componente da alvenaria ou no amassamento da argamassa; utilização de cal não carbonatada.

De acordo com Menezes (2006) a existência de infiltração no imóvel representa grandes riscos à saúde, prejuízos financeiros tanto para consertar os danos, quanto a desvalorização do imóvel. Existem fatores que podem gerar aumento da intensidade e do número de patologias e problemas frequentes causados por umidade.

Como a principal causa é a presença de umidade, como terapia é necessário que elimine a infiltração. Primeiro passo é a verificação da mesma, caso a infiltração seja encontrada, deve-se eliminá-la. Logo após, lavagem do local com solução de ácido e impermeabilização com aplicação de 5% de hidrofugante na argamassa de proteção. Há também a possibilidade de aplicação de conversor de eflorescência, que reage com a cal livre presente nas argamassas e concretos e ao transformar em compostos endurecidos, elimina essa patologia, porém a mesma pode voltar, caso ocorra nova infiltração de água na área e por fim aplicação de impermeabilizante (hidrofugante).

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou o levantamento e a análise de manifestações patológicas recorrentes em edificações: trincas, fissuras, rachaduras, infiltrações, mofo, descolamento, corrosão de armaduras e eflorescências. Além disso, permitiu a realização de um estudo de caso visando a obtenção de dados mais consistentes sobre o tema em questão, tais como: causas, possíveis soluções e prevenções.

A gestão de prédios públicos exige de seus gestores, conhecimentos de ordem técnica, legal e administrativa. A segurança, a saúde e o bem estar dos usuários de prédios do Estado dependem de planejamento e eventualmente de ações rápidas de seus gestores no sentido de mantê-los em condições de funcionamento.

Ao examinar os prédios públicos selecionados no município de Viradouro – SP, comprovou-se o quão comumente é o aparecimento das manifestações patológicas abordadas no trabalho. A escolha por prédios públicos se deu pela falta de manutenção evidente, muitas vezes por descuido, falta de verbas ou contratação qualificada para solucionar as falhas.

Dada a importância do tema, o trabalho apontou a falta de manutenção preventiva e corretiva em prédios públicos, visto que alguns dos prédios analisados encontram-se em situação de abandono, como é o caso do Centro Comunitário e Velório, outros foram reformados recentemente e já apresentam manifestações patológicas, como é o caso do Posto de Saúde com eflorescências. Há ainda aqueles que entram em reformas por longos períodos, como a Prefeitura Municipal.

A grande quantidade de situações, muitas vezes interconectadas, evidenciam um quadro complexo de ser gerido. Para que se possa otimizar o esforço da gestão pública seria conveniente que fossem identificados e atacados aqueles problemas considerados mais críticos. A gestão da manutenção em prédios públicos, portanto, deve ser entendida como uma ferramenta através da qual se poderá alcançar a conservação de construções, materiais e equipamentos com poder transformador na cultura da comunidade.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL (Pernambuco). Checklist para vistoria de edificações em concreto armado. Recife: Abece, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: Abnt, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: Abnt, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro: Abnt, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: Abnt, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro: Abnt, 2013.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

AMBRÓSIO, Thais da Silva. Patologia, tratamento e reforço de estruturas de concreto no metrô de São Paulo. Trabalho de conclusão de curso: São Paulo, 2004.

ARIVABENE, Antonio Cesar. Manifestações patológicas em Estruturas de Concreto Armado Estudo de Caso. 2015. 22 f. Monografia (Especialização) - Curso de Mba Gerenciamento de Obras, Tecnologia e Qualidade da Construção, Instituto de Pós-graduação – Ipog, Vitória, 2015.

BAÍA, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. Projeto e execução de revestimento de argamassa. 4. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2008.

BARROS, M.M.B. et al. Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos verticais. EPSUSP/ PCC. São Paulo, 1997. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/18909609/patologia-das-construcoes/7>>

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. Materiais de construção. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, 2000. 488 p.

BAUER, R. J. F. Patologia em revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA ARGAMASSA, 2. 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997. p. 321-362.

CAMPOMAR, M. C. Do uso de "estudo de caso" em pesquisas para dissertações e teses em administração. Revista de Administração, São Paulo, v.26, n. 3, p. 95-7, 1991.

CAPORRINO, Cristina Furlan. Patologia das anomalias em alvenarias e revestimentos argamassados. São Paulo: Pini, 2015.

CARASEK, H. Argamassas. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Carasek, H. São Paulo, Ibracon, 2010. Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf>, Acesso em 02 de agos. de 2021.

CINCOTTO, M.A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações in: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Ed. Pini. 1988.

COSTA, Vitor Coutinho de Camargo. Patologia em edificações ênfase em estruturas de concreto. 2009. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2009.

COSTA, Pedro Laranja D'araujo. Manifestações patológicas no processo executivo de revestimentos de fachadas de edifícios. 2013. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

GALVÃO, Dennis; JOSÉ, Jardeson; GOMES, Márcio. Manutenção em prédios públicos. 2017. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 2017.

GODOY, Arilda Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. RAE - Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

HELENE, Paulo Roberto Lago. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2ª ed. São Paulo, Pini, 1992.

HELENE, Paulo Roberto Lago. Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. São Paulo: Pini, 1997.

HELENE, Paulo Roberto Lago. Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos, 2001.

HELENE, Paulo R. Do Lago. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. São Paulo, Red Rehabilitar, 2003.

JUNIOR, Clémenceau Chiabi Saliba. TRINCAS NAS EDIFICAÇÕES. Obras On Line, Minas Gerais, 2006.

LAPA, José Silva. Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto. 2008. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LIMA, Bruno Santos de. Principais manifestações patológicas em edificações residenciais multifamiliares. 2015. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

LOTTERMANN, Fabrício Nunes da. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: ESTUDO DE CASO. 2013. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

MEDEIROS, Marcelo. Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos. 2008. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos_6412_0_1>. Acesso em: 03 dez. 2020.

MENEZES, R. R. et al. Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção – revisão. Revista Cerâmica, v. 52, p. 37-49.2006.

NAKAMURA, J. Revestimento argamassado: Conheça as camadas que compõem um revestimento à base de argamassa e suas respectivas funções. Revista Equipe de obra. Agosto, 2013. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/62/revestimento-argamassado-conheca-as-camadas-que-compoem-um-revestimento-292697-1.aspx>>. Acesso em: 03 dez. 2020.

SOUZA, G. F. Eflorescências nas argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA ARGAMASSA, 2. 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997. p. 341-353.

THOMAZ, Ercio. Trincas em edifícios: Causas, prevenções e recuperação. São Paulo: Pini, 2014.

Avaliação da satisfação do usuário quanto ao estado de conservação de conjuntos habitacionais de interesse social do PAR: estudo de caso

T.M, Brandelli¹, V.S, Costa^{1*}, C.M, Paliga¹, A.S, Torres¹

*Autor de Contacto: vitoriascosta@yahoo.com.br

¹ Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

RESUMO

No Brasil, a demanda de moradias da população de baixa renda é suprida por meio da produção de conjuntos habitacionais pelo governo federal. O objetivo é avaliar a percepção do usuário em relação às manifestações patológicas presentes nas fachadas de três conjuntos habitacionais do Programa de Arrendamento Residencial (PAR), na cidade de Pelotas/RS, através de procedimentos metodológicos de Avaliação Pós-Ocupação (APO). Os conjuntos habitacionais têm idade de construção de 16,15 e 14 anos. Foi realizada a APO quanto ao estado de conservação das fachadas, através da aplicação de formulários aos moradores. Verificou-se que a presença de danos - fissuras e trincas, umidade, sujidade e descolamento de revestimento - nas fachadas acarreta maior insatisfação dos moradores com a aparência das edificações.

Palavras-chave: Manifestações patológicas; Avaliação pós-ocupação; Habitação de interesse social; Fachadas; Conservação.

RESUMEN

En Brasil, la demanda de vivienda de la población de bajos ingresos se satisface mediante la producción de proyectos habitacionales por parte del gobierno federal. El objetivo es evaluar la percepción del usuario en relación a las manifestaciones patológicas presentes en las fachadas de tres proyectos habitacionales del Programa de Arrendamiento Residencial (PAR), en la ciudad de Pelotas / RS, mediante procedimientos metodológicos de Evaluación Post-Ocupación (APO). Las urbanizaciones tienen una antigüedad de construcción de 16,15 y 14 años. El APO se realizó sobre el estado de conservación de las fachadas, mediante la aplicación de formularios a los vecinos. Se encontró que la presencia de daños - grietas y grietas, humedad, suciedad y descamación del revestimiento - en las fachadas provoca un mayor descontento entre los residentes con el aspecto de los edificios.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas; Evaluación posterior a la ocupación; Vivienda de interés social; Fachadas; Conservación.

ABSTRACT

In Brazil, the demand for housing of the low-income population is met through the production of housing projects by the federal government. The objective is to evaluate the user's perception in

relation to pathological manifestations present on the facades of three housing projects of the Residential Lease Program (PAR), in the city of Pelotas/RS, through methodological procedures of Post-Occupation Assessment (APO). The housing developments have a construction age of 16,15 and 14 years. The APO was carried out regarding the state of conservation of the facades, through the application of forms to the residents. It was found that the presence of damage - cracks and cracks, moisture, dirt and peeling of the coating - on the facades causes greater dissatisfaction among residents with the appearance of the buildings.

Keywords: Pathological manifestations; Post-occupation assessment; Social interest housing; Facades; Conservation.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem significativo impacto ambiental, social e econômico numa sociedade. As atividades de construção fornecem ao ser humano edificações e instalações que satisfazem suas necessidades, além de proporcionar oportunidades de emprego e contribuir para a economia nacional. Entretanto, junto as vantagens, decorrem o consumo de recursos naturais e energéticos e a geração de poluentes e resíduos durante as atividades de produção, de manutenção e de demolição das edificações (Zuo; Zhao, 2014; John, 2001).

De acordo com a NBR 5674 (ABNT, 2012), para garantir uma maior vida útil, desde o início do uso de uma edificação devem ser realizados serviços de manutenção, sejam eles de caráter rotineiro, corretivo ou preventivo, e que, apesar do custo relevante na fase de uso, devem ser entendidos como investimento na preservação da mesma.

No entanto, no Brasil, as ações de manutenção predial são culturalmente vistas como despesas inconvenientes. As ações normalmente são realizadas somente para correção de falhas ou anomalias, desconhecendo a necessidade de periodicidades das atividades de manutenção preventivas, contribuindo significativamente para a depreciação prematura das edificações (Vieira, 2015). Shimbo e Martins (2002) destacam que, no caso de habitações de interesse social (HIS), os serviços de manutenção não são priorizados pelos programas habitacionais, por objetivar atender critérios mais quantitativos do que qualitativos, simplesmente voltados ao número de unidades habitacionais produzidas. Além disso, a minimização de custos e prazos de construção fazem surgir problemas quanto ao desempenho dos empreendimentos (Stuckert; Sobrinho Junior, 2016).

Na cidade de Pelotas, no Rio Grande do Sul, foram implantados 21 conjuntos habitacionais pelo Programa de Arrendamento Residencial (PAR) entre os anos de 2002 e 2008, de duas tipologias diferentes, uma de casas geminadas de dois pavimentos e outra edifícios de apartamentos de quatro ou cinco pavimentos. Até 2004, o PAR funcionava na modalidade Normal, atendendo moradores na faixa entre três a seis salários mínimos. Porém, objetivando atender uma faixa de renda mais baixa, de dois a quatro salários-mínimos, foi criado o PAR na modalidade Especial, reduzindo as especificações mínimas de projeto e execução. Tal fato alterou a legislação da cidade de Pelotas, permitindo a construção de edificações de até cinco pavimentos sem elevador, que até então eram de no máximo de quatro pavimentos (Chiarelli, 2014).

Avaliação Pós-Ocupação (APO), segundo Medvedovski et al. (2005), pode ser entendida como um método de avaliação dos ambientes construídos que apresenta como principal característica a participação dos usuários no processo de análise. Seu objetivo principal é avaliar o desempenho da edificação em uso, buscando minimizar ou corrigir problemas detectados no ambiente construído utilizando os resultados dessas avaliações como realimentadores do ciclo do processo de projeto, produção e manutenção. De acordo com Roméro e Ornstein (2003), a APO utiliza uma série de métodos e técnicas que diagnosticam fatores positivos e negativos do ambiente no decorrer do uso, levando em consideração o ponto de vista dos avaliadores técnicos bem como dos usuários. Propõe-

se, portanto, aferir o nível de satisfação dos usuários sem minimizar a importância da avaliação do desempenho, realizando análises, diagnósticos e recomendações a partir de objetos reais. Baseado no exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a percepção do usuário em relação às manifestações patológicas presentes nas fachadas de três conjuntos habitacionais de interesse social do PAR - Residencial Regente, Residencial Jardins da Baronesa e Residencial Estrela Gaúcha – localizados na cidade de Pelotas/RS, através de procedimentos metodológicos de Avaliação Pós-Ocupação (APO).

2. MÉTODO

Primeiramente, para o desenvolvimento desta pesquisa e aplicação do método proposto, fez-se necessário a escolha dos objetos de estudo. Os condomínios de habitação de interesse social analisados localizam-se na cidade de Pelotas/RS e foram escolhidos como estudo de caso por serem um dos primeiros residenciais executados. Os residenciais Jardins da Baronesa (Figura 01), Regente (Figura 02) e Estrela Gaúcha (Figura 03) foram entregues nos anos de 2005, 2006 e 2007 e apresentam as características descritas na Tabela 01.

Nome do Conjunto	Nº de unidades habitacionais	Nº de pav.	Modalidade	Implantação	Entorno
Residencial Jardins da Baronesa	96	4	Normal	Dois edifícios de quatro pavimentos. Entre as fitas estão localizados a quadra esportiva, o playground e o salão de festas, formado por uma edificação térrea.	Área urbana consolidada. Entorno é cercado por edificações de pequeno porte.
Residencial Regente	124	4	Normal	Quatro edifícios de quatro pavimentos dispostos de forma periférica no lote, ao redor de um pátio central, composto pela quadra de esportes e pelo playground.	Área urbana consolidada. Entorno é cercado por edificações de pequeno porte. Entretanto, ao sul do conjunto, existem outros conjuntos habitacionais.
Residencial Estrela Gaúcha	300	5	Especial	Quatro edifícios de cinco pavimentos dispostos de forma periférica no lote ao redor de um corredor central, os edifícios foram implantados distantes da via pública mais ao fundo do terreno.	Área urbana pouco consolidada da cidade, com uma vizinhança formada por lotes não edificados.



Figura 01 - Portão de acesso do Residencial Jardins da Baronesa.
Fonte: Google Earth (2021).



Figura 02 - Portão de acesso do Residencial Regente.
Fonte: Google Earth (2021).



Figura 03 - Portão de acesso do Residencial Estrela Gaúcha.
Fonte: Google Earth (2021).

Como método de avaliação da satisfação do usuário foi realizada a aplicação de formulários com os moradores, sendo eles proprietários, arrendatários ou locatários, aplicados nas áreas condominiais. O formulário é o método mais utilizado para obter informações sobre relações entre usuários e ambientes construídos, este instrumento é preenchido com a presença do pesquisador (Romero; Ornstein, 2003). Ademais, conforme explica Ornstein, Ono e Oliveira (2017), durante a aplicação do formulário, quando o preenchimento é realizado pelo pesquisador, lendo o enunciado

de cada questão e as alternativas de respostas ao morador e podendo esclarecer eventuais dúvidas, existe maior clareza e inteligibilidade das questões.

Neste estudo foi utilizado o mesmo formulário produzido e empregado por Silva (2016). Conforme a Figura 04, o formulário contempla apenas treze perguntas, sendo as seis primeiras referentes ao morador e as seguintes acerca da situação atual das fachadas, das atividades de manutenção e gestão condominial. Foram adaptadas somente as informações específicas de cada estudo de caso nos formulários, como os blocos e o número de pavimentos do conjunto.

1. Qual bloco você mora?	
<input type="checkbox"/>	Bloco A
<input type="checkbox"/>	Bloco B
<input type="checkbox"/>	Bloco C
<input type="checkbox"/>	Bloco D
2. Qual pavimento você mora?	
<input type="checkbox"/>	1° (Térreo)
<input type="checkbox"/>	2°
<input type="checkbox"/>	3°
<input type="checkbox"/>	4°
<input type="checkbox"/>	5°
3. Qual seu sexo?	
<input type="checkbox"/>	Feminino
<input type="checkbox"/>	Masculino
4. Qual sua faixa etária?	
<input type="checkbox"/>	Até 24 anos
<input type="checkbox"/>	25 a 39 anos
<input type="checkbox"/>	40 a 59 anos
<input type="checkbox"/>	Mais de 60 anos
5. Em relação ao seu apartamento, você é	
<input type="checkbox"/>	Proprietário
<input type="checkbox"/>	Inquilino (aluguel)
<input type="checkbox"/>	Arrendatário
6. Qual o número de pessoas que moram no seu apartamento?	
<input type="checkbox"/>	1 pessoa
<input type="checkbox"/>	2 pessoas
<input type="checkbox"/>	3 pessoas
<input type="checkbox"/>	4 ou mais pessoas
7. Você já reparou nos problemas (danos) existentes nas fachadas dos prédios do seu condomínio?	
<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não
8. Esses problemas incomodam?	
<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não
9. Enumere em ordem de prioridade (1 - muito, 2- mais, 3 - médio, 4- menos, 5-pouco) qual mais chama sua atenção?	
<input type="checkbox"/>	Umidade (bolor-fungo-preto fachada; musgos; limos; manchas esverdeadas; vegetação parasitária; eflorescências; empolamentos...)
<input type="checkbox"/>	Fissuras/Trincas (horizontais; verticais; inclinadas; mapeadas)
<input type="checkbox"/>	Descolamento de revestimentos (reboco ou pintura) (cantos das paredes; contorno de janelas-grades; buracos de ar-condicionado; antenas ou varais; descolamento de tinta da viga de fundação, peitoril ou reboco...)
<input type="checkbox"/>	Sujidade (respingos oriundos de janelas; manchas de corrosão; riscos, desenhos ou escritas...)
10. Você já realizou algum tipo de reclamação para a imobiliária administradora de problemas ocorridos nas fachadas?	
<input type="checkbox"/>	Não
<input type="checkbox"/>	Sim – Qual?

11. Você acha que o prédio necessita de manutenção nas fachadas?	
<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não
12. De manutenção nas fachadas o que você mais acha necessário? Enumere em ordem de prioridade (1- mais, 2- mais ou menos, 3- menos)	
<input type="checkbox"/>	Lavagem
<input type="checkbox"/>	Pintura
<input type="checkbox"/>	Reparos no revestimento (reboco)
13. Como você considera a situação atual das fachadas dos prédios?	
<input type="checkbox"/>	Boa
<input type="checkbox"/>	Razoável
<input type="checkbox"/>	Ruim

Figura 04. Formulário aplicado aos usuários do condomínio.

Os formulários foram aplicados a uma amostra de 30 pessoas por conjunto habitacional, pois, de acordo com Roméro e Ornstein (2003), num estudo de Avaliação Pós-Ocupação, para os questionários cumprirem satisfatoriamente seus objetivos, não devem ser feitos questionários com amostras inferiores a 30 pessoas.

Após a tabulação dos dados dos formulários no Excel, foi realizado o cruzamento dos resultados, executando uma análise comparativa entre a percepção do usuário e o levantamento de manifestações patológicas que possibilitou avaliar a satisfação dos moradores sobre o atual estado de conservação das fachadas.

Conforme realizado por Silva (2016), para análise dos dados foram conferidos pesos para as respostas dos usuários. Para obter o grau de visibilidade do usuário em relação a cada manifestação patológica foram colocados pesos para cada resposta, para “muito” foi utilizado peso 4, para “mais” peso 3, para “mais ou menos” peso 2 e para “menos” peso 1, resultando na porcentagem de relevância de cada dano para o morador. A fim de obter a porcentagem da necessidade das ações de manutenção por ordem de prioridade, os pesos foram para “mais” peso 3, para “mais ou menos” peso 2 e para “menos” peso 1. Por fim, para o cálculo da satisfação, foi atribuído para “bom” peso 3, “razoável” peso 2 e “ruim” peso 1, obtendo-se a porcentagem de cada categoria.

3. RESULTADOS

Nessa seção serão apresentados os resultados provenientes da elaboração da APO dos três conjuntos habitacionais de interesse social do PAR: Residencial Regente, Residencial Jardins da Baronesa e Residencial Estrela Gaúcha.

3.1 Residencial Regente

No Residencial Regente, a maioria dos respondentes foram do sexo feminino (80%) entre 25 e 39 anos (40%) e 40 a 59 anos (30%). A maioria dos respondentes, 67%, é arrendatário do apartamento, outros 27% são proprietários e 6% inquilinos.

Foram aplicados formulários com moradores dos quatro edifícios do Residencial Regente, sendo 34% dos respondentes dos Blocos G ou H, 30% dos Blocos C ou D, 23% dos Blocos A ou B e 13% dos Blocos E ou F, espalhados entre os quatro pavimentos do conjunto, sendo 30% do 3º pavimento, 30% do 1º pavimento, 27% do 2º pavimento e 13% do 4º pavimento.

Quanto à quantidade de moradores por unidade habitacional, 40% dos apartamentos dos moradores respondentes são habitados por duas pessoas, seguidos de 20% por quatro ou mais pessoas, 20% por três pessoas e 20% por uma pessoa.

Quanto a satisfação do usuário em relação as manifestações patológicas, os moradores foram questionados se já haviam reparado nos problemas existentes nas fachadas dos prédios, sendo que a maioria dos respondentes afirmaram que sim (90%), e quando questionados se estes problemas lhe incomodavam, 90% dos moradores responderam que sim.

Os moradores foram questionados sobre qual manifestação patológica chamava mais sua atenção. As respostas estão apresentadas na Figura 05.

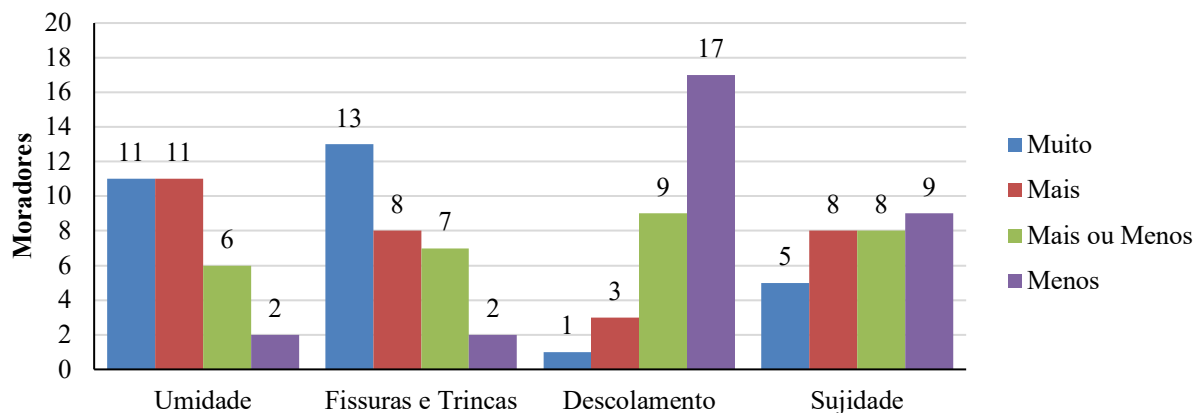


Figura 05. Manifestação patológica mais relevante no Residencial Regente.

Para cada grau de visibilidade do usuário em relação a cada manifestação patológica foram colocados pesos a fim de obter a porcentagem de relevância de cada dano para o morador. De acordo com a Figura 06, as manifestações patológicas que mais chamam a atenção dos moradores são as fissuras e trincas (31%) e a umidade (30%), seguido da sujidade (23%), sendo o descolamento de revestimento a manifestação patológica que chama menos atenção (16%).

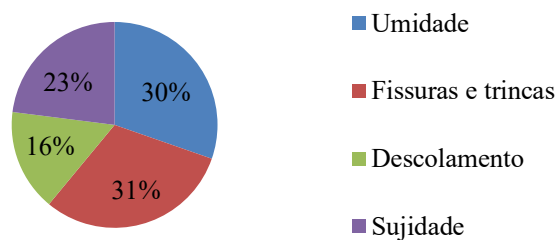


Figura 06. Relevância das manifestações patológicas no Residencial Regente.

A manifestação que mais chama a atenção dos moradores coincide com a manifestação patológica mais incidente, fissuras e trincas. De acordo com Thomaz (1988), os moradores são submetidos ao constrangimento psicológico, com medo de conviver com uma anomalia que pode significar a ruína do seu abrigo.

Sobre a manutenção das fachadas, todos os respondentes consideraram necessárias atividades de manutenção, inclusive os que não haviam reparado nos problemas. Porém, 77% nunca realizaram algum tipo de reclamação com a imobiliária sobre os problemas das fachadas. Os moradores foram perguntados qual manutenção, entre lavagem, pintura e reparo no revestimento, eles achavam mais necessário, sendo as respostas apresentadas na Figura 07.

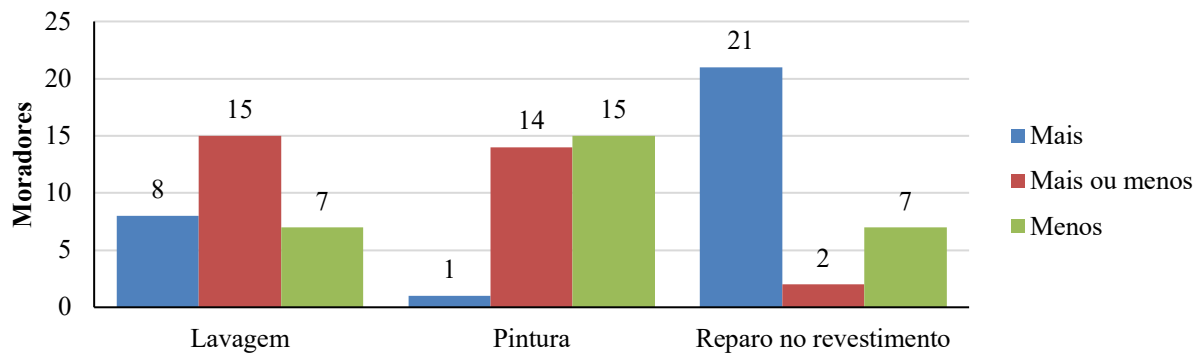


Figura 07. Necessidade das ações de manutenção do Residencial Regente

Observa-se que a maioria dos respondentes acham mais necessário o reparo do revestimento. Para melhor compilação dos dados foram colocados pesos a fim de obter a porcentagem da necessidade das ações de manutenção. As porcentagens estão apresentadas na Figura 08.

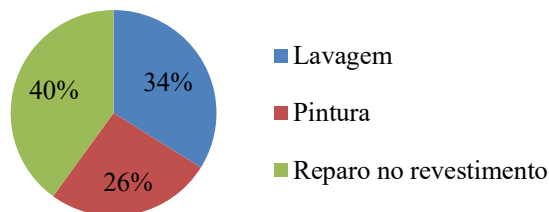


Figura 08. Prioridade de manutenção das fachadas do Residencial Regente.

Para finalizar, foi requerido aos moradores que avaliassem de maneira visual a situação atual dos prédios e classificassem entre boa, razoável e ruim. Conforme a Figura 09, 67% dos respondentes consideram a situação atual das fachadas dos prédios ruim, contra 33% que consideram como razoável. Nenhum respondente qualificou as fachadas como boas.

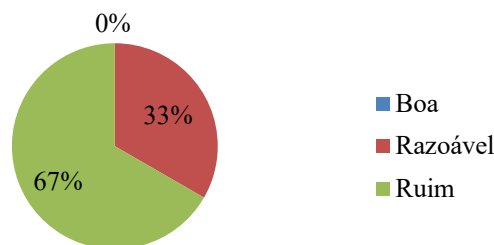


Figura 09. Avaliação da situação atual dos prédios do Residencial Regente.

3.2 Residencial Jardins da Baronesa

As primeiras perguntas do formulário permitem traçar um perfil do usuário respondente. A maioria dos respondentes foram do sexo feminino (63%), 50% entre 25 e 39 anos e 27% entre 40 a 59 anos. A maioria dos respondentes (50%) é proprietário do apartamento, seguido pelos arrendatários, que representam 47% dos moradores, o restante são inquilinos (3%).

Foram aplicados formulários com moradores dos dois edifícios do Residencial Jardins da Baronesa, sendo 57% dos respondentes dos Blocos 4, 5 ou 6 e 43% dos Blocos 1, 2 ou 3, espalhados entre os quatro pavimentos do conjunto, sendo 37% do 1º pavimento, 20% do 2º pavimento, 23% do 3º pavimento e 20% do 4º pavimento.

Quanto à quantidade de moradores por unidade habitacional, 47% dos apartamentos dos moradores respondentes são habitados por duas pessoas, seguidos de 23% por quatro ou mais pessoas, 20% por uma pessoa e 10% por três pessoas.

Quanto a satisfação do usuário em relação as manifestações patológicas, os moradores foram questionados se já haviam reparado nos problemas existentes nas fachadas dos prédios. A maioria dos respondentes afirmaram que sim (93%), e quando questionados se estes problemas lhe incomodavam, 90% dos moradores responderam que sim.

Os moradores foram questionados sobre qual manifestação patológica chamava mais sua atenção, sendo as respostas apresentadas na Figura 10.

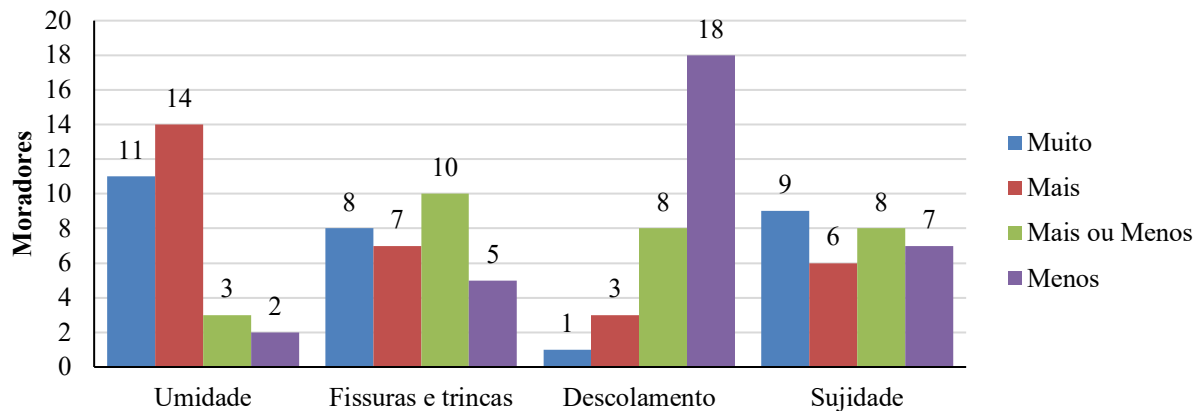


Figura 10. Manifestação patológica mais relevante no Residencial Jardins da Baronesa.

Para cada grau de visibilidade do usuário em relação a cada manifestação patológica foi obtida a porcentagem de relevância de cada dano para o morador, apresentadas na Figura 11. As manifestações patológicas que mais chamam a atenção dos moradores é a umidade (31%), seguida pela sujidade (27%), fissuras e trincas (26%) e descolamento de revestimento (16%). Apesar da alta incidência de fissuras e trincas no residencial, sua maior parte fica na fachada de fundos do Edifício A, portanto não é visualizada pela maioria dos moradores.

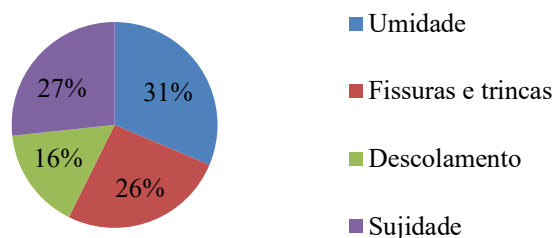


Figura 11. Relevância das manifestações patológicas no Residencial Jardins da Baronesa.

Sobre a manutenção das fachadas, todos os respondentes consideraram ações necessárias de manutenção, inclusive os que não haviam reparado nos problemas. Porém, 70% nunca realizaram algum tipo de reclamação com a imobiliária sobre os problemas das fachadas. Os moradores foram perguntados qual manutenção, entre lavagem, pintura e reparo no revestimento, eles achavam mais necessário. As respostas estão na Figura 12.

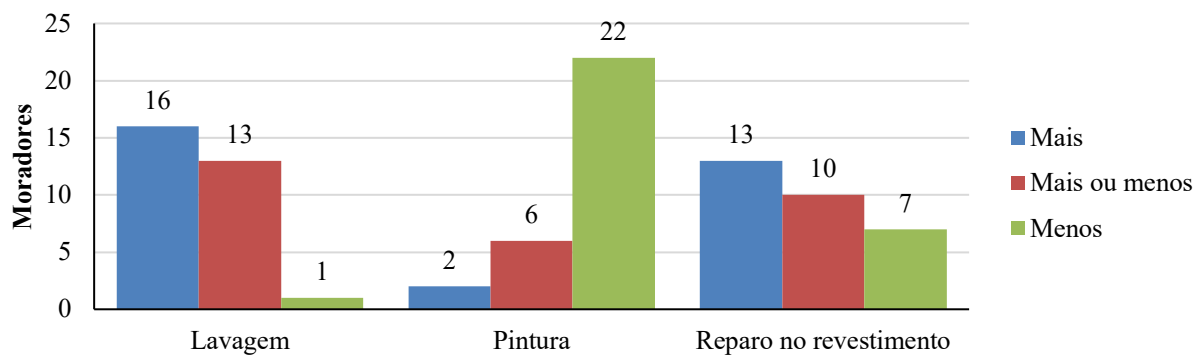


Figura 12. Necessidade das ações de manutenção do Residencial Jardins da Baronesa

Observa-se que a maioria dos respondentes acham menos necessário a pintura. Para melhor compilação dos dados foram colocados pesos, a fim de obter a porcentagem da necessidade das ações de manutenção, apresentadas na Figura 13.

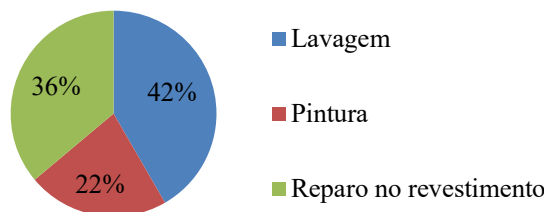


Figura 13. Prioridade de manutenção das fachadas do Residencial Jardins da Baronesa.

Para finalizar, foi requerido aos moradores que avaliassem de maneira visual a situação atual dos prédios e classificassem entre boa, razoável e ruim. Conforme a Figura 14, 70% dos respondentes consideram a situação atual das fachadas dos prédios ruim, contra 30% que consideram como razoável. Assim como no Residencial Regente, nenhum respondente qualificou as fachadas como boas.

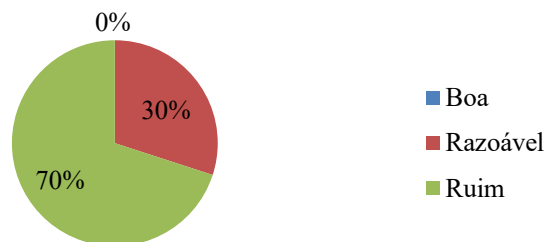


Figura 14. Avaliação da situação atual dos prédios do Residencial Jardins da Baronesa.

3.3 Residencial Estrela Gaúcha

No Residencial Estrela Gaúcha, a maioria dos respondentes foram do sexo feminino (73%) entre 10 e 59 anos (33%) e até 24 anos (30%). Maior parte dos respondentes (57%) é arrendatário do apartamento, seguido pelos proprietários (30%), sendo o restante inquilinos (13%).

Foram aplicados formulários com moradores dos quatro edifícios do Residencial Estrela Gaúcha, sendo 33% dos respondentes dos Blocos 1, 2, 3 ou 4, 30% dos Blocos 12, 13, 14 ou 15, 20% dos Blocos 8, 9, 10 ou 11 e 17% dos Blocos 5, 6 ou 7, espalhados entre os cinco pavimentos do

conjunto, sendo 33% do 2º pavimento, 27% do 3º pavimento, 17% do 1º pavimento, 13% do 4º pavimento e 10% do 5º pavimento.

Quanto à quantidade de moradores por unidade habitacional, 43% dos apartamentos dos moradores respondentes são habitados por três pessoas, seguidos de 27% por uma pessoa, 17% por quatro ou mais pessoas e 13% por duas pessoas.

Quanto a satisfação do usuário em relação as manifestações patológicas, os moradores foram questionados se já haviam reparado nos problemas existentes nas fachadas dos prédios. A maioria dos respondentes afirmaram que sim (80%), e quando questionados se estes problemas lhe incomodavam, 73% dos moradores responderam que sim.

Os moradores foram questionados sobre qual manifestação patológica chamava mais sua atenção, estando as respostas apresentadas na Figura 15.

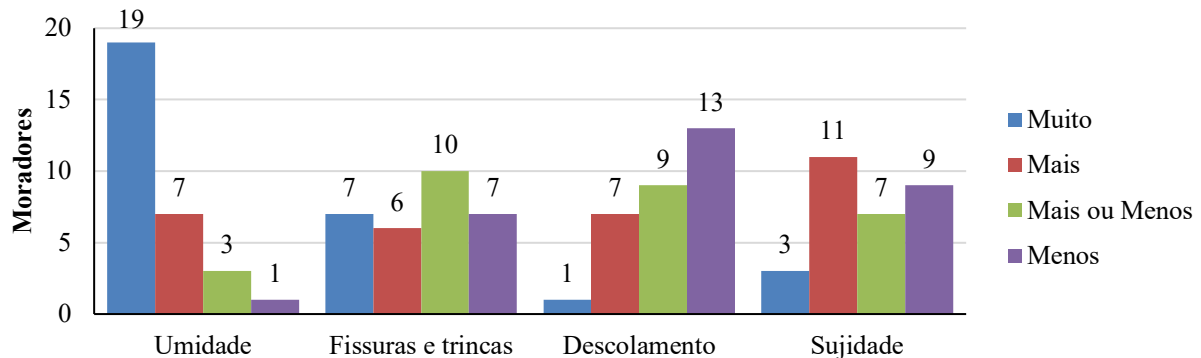


Figura 15. Manifestação patológica mais relevante no Residencial Estrela Gaúcha.

Para o grau de visibilidade do usuário em relação a cada manifestação patológica foram colocados pesos a fim de obter a porcentagem de relevância de cada dano para o morador. As porcentagens estão apresentadas na Figura 16. As manifestações patológicas que mais chamam a atenção dos moradores é a umidade (34%), seguida pela sujidade (23%), fissuras e trincas (25%) e descolamento de revestimento (18%). No Residencial Estrela Gaúcha, a manifestação patológica mais incidente é a umidade, portanto os moradores conseguem observar tal fato.

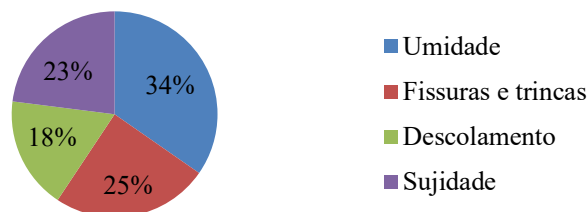


Figura 16. Relevância das manifestações patológicas no Residencial Estrela Gaúcha.

Sobre a manutenção das fachadas, todos os respondentes consideraram necessárias atividades de manutenção, inclusive os que não haviam reparado nos problemas. Porém, 70% nunca realizaram algum tipo de reclamação com a imobiliária sobre os problemas das fachadas. Os moradores foram perguntados qual manutenção, entre lavagem, pintura e reparo no revestimento, eles achavam mais necessário, sendo as respostas apresentadas na Figura 17.

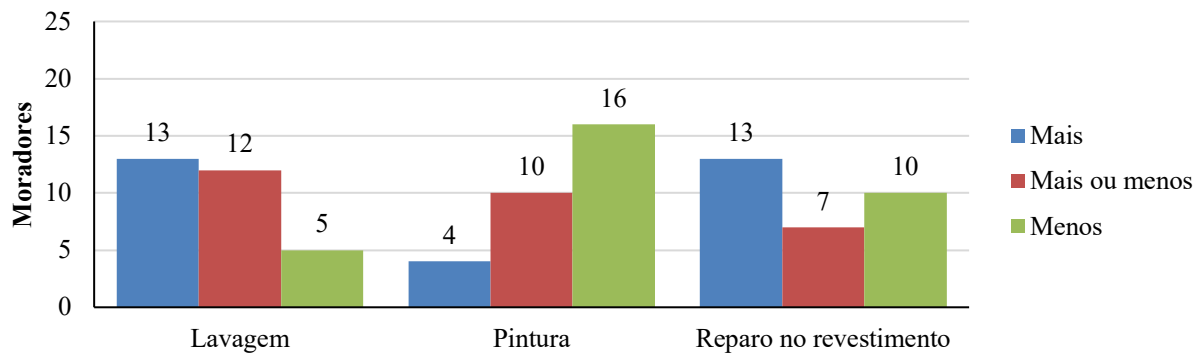


Figura 17. Necessidade das ações de manutenção do Residencial Estrela Gaúcha.

Observa-se que a maioria dos respondentes acham menos necessário a pintura, e se dividem entre lavagem e reparo no revestimento como ação de manutenção mais necessária. Para melhor compilação dos dados foram colocados pesos a fim de obter a porcentagem da necessidade das ações de manutenção, as quais estão apresentadas na Figura 18.

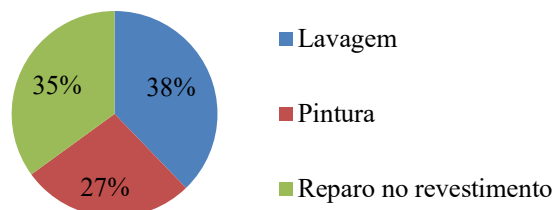


Figura 18. Prioridade de manutenção das fachadas do Residencial Estrela Gaúcha.

Para finalizar, foi requerido aos moradores que avaliassem de maneira visual a situação atual dos prédios e classificação entre boa, razoável e ruim, estando as respostas mostradas na Figura 19. Conforme o gráfico, 53% dos respondentes consideram a situação atual das fachadas dos prédios como razoável, contra 40% que consideram como ruim.

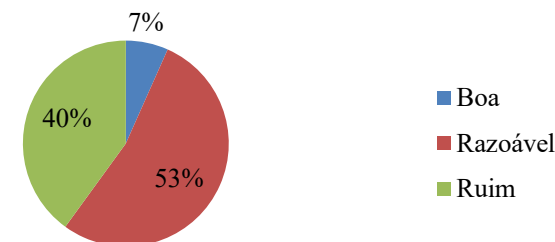


Figura 19. Avaliação da situação atual dos prédios do Residencial Estrela Gaúcha.

Entre os três conjuntos habitacionais objetos deste estudo, o Residencial Estrela Gaúcha, da modalidade Especial, foi o único com alguma avaliação positiva das fachadas, conforme Figura 20. Tal fato pode ser justificado por ser o conjunto habitacional com menor incidência de manifestações por metro quadrado.

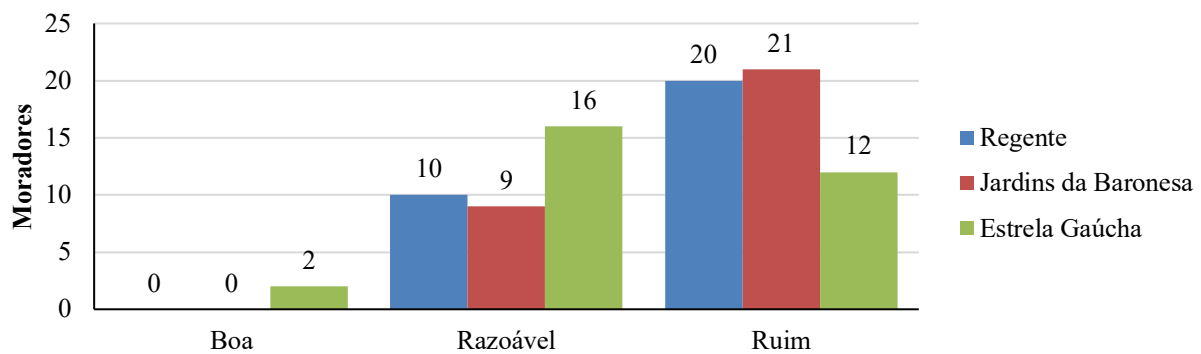


Figura 20. Avaliação da situação atual dos três conjuntos habitacionais.

4. DISCUSSÕES

A satisfação dos moradores com o conjunto habitacional está totalmente relacionada a aparências das edificações (Reis; Lay, 2010). Os resultados indicam que a aparência externa dos residenciais é importante para a satisfação do usuário. O conjunto habitacional com melhor avaliação das fachadas pelos usuários é o Residencial Estrela Gaúcha, residencial com menor incidência de manifestações patológicas por metro quadrado, como mostra a Figura 21.

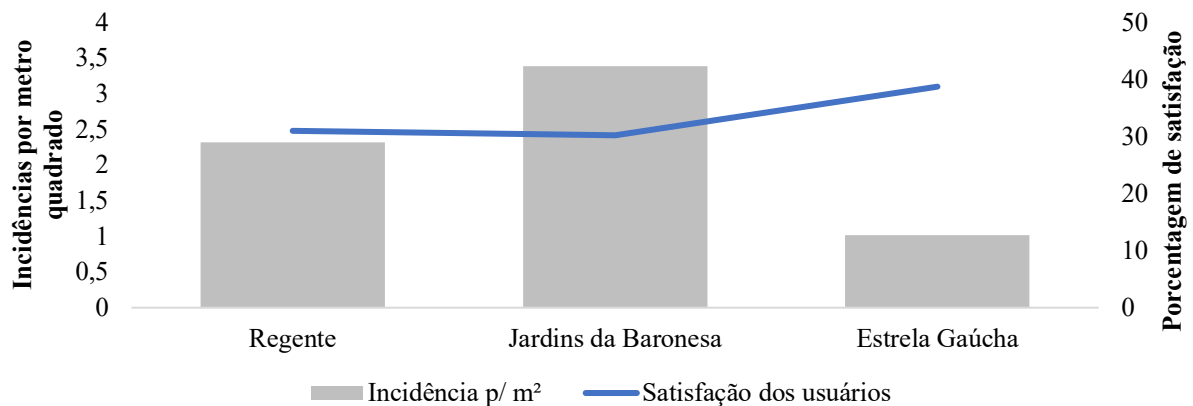


Figura 21. Incidência de manifestações patológicas x Satisfação do usuário.

Nota-se que o conjunto com maior insatisfação com a situação atual das fachadas dos prédios é o conjunto com maior incidência de manifestações patológicas por metro quadrado.

De acordo com Reis e Lay (2010), a avaliação da aparência das edificações pode ser afetada pelo nível de manutenção do conjunto. O grande número de moradores insatisfeitos de um conjunto habitacional pode ser explicado pela falta de conservação dos prédios, sem pintura, com queda de reboco ou existência de rachaduras, que denota problemas estruturais.

Medvedovski (2010) comenta que a unidade habitacional é um sistema complexo que agrega bens e serviços, portando não basta a casa ser entregue ao usuário final, deve ser operada e mantida adequadamente.

A incidência de manifestações patológicas nos revestimentos das fachadas externas, mesmo que originadas no projeto ou execução, podem ser solucionadas com atividades de manutenção, como reparo, lavagem e pintura. Agravada pelo fato que segundo Uemoto (1988), todas as pinturas se deterioram rapidamente ao longo do tempo e sua durabilidade está ligada ao tipo da tinta, do substrato e à exposição a qual é submetida e presença de agentes biológicos, como fungos, algas, mofo e limo, agrava a deterioração da pintura.

Porém, segundo Sanches e Fabricio (2009) é crítica a execução de ações de manutenção em habitações de interesse social, pois a disponibilidade de recursos dos moradores para reformas é limitada. Dessa forma, durante o projeto de novas habitações deve ser considerada a manutenibilidade das edificações.

5. CONCLUSÕES

Os métodos utilizados neste estudo permitiram avaliar a satisfação do usuário em relação ao estado de conservação dos empreendimentos, possibilitando a tomada de ações corretivas.

Neste contexto, a realização da Avaliação Pós-Ocupação não serviu apenas para a detecção de problemas dos objetos de estudo, mas para retroalimentação do processo de produção e uso das edificações. Os resultados devem ser levados em consideração em novas habitações de interesse social, propondo eliminar possíveis falhas e problemas, mas como também nas habitações existentes, possibilitando agregar informações que colaborem com a criação de planos de manutenção. A aplicação dos formulários possibilitou verificar que a degradação das fachadas, indicado pela incidência de manifestações patológicas, acarreta maior insatisfação dos moradores com as fachadas dos prédios devido ao seu mau aspecto.

6. AGRADECIMIENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) - Código Financeiro 001 - e o apoio do NEPAMAT (Núcleo de Estudos em Patologias e Materiais), PROGRAU (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) e UFPel (Universidade Federal de Pelotas).

7. REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674/2012: Manutenção de edificações: Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

CHIARELLI, L. M. Á. Habitação Social em Pelotas (1987 – 2010). Influências das políticas públicas na promoção de conjuntos habitacionais. 2014. 345f. Tese (Doutorado em História). Programa de Pós-Graduação em História da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, 2014.

JOHN, V. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: CARNEIRO, A.P. et al. (Orgs.). Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção. Salvador: EDUFBA, 2001. p.27-45.

MEDVEDOVSKI, N. S. (coord.). Geração de indicadores de qualidade dos espaços coletivos em EHS – INQUALHIS. Relatório final de conclusão de Pesquisa do Núcleo de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo. Pelotas: FINEP/HABITARE. 2010.

MEDVEDOVSKI, N. S.; CHIARELLI, L.M.A; TILLMANN, P; QUANDT, M.M.. Gestão habitacional para uma arquitetura sustentável. Ambiente construído, v. 5, n. 3, p. 49-61, jul./set. 2005.

ORNSTEIN, S. W.; ONO, R.; OLIVEIRA, F. L. de. Em busca da qualidade na habitação social no Brasil: instrumentos para a Avaliação Pós-Ocupação (APO) aplicada a sistemas construtivos inovadores. Anais... Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2017.

REIS, A. T. L.; LAY, M. C. D. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. Ambiente construído, v. 10, n. 3, p. 99-119, Set. 2010.

ROMÉRO, M. A.; ORNSTEIN, S. Avaliação Pós-ocupação: Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação de Interesse Social. In. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, Porto Alegre, 2003. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2003. Coleção Habitare.

SANCHES, I. D.; FABRICIO, M. M. A importância do projeto na manutenção de HIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO-SIBRAGEC. Anais... 2009.

SHIMBO, L. Z.; MARTINS, M. E. A questão da manutenção de sistemas construtivos inovadores para habitação. In: FABRICIO, M. M.; ONO, R. (Orgs.). Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: manutenção e percepção dos usuários. Porto Alegre: ANTAC, 2002. p.55-66.

SILVA, V. M. B. Manifestações Patológicas em Fachadas de Empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial na Cidade de Pelotas/RS: Residenciais Solar das Palmeiras e Paraíso. 2016. 148f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

STUCKERT, T. C.; SOBRINHO JÚNIOR, A. Patologias em habitações de interesse social. Revista InterScientia, v. 4, n. 2, p. 109-122, 2016.

THOMAZ, E. Trincas em edificações: causas e mecanismos de formação. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Tecnologia de edificações. São Paulo: Ed. Pini: IPT, 1988. p.555-560.

THOMAZ, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini/IPT/EPUSP, 1989.

UEMOTO, K. L. Patologia: Danos causados por eflorescência. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Tecnologia de edificações. São Paulo: Ed. Pini: IPT, 1988. p.561-564.

VIEIRA, F. do N. Proposta de elaboração de plano de manutenção para edificações a partir da obrigatoriedade legal da inspeção predial no contexto urbano das Cidades. Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ZUO, J.; ZHAO, Z. Green building research—current status and future agenda: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 30, p. 271-281, 2014.

IMPERMEABILIZAÇÃO DE CONCRETOS COM SÍLICA ATIVA VISANDO A SUSTENTABILIDADE PARA AS OBRAS WATERPROOFING CONCRETE WITH ACTIVE SILICA AIMING AT SUSTAINABILITY FOR WORKS

G. Terci¹, J. M. Carelli², M. Foiato³

gabi_terci@hotmail.com

¹ Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina

² Professora Mestre pela Universidade do Oeste de Santa Catarina

³ Professora Mestre pela Universidade do Oeste de Santa Catarina

RESUMO

Aprimorando o desenvolvimento sustentável na construção civil, pesquisas estão sendo realizadas utilizando a adição de sílica ativa em relação ao cimento, revertendo manifestações patológicas nas estruturas. Neste cenário, buscou-se avaliar a viabilidade de utilizar sílica ativa em concretos convencionais, de traço comumente utilizado em obras. A metodologia aplicada constituiu na execução de 10 traços de concreto, sem adição de sílica ativa, dosagem de 5% e 10% tanto na substituição e adição ao cimento, sendo utilizado dois tipos de cimentos (CP II Z -32 e CP V ARI -RS). Os resultados obtidos demonstram que a sílica ativa provocou alterações satisfatórias ao concreto, melhorando a sua resistência à compressão em até 54,54% e diminuindo até 35,68% a sua absorção de água.

Palavra-Chave: concreto; sílica ativa; impermeabilizantes;

ABSTRACT

Improving sustainable development in civil construction, research is being carried out using the addition of active silica in relation to cement, reversing pathological manifestations in the structures. In this scenario, we sought to evaluate the feasibility of using silica fume in conventional concretes, with a trace commonly used in construction sites. The applied methodology constitutes the execution of 10 concrete traces, without the addition of silica fume, the dosage of 5% and 10% both in substitution and addition to cement, using two types of cement (CP II Z -32 and CP V ARI -RS). The results obtained show that the active silica caused satisfactory changes to the concrete, improving its compressive strength by up to 54.54% and decreasing its water absorption by 35.68%.

Keywords: concrete; silica active; waterproofing;

1. INTRODUÇÃO

O concreto foi descoberto no fim do século XIX, desde então vem sendo utilizado como um dos principais materiais da construção civil. Ao decorrer dos anos de uso, as manifestações patológicas nas estruturas são comuns, e com o intuito de diminuir essas ocorrências e buscar mais sustentabilidade nas edificações, não gerando tantos entulhos provenientes de reformas e manutenções, várias pesquisas e métodos vem sendo estudados.

O setor da construção civil é responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos e entulhos. Estima-se que o Brasil produza aproximadamente 290 mil toneladas/dia (Paraná Portal, 2020), provocando um impacto considerável ao meio ambiente quando não são destinados corretamente.

Segundo Helene e Andrade (2010) a história recente tem demonstrado que ainda vale a pena pesquisar, projetar, dosar, construir, sempre buscando tirar mais proveito desse versátil material de construção, explorando seu elevado desempenho e usando-o corretamente sob o ponto de vista da proteção ambiental e da sustentabilidade.

Atualmente, busca-se formas de obter uma obra mais sustentável e com maior durabilidade, usufruindo de práticas de planejamento, podendo prever futuras complicações em obras, como as patológicas.

Tendo em vista que a patologia mais decorrente na construção civil é a umidade, ou seja, má impermeabilização, vem sendo estudado formas de combater esse problema ainda em projeto, como já citado.

Nesse sentido, vem-se buscando utilizar dosagens de adição de sílica ativa em concretos convencionais para melhorar sua qualidade e prevenir problemas de percolação de água.

A sílica ativa, também conhecida por microssilica ou fumo de sílica, é um material pozolânico, subproduto gerado nas indústrias de silício-metálico e ferro-silício. O alto teor de SiO_2 no formato amorfo, aliado a uma elevada finura, proporciona à substância uma altíssima reatividade com os produtos decorrentes da hidratação cimento, o que contribui para um melhor desempenho de concretos e argamassas (Moraes e Lopes, 2010).

Baseando-se nisso, buscou-se analisar as propriedades do estado endurecido e fresco do concreto de traços de concreto com ou sem adição de sílica ativa e diferentes tipos de cimento mais comumente utilizados (CP II Z-32 e CP V).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O concreto é formado por uma mistura de cimento Portland, agregados graúdos, agregados miúdos, água, aditivos e adições.

De acordo com Molhotra e Mehta (1996), o cimento Portland é, hoje, o material mais utilizado na construção civil no mundo todo. Passando por grandes barragens até elegantes edifícios de concreto armado ou protendido, este material encontra aplicação em uma grande variedade de estruturas, mostrando-se, na grande maioria dos casos, uma alternativa viável economicamente, com resistência e durabilidade satisfatórias, e que, em comparação com outros materiais, não exige grande quantidade de energia em sua produção.

O Cimento Portland é subdividido em CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V.

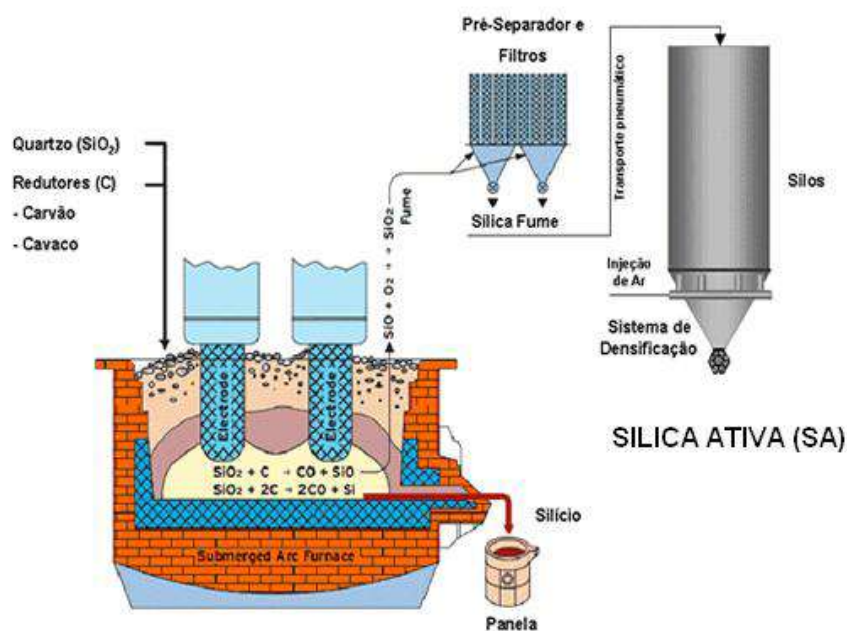
As adições minerais podem ser divididas em três categorias, ou seja, materiais cimentícios, materiais pozolânicos e materiais não reativos. A escória de alto-forno pertence à categoria de materiais cimentícios, já o metacaulim e a sílica ativa são pozolânicos. Na categoria de materiais não reativos podemos dar como exemplo o filler calcário. Assim, os materiais cimentantes e pozolânicos, interagem química e fisicamente com os produtos da hidratação do cimento Portland, modificando a microestrutura da pasta (Silva, 2007; Gabrich, 2008).

Os benefícios obtidos com o uso de adições pozolânicas, incluem melhor resistência à fissuração térmica devido ao baixo calor de hidratação destas substâncias, aumento da resistência final e impermeabilidade devido ao refinamento dos poros, fortalecimento da zona de transição na

interface, e uma durabilidade muito maior do que diz respeito ao ataque por sulfato e à expansão pela reação álcali-agregado (Mehta e Monteiro, 2008).

A zona de transição do concreto, uma fina camada entre a pasta de cimento hidratado e as partículas de agregado, representa o componente mais fraco do concreto estrutural, e é também a área mais permeável (Moraes e Lopes, 2010).

A sílica ativa, também é conhecida por microssílica ou fumo de sílica, como já visto é um material pozolânico, é um subproduto gerado nas indústrias de silício-metálico e ferro-silício. Segundo Mehta e Monteiro (2008), a geração desse material ocorre após a filtragem dos gases de monóxido de silício gasoso que é oriundo da redução do quartzo em silício. Quando condensado, esses gases se transformam em partículas esféricas minúsculas. Esta substância é captada em filtros de manga, e em seguida, armazenada e embalada para venda.



Representação esquemática da produção de microssílica - Fonte: TECNOSIL (2004).

A falta ou a má impermeabilização pode ser causada por na execução de obra, sendo na parte da execução, na falha do produto utilizado ou no projeto, podendo ocasionar várias manifestações patológicas, causando mofo, bolores, perda de pintura, infiltrações e problemas estruturais, devido a umidade no solo que se infiltra na estrutura através dos poros abertos concreto.

A sílica ativa contribui para a durabilidade do material e sua permeabilidade é reduzida, assim como argumentou Alves et. al. (1994), “diversas investigações experimentais têm indicado que a permeabilidade do concreto ao ar e à água é uma excelente medida de resistência do concreto contra o ingresso de agentes agressivos, e assim é uma medida de durabilidade potencial para um concreto”. Como a permeabilidade é ligada à sua porosidade, pode-se afirmar que com a adição de microssílica, contribui para o fechamento granulométrico da mistura, assim melhorando a durabilidade do concreto.

No entanto, a grande vantagem do uso da sílica ativa na produção de concretos é a ação pozolânica que ela promove ao reagir com o hidróxido de cálcio, transformando o cristal fraco em cristal resistente (CSH), o que proporciona grande aumento de resistência, impermeabilidade e durabilidade ao material (Medeiros et. al., 2017) e a diminuição do calor de hidratação do cimento.

Logo, pode-se observar que a adição de impermeabilizante como a sílica ativa ainda no processo de mistura, é possível obter um concreto menos permeável e com maior durabilidade, sendo um grande aliado para construção civil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a confecção dos traços, utilizaram-se dois tipos de cimentos, sendo: CP II – Z 32 (cimento Portland composto com pozolana) e o CP V ARI - RS (cimento de alta resistência). A adição de sílica ativa foi utilizada em duas dosagens (5% e 10% em volume m^3) e o traço referência sem sílica ativa.

3.1 Produção dos traços de concreto

Estabeleceu-se o traço de concreto na proporção em volume de 1:5 (cimento: agregados). O teor de argamassa utilizado foi fixado em 53%, e assim o traço desdobrado foi de 1:2:3. A relação água/cimento foi definida pelo *slump* de 140 (± 20) mm para cada traço, buscando um concreto de boa trabalhabilidade, ainda que isso comprometeria a resistência, devido a não estar sendo utilizado aditivo plastificante. O intuito foi simular uma situação mais comum em concretos produzidos *in-loco*, nas obras. Posteriormente, foram confeccionados os traços, sem adição de sílica ativa e com sílica ativa nos teores de 5% e 10% (em volume m^3).

Os traços foram produzidos seguindo a mesma ordem: primeiramente separados e pesados os agregados (brita I e areia), o cimento e a sílica ativa, posteriormente colocaram-se os materiais na betoneira, seguindo a mesma ordem de mistura (50% de água, em seguida a agregado graúdo - brita I, o cimento - sem ou com sílica ativa, dependendo do traço, agregado miúdo (areia) e finalmente o restante da água), deixando por 5 minutos a betoneira ligada para melhor mistura dos materiais. Após a mistura, foi realizado o ensaio de abatimento de cone (NBR 16889; ABNT, 2020), podendo variar 140 ± 20 mm.

A realização das moldagens dos corpos de provas seguiu as prescrições da norma NBR 5738 (ABNT, 2015) em moldes cilíndricos de 100 mm de diâmetro e altura de 200 mm, sendo feito o adensamento manual com 12 golpes. Após a moldagem, foram mantidos a temperatura ambiente e em local neutro por aproximadamente 72 horas. Posteriormente, foram desmoldados e submersos em tanques a uma temperatura de 24°C .

Após 28 dias do tempo de cura das amostras, todos os traços foram submetidos ao ensaio de absorção por capilaridade seguindo as orientações da norma NBR 9778 (ABNT, 2009) e ao ensaio de resistência a compressão seguindo as orientações da norma NBR 5739 (ABNT, 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise entre o cimento e a sílica ativa foi dada observando o comportamento dos traços, sem sílica ativa, adicionando sílica ativa junto ao cimento com as porcentagens de 5% e 10% e substituindo a sílica ativa ao cimento com as porcentagens de 5% e 10%, sendo comparado no estado fresco, estado endurecido e na absorção por capilaridade.

4.1 Trabalhabilidade e resistência à compressão

Durante o processo de mistura dos traços, avaliou-se as possíveis influências das propriedades do estado fresco, utilizando o abatimento de cone 140 ± 20 mm (*slump*), podendo ser observado abaixo na Tabela 1 e na Tabela 2.

Nomenclatura do traço	Slump (mm)	Resistência à Compressão (MPa)
Sem sílica ativa	148	10,2
		10,7
		10,7
Substituição de sílica ativa 5%	132	12,2
		12,2
		12,3
Substituição de sílica ativa 10%	133	13,4
		12,1
		11,7
Adição de sílica ativa 5%	131	13,8
		13,2
		13,0
Adição de sílica ativa 10%	138	14,0
		14,0
		13,2

Tabela 1 – CP II Z -32

Com base no *slump*, analisou-se a relação água/cimento de cada traço e sua resistência à compressão obteve-se os seguintes valores apresentados no Gráfico 1.

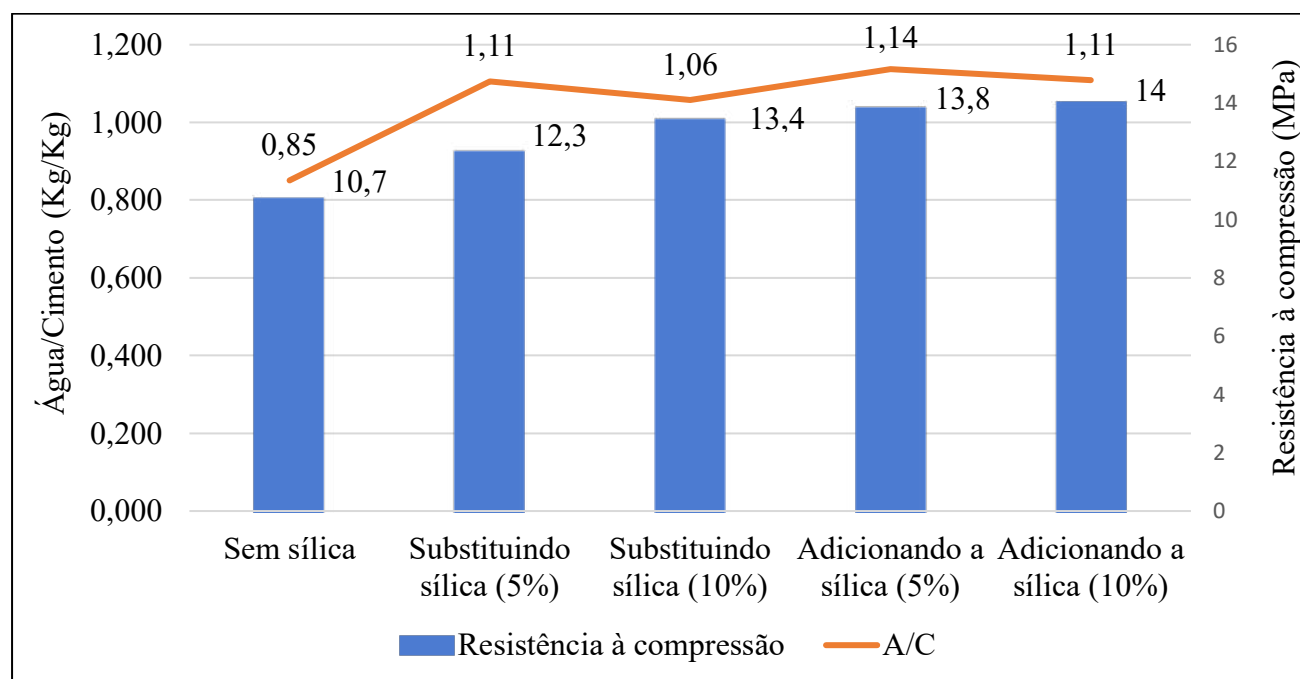


Gráfico 1 – CP II Z – 32

O Gráfico 1 representa a relação a/c (água/cimento) e a resistência à compressão dos traços com o cimento CP II Z -32. Analisou-se a substituição da sílica ativa em relação ao cimento, observou-se que com o teor de 10% de sílica obteve-se uma resistência mais satisfatória, devido à elevada finura da sílica ativa, se acomodando nos vazios das partículas de agregados e do cimento. Ainda, segundo Neville (2016), a sílica na forma vítrea (amorfa) é altamente reativa, e as dimensões mínimas de suas partículas aceleram a reação com o hidróxido de cálcio produzido pela hidratação do cimento Portland. No que diz respeito à relação água/cimento obteve-se o valor de 1,06, que ao comparar com o traço sem sílica ativa há uma diferença de 24,70%. Isto se dá porque a maior quantidade de finos que há na sua mistura contribui para o fechamento de poros e aumento da área superficial de material a ser hidratado, necessitando de mais água para ter as mesmas condições de trabalhabilidade do concreto. Analisou-se a adição de sílica ativa em relação ao cimento, obteve-se uma resistência à compressão 30,84% maior no teor de 10% de sílica ativa ao comparar com o traço referência. Contudo, ao adicionara sílica ativa ao cimento há um aumento na finura da massa, e de acordo com Neville (2016) quanto mais fino for o cimento, maior será a quantidade de água para a pasta de consistência normal. Ao comparar com o traço sem sílica ativa, obtém-se uma diferença de 30,58% a mais na relação água/cimento.

Em seu estudo, Nascimento et.al. (2017) produziu-se um concreto com traço de 1:2:3, com a adição de 10% de sílica ativa em relação ao cimento. Os autores obtêm um aumento de 32% na resistência à compressão. Percebe-se, assim, que essa porcentagem encontrada pelos autores foi muito próxima a do presente estudo.

Posteriormente analisou-se o traço com o cimento CP V ARI – RS, utilizando o *slump*, analisou-se a relação água/cimento de cada traço e sua resistência à compressão, apresentados na Tabela 2 e no Gráfico 2.

Nomenclatura do traço	Slump (mm)	Resistência à compressão (MPa)
Sem sílica ativa	125	12,6
		13,1
		14,3
Substituição de sílica ativa - 5%	129	15,2
		15,5
		14,8
Substituição de sílica ativa - 10%	135	13,5
		13,8
		15,0
Adição de sílica ativa - 5%	137	15,2
		14,8
		15,5
Adição de sílica ativa - 10%	135	21,3
		20,3
		22,1

Tabela 2 – CP V ARI – RS

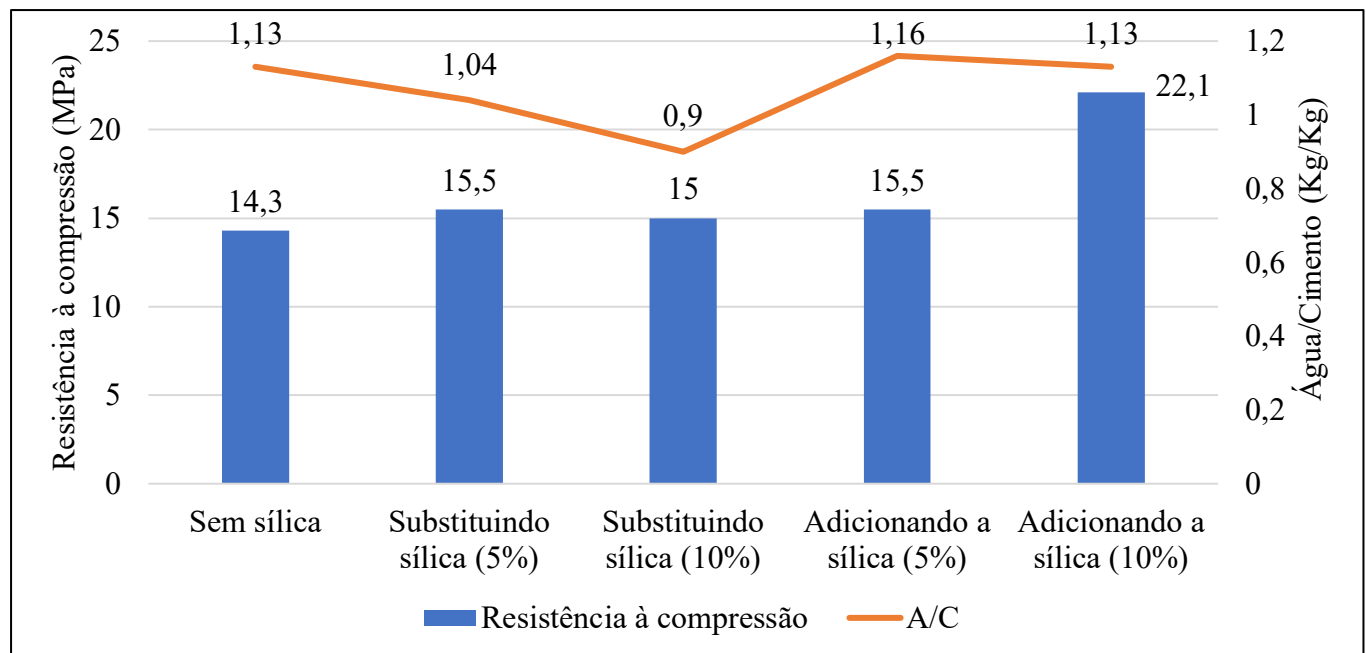


Gráfico 2 – CP V ARI – RS

Analisou-se o Gráfico 2, o traço com adição de sílica ativa no teor de 10% obteve o mesmo valor da relação água/cimento do traço sem sílica ativa, porém obteve uma maior resistência, cerca de 54 %. Isso se deve ao fato de que quanto maior a finura do concreto maior será o consumo de água. De acordo com Neville e Brooks (2013) para um rápido desenvolvimento de resistência, é necessária uma finura elevada.

Contudo o traço de adição de sílica ativa no teor de 5% obteve a mesma resistência do que a substituição de 5%, porém a relação água/cimento foi mais elevada.

Segundo Metha e Monteiro (2008) a resistência se encontra na parte sólida de um material e assim, vazios são prejudiciais à essa propriedade. Analisou-se o traço sem sílica ativa comprovou-se essa teoria, pois há mais vazios no concreto, que não são preenchidos pelos agregados ou pelo cimento, causando assim uma menor resistência e uma alta relação água/cimento.

De acordo com Santana et.al. (2018), aos 28 dias nota-se que para a adições nos teores de 5% a diferença é desprezível. Conforme o aumento nos teores das adições, percebe-se um acréscimo nas diferenças dos valores podendo variar em relação ao traço referência.

4.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade realizou-se a fim de analisar como o concreto sem aditivos e com aditivos se comporta em contato com a água, ou seja, quanto de água ele absorve, que está ligado diretamente com sua porosidade.

O ensaio apresentado nas tabelas abaixo, realizados com 28 dias e seguindo a norma NBR 9778 (ABNT, 2009).

Primeiramente analisou-se os traços contendo o CP II Z -32, cujos dados obtidos estão presentes na Tabela 3.

Nomenclatura do Traço	Absorção 3h	Absorção 5h	Absorção 72h
Sem sílica ativa	0,319	0,382	0,779
	0,279	0,335	0,709
Substituição de sílica ativa – 5%	0,164	0,187	0,266
	0,172	0,192	0,265
Substituição de sílica ativa – 10%	0,176	0,192	0,266
	0,227	0,250	0,339
Adição de sílica ativa – 5%	0,281	0,337	0,711
	0,295	0,367	0,850
Adição de sílica ativa – 10%	0,304	0,370	0,828
	0,283	0,344	0,752

Tabela 3 – Absorção por capilaridade – CP II Z - 32

Mediante aos dados obtidos através da absorção por capilaridade, avaliou-se a média das três medições do traço, assim obtendo o seguinte Gráfico 3.

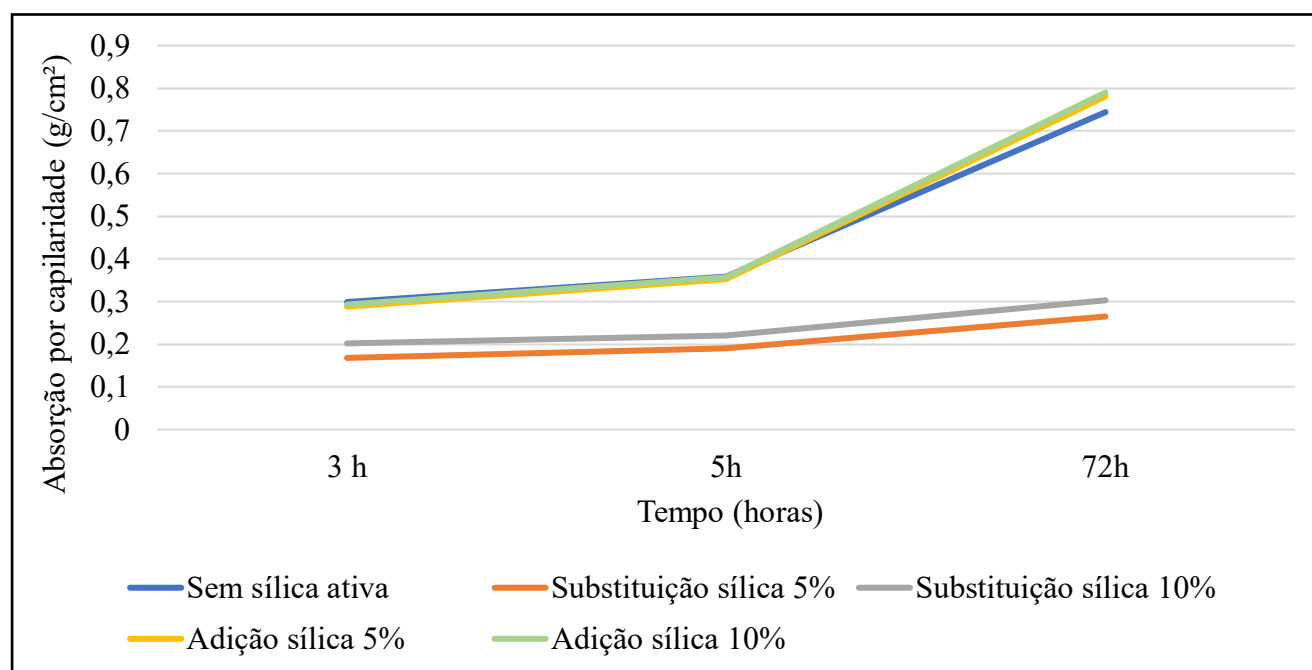


Gráfico 3 – Absorção por capilaridade – CP II Z - 32

Analisou-se os resultados do Gráfico 3 ao longo das 72 h, o traço de substituição de sílica ativa ao cimento no teor de 5% foi o que menos absorveu água, contudo o traço de substituição de sílica ativa ao cimento no teor de 10% demonstrou ótimo desempenho também, ligeiramente inferior ao primeiramente citado.

Os demais traços obteve-se um elevado índice de absorção de água, absorvendo tanto ou mais água que o traço referência (sem sílica ativa).

Desta forma, percebe-se que a porosidade é o fator que mais influencia a permeabilidade na pasta de cimento endurecida. As pastas com alta porosidade capilar têm maior permeabilidade, pois os fluidos penetram facilmente pelos grandes poros quando interconectados (Fornasier, 1995). Posteriormente analisou-se os traços contendo o CP V ARI – RS, apresentados na Tabela 4.

Nomenclatura do Traço	Absorção 3h	Absorção 5h	Absorção 72h
Sem sílica ativa	0,308	0,359	0,672
	0,284	0,335	0,663
Substituição de sílica ativa – 5%	0,174	0,198	0,305
	0,177	0,202	0,310
Substituição de sílica ativa – 10%	0,176	0,204	0,309
	0,204	0,233	0,352
Adição de sílica ativa – 5%	0,251	0,282	0,495
	0,272	0,310	0,533
Adição de sílica ativa – 10%	0,256	0,296	0,523
	0,226	0,258	0,439

Tabela 4 – Absorção por capilaridade – CP V ARI – RS

Mediante aos dados obtidos através da absorção por capilaridade, avaliou-se a média das três medições de cada traço, assim obtendo o seguinte Gráfico 4.

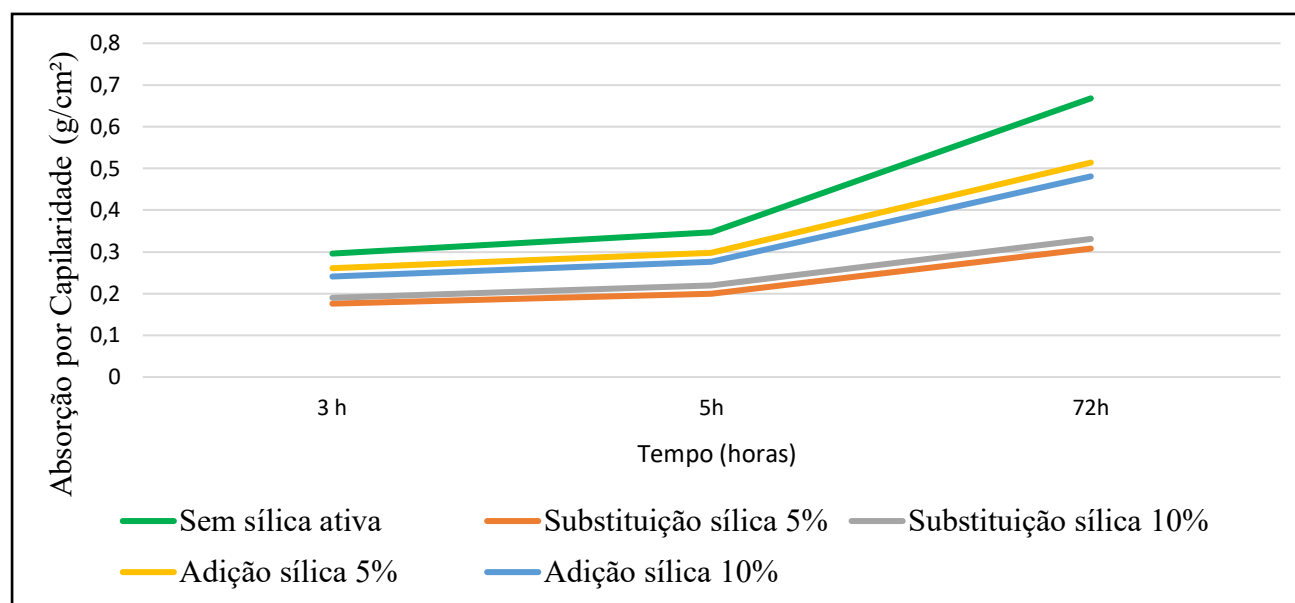


Gráfico 4– Absorção por capilaridade – CP V ARI – RS

No Gráfico 4 analisou-se os resultados obtidos, o traço sem sílica ativa demonstra uma elevada absorção de água, ou seja, é mais permeável. Segundo Neville e Brooks (2013) a porosidade capilar está diretamente ligada à permeabilidade do concreto.

Os traços de substituição de sílica ativa nos teores de 5% e 10% em relação ao cimento, obteve-se uma menor taxa de absorção de água. Substituiu-se o cimento pela sílica ativa produzindo uma massa com mais finos, ou seja, com menos vazios. Sendo assim, diminui-se a porosidade e, como consequência, a absorção por capilaridade é reduzida.

Contudo os traços com adição de sílica ativa em relação ao cimento quando comparados com os traços de substituição de sílica ativa, obtém-se um aumento na absorção da água, pois quanto mais finos sua mistura, maior a taxa de absorção de água.

Comparou-se com Pinto (2016), observa-se que a absorvidade do concreto apresenta comportamento semelhante aos resultados já apresentados [...], aumentando em função da adição de sílica ativa até 10%. Esse aumento é decorrente do acréscimo de partículas finas à mistura, que promoverá um refinamento dos poros e, conseqüentemente, aumentará a taxa de absorção capilar de água.

5. CONCLUSÃO

O CP V ARI – RS obteve melhores resultados quanto à sua resistência à compressão e a relação água/cimento quando comparado com o cimento CP II Z – 32. Contudo o CP II Z – 32 obteve melhor impermeabilidade do concreto.

A substituição da sílica ativa em relação ao cimento demonstrou ser a mais eficaz quando comparado com o traço referência (sem sílica ativa). Contendo mais finos em sua mistura, obteve-se um concreto mais impermeável e resistente.

A adição de sílica ativa em relação ao cimento apresenta uma melhor resistência à compressão, porém uma relação água/cimento mais elevada, sendo assim um concreto mais permeável.

A utilização da substituição da sílica ativa em relação ao cimento demonstrou resultados satisfatórios em todos os aspectos estudados, apresentando um desempenho melhor na resistência à compressão e na impermeabilidade do concreto.

7. AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente à minha família, ao meu namorado por serem essenciais em minha vida e meu porto seguro, aos meus amigos e as minhas orientadoras Jhulis e Maiara por todo conhecimento adquirido na realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

A história do concreto – Disponível em

<<https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2017/03/22/a-historia-do-concreto/#:~:text=Concreto%20%C3%A9%20um%20material%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20muito%20resistente.&text=O%20primeiro%20fato%20registrado%20aponta,o%20uso%20de%20cimento%20hidr%C3%A1lico>>. Acesso pela última vez em 15 de abril de 2021.

ALVES, C. H. N., CAMPOS F. G. V., NETTO, P. A. (1994). “*Concretos e argamassas com microsilica* “. Monografia (Graduação), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, p. 185.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015 versão corrigida 2016). NBR 5738: *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5739: *Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009 versão corrigida). NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – *Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16889: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro.
- BIANCHINI. M. (2010). “*Análise da influência dos teores de sílica ativa na produção de concretos de alta resistência em central dosadora de concreto* “. Dissertação de Pós-Graduação Universidade Federal do Paraná, p. 31.
- CARMO. J. B. M., PORTELLA K. F. (2008). “*Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto* “- Artigo Científico, Universidade Federal do Paraná e Instituto de Tecnologia e Desenvolvimento.
- FERREIRA DE SOUZA. M. (2008),” *Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. Curso de especialização em construção civil* “, Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- FORNASIER. R. S. (1995). “*Porosidade e permeabilidade do concreto de alto desempenho com microssílica*”. Dissertação para mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 31.
- GABRICH. M. F. (2008). “*Estudo da influência das adições minerais no comportamento do concreto sob a ação do fogo* “. Dissertação para Pós-graduação, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 26-27.
- GLARETTON. V. C. (2016). “*Uso de impermeabilizantes por cristalização para redução da permeabilidade do concreto* “. Trabalho de diplomação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HELENE. P., ANDRADE. T. (2010). “*Concreto de Cimento Portland* “- IBRACON. São Paulo, Brasil, c. 29, p. 919.
- ISAIA. G. C. (2010). “*Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais* “. IBRACON. São Paulo, Brasil.
- JUNGES PEDROSO. M. (2020).” *Estudo para melhoria de sistemas de impermeabilização através da inserção de diferentes aditivos cristalizantes em concretos visando a sustentabilidade e a simplificação de uso*”. Artigo Científico, Universidade do Oeste de Santa Catarina.
- MALHOTRA, V. M., MEHTA, P. K. (Ed, 1 – 1996).” *Pozzolanic and Cementitious Materiais*”. Gordon and Breach Publishers, Amsterdam, p.191.
- MEDEIROS. M. H. F., RAISDORFER. J. W., HOPPE FILHO. J. (2017),” *Influência da sílica ativa e do metacaulim na velocidade de carbonatação do concreto: relação com resistência, absorção e a/c* “, Universidade Federal do Paraná e Universidade Federal do Oeste da Bahia. p. 125 – 139.
- MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. (2008).” *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*” - IBRACON. São Paulo, Brasil, p.36,674.
- MORAES. P., LOPES. R. R. (2010). “*Análise de contribuição de adições de microssílica e nanossílica na resistência à compressão de concretos convencionais*”. Monografia (Graduação), Universidade Federal de Goiás, p. 33 - 35.
- NASCIMENTO LIMA. B. L., SILVA OLIVEIRA. M., TEIXEIRA OLIVEIRA. P., SILVA. D.L. (2017). “*Potencial da sílica ativa na resistência à compressão do concreto*”. Artigo Científico, Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, p. 3 – 9.
- NEVILLE, A. M., (2016), “*Propriedades do concreto*”. Porto Alegre, Brasil, p. 21-89, 303, 697 – 701
- NEVILLE, A. M., BROOKS J. J. (2013), “*Tecnologia do concreto*”. Porto Alegre, Brasil. p.16,256.

- Novas tecnologias reduzem impacto ambiental na construção civil* – Disponível em < <https://paranaportal.uol.com.br/geral/novas-tecnologias-construcao-civil/> >. Acesso pela última vez em 15 de abril de 2021.7
- PINTO. S. A. (2016).” Correlações entre ensaios de penetração de cloretos e análise da influência do uso da sílica ativa na durabilidade do concreto armado “. Dissertação no Mestrado, Universidade Federal da Bahia Escola Politécnica, p. 42 – 68.
- Resíduos da construção civil: construindo valores de sustentabilidade* – Disponível em < <https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuos-da-construcao-civil-construindo-valores-de-sustentabilidade/> >. Acesso pela última vez em 15 de abril de 2021.
- SANTANA. C. A., LIMA. F. H., NASCIMENTO FILHO. N. O. MENDES. S. (2018). “*Estudo comparativo de concreto com sílica de cinza da casca de arroz e sílica ativa* “. Artigo Científico, Universidade Educacional Araucária (UNIFACEAR), p. 3 – 11.
- SEIDENSTUCKER. M. “*Análise da contribuição da adição da sílica ativa na resistência à compressão de concretos*”. Trabalho final de curso (TFC), Universidade Paranaense, p. 5.
- SILVA. M. G. (2007). “*Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais* “. IBRACON. São Paulo, Brasil, p. 712.
- TANGANINI PITELLI. G., MARCO. G. (2019).” *Patologias em estruturas de concreto armado*”. Artigo Científico, Universidade de Araraquara.

LEVANTAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UM SISTEMA ESTRUTURAL METÁLICO: ESTUDO DE CASO DE UMA BENFEITORIA MILITAR NA CIDADE DE SANTIAGO/RS

T. Fanton^{1*}, J. Hardt¹, E. Saragozo¹, R. C. A. de Lima¹, O. R. S. Almeida², E. D. Balbi³

*Autor de Contato: tassiafanton@gmail.com

¹ Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, Brasil

² Comando da 1ª Brigada de Cavalaria Mecanizada, Santiago/RS, Brasil

³ 9º Batalhão Logístico, Santiago/RS, Brasil

RESUMO

O aço é um sistema estrutural pouco difundido na indústria da construção civil brasileira, haja vista que o principal modelo estrutural adotado é o concreto armado. Surge, então, a necessidade da divulgação de aspectos construtivos do aço, bem como dos problemas típicos que acometem esse sistema estrutural. O objetivo dessa pesquisa é apresentar um estudo de caso de uma edificação com estrutura metálica inserida em um aquartelamento na cidade de Santiago/RS. Foram analisadas as manifestações patológicas presentes na estrutura por meio de inspeção visual, ensaio de carbonatação e termografia. Concluiu-se que a degradação da estrutura, caracterizada pela corrosão dos elementos, ocorreu principalmente por conta da falta de proteção do aço, uso de argamassa à base de cal e a presença de umidade ascendente.

Palavras chave: Manifestações patológicas; estruturas metálicas; corrosão.

1. INTRODUÇÃO

Uma edificação deve oferecer condições de uso, segurança e conforto de forma que as atividades ali desenvolvidas não sofram interferências do meio em que está inserida. Qualquer situação anormal que venha ocorrer com a edificação pode causar prejuízos.

Por conta disso, é eficaz construir com qualidade, com programação de manutenção do que economizar na construção em detrimento da qualidade, implicando em futuros gastos com recuperação da estrutura. (CASTRO, 1999).

Os gastos com recuperação crescem em progressão geométrica à medida que se posterga a tomada de decisões, ou seja, para conseguir a mesma qualidade e durabilidade gastam-se 5 vezes mais à medida que a tomada de decisões é postergada. A “Lei dos 5” ou regra de Sitter, apresentada na Figura 1, demonstra o explanado anteriormente.

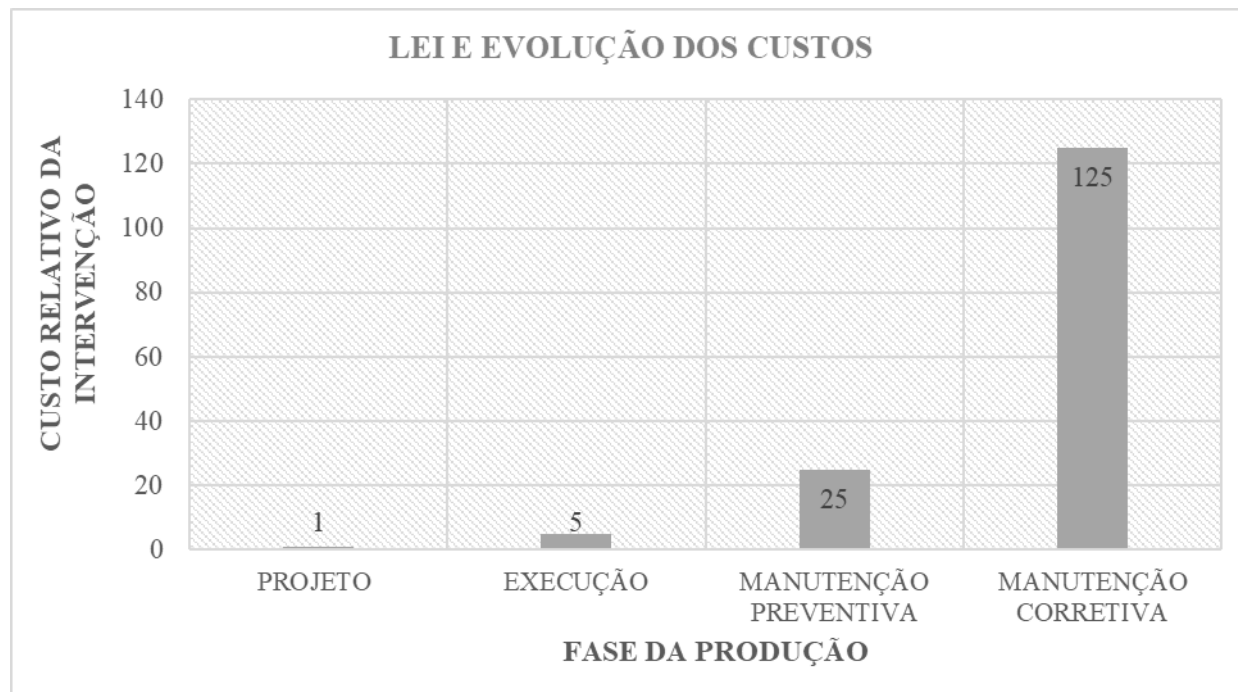


Figura 1. “Lei dos 5” ou Regra de Sitter. Fonte: Helene (1997)

De acordo com o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), atualmente o maior mercado para o aço dentro da construção civil se encontra na execução das obras de energia (eólica, solar e torres de transmissão) e edificações industriais. Isso se dá principalmente devido as suas características de estética, industrialização, rapidez e em alguns casos a sua elevada capacidade de carga. Além disso, uma grande vantagem do uso de estruturas metálicas é a redução dos prazos de execução (CBCA, 2020).

A pesquisa “Cenário dos Fabricantes de Estruturas de Aço” aponta que, desde 2014, esse mercado vem sofrendo com sucessivas quedas de produção. Quando realizada uma comparação, por exemplo, da produção de 2014 (pico) com a de 2018 observa-se uma redução de mais de 50%. Entretanto, em 2019, houve recuperação de 25,6%, em relação a 2018 (CBCA, 2020).

Ainda de acordo com o CBCA (2020), os principais gargalos para o fortalecimento e desenvolvimento do setor da construção industrializada em aço no Brasil são a falta de capital de giro, dificuldade de acesso à crédito e os custos tributários que também foram considerados como impactante de forma negativa para o setor. Além disso, o CBCA (2020), cita que há necessidade de maior capacitação do setor da construção civil, ou seja, treinamento da mão de obra para atender ao crescimento da construção industrializada, a qual proporciona redução de prazos e custo.

No entanto, embora haja tecnologia disponível para resolver os problemas que aparecem nas construções de aço, há um caminho bastante sinuoso para se adquirir o conhecimento necessário para trabalhar com esse material, sendo este um dos maiores entraves quando o assunto é estruturas metálicas. Cita-se o fato de que existe uma dificuldade muito grande dos construtores em se trabalhar com esse sistema, pois utilizam da mesma sistemática construtiva do concreto para o aço. O sistema estrutural do tipo metálico possui uma metodologia própria e não ter conhecimento disso implica em adotar uma solução que pode ser incompatível com o sistema estrutural. Deste modo, os problemas podem surgir e a estrutura metálica acaba adquirindo uma imagem negativa por um problema que não está diretamente vinculado a ela (CASTRO, 1999).

Tendo isso em mente, a presente pesquisa objetiva expor um panorama geral das patologias mais comuns nos sistemas estruturados em aço, bem como apresentar um estudo de caso referente ao sistema estrutural metálico de uma edificação presente em um quartelamento na cidade de Santiago/RS.

2. PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Segundo Pravia e Betinelli (2016), as manifestações patológicas nas estruturas de aço têm suas fontes de anomalias definidas em seis tipos, conforme Figura 2.

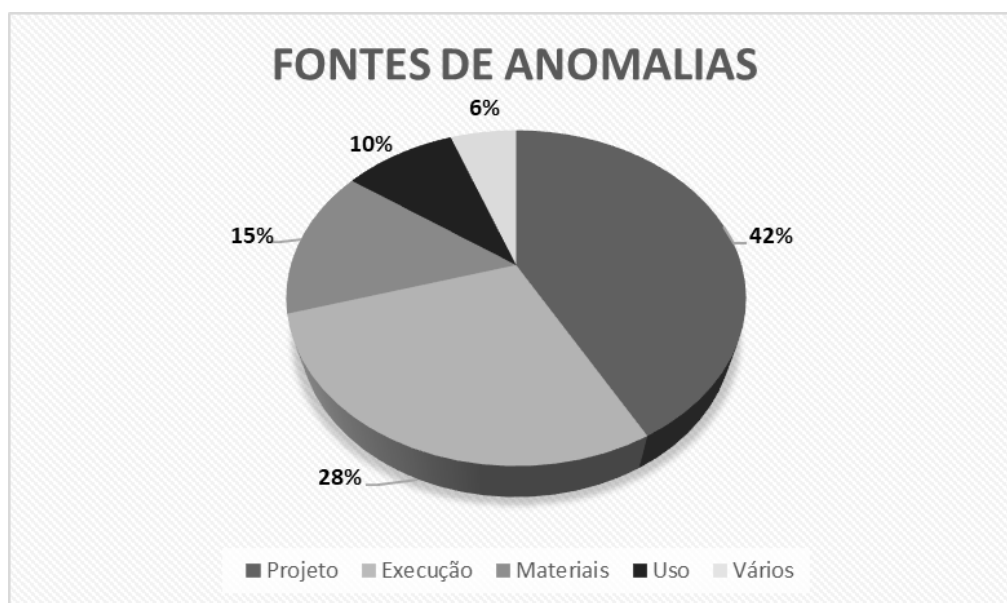


Figura 2. Principais causas das manifestações patológicas. Fonte: Pravia e Betinelli (2016)

No que tange as falhas de projeto e execução, é válido explicar que a vida útil de uma estrutura nasce no projeto e se consolida na execução, mas os conceitos do projeto devem chegar até a conclusão da execução. Além disso, é de extrema importância a integração entre as áreas de projeto, fabricação e montagem. São nessas etapas que deverão ser discutidas as soluções de projetos e as características das peças fabricadas, de tal modo a se evitar na montagem a não disponibilidade de equipamentos, custo excessivo, incompatibilidade da sequência construtiva, alteração no esquema estático e falta de segurança do trabalho. (RAAD JÚNIOR, 1999).

Ainda, para se evitar danos maiores nas estruturas metálicas, torna-se necessária a implantação de manutenções preventivas ou corretivas, as quais deverão ser executadas frequentemente, por

profissionais com experiência neste tipo de avaliação e inspeções. Deste modo, a partir da utilização de ensaios destrutivos e não destrutivos, será possível avaliar a integridade e o atual estado de uso das edificações em estruturas metálicas, propondo, então, as terapias necessárias para garantir uma maior vida útil ao sistema analisado. É válido destacar que em estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE, 2016), foi verificado que mais de 60% dos acidentes ocorridos em edifícios com mais de 10 anos estão relacionados à deficiência ou inexistência de manutenção, perda precoce de desempenho e degradação acentuada, destacando ainda mais a importância da existência de um plano de manutenção para as edificações.

No que se refere as principais manifestações patológicas existentes nos sistemas estruturados em aço são apresentadas na Tabela 1 as principais manifestações patológicas, bem como referenciadas as principais causas da sua ocorrência.

Tabela 01 – Principais manifestações patológicas nas estruturas de aço e suas causas. Fonte: Pravia e Betinelli (2016)

Manifestações patológicas no aço	Principais causas
Corrosão localizada	Causas por deficiência de drenagem das águas e deficiências de detalhes construtivos, permitindo o acúmulo de umidade e de agentes agressivos.
Corrosão generalizada	Causada pela ausência de proteção contra o processo de corrosão.
Deformações excessivas	Causadas por sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos no projeto original, ou ainda, deficiências na disposição de travejamentos.
Flambagem local ou global	Causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou deficiências no enrijecimento local de chapas, ou efeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto e cálculo.
Fratura e propagação de fraturas	Falhas estas iniciadas por concentração de tensões, devido a detalhes de projeto inadequados, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas no projeto.

No que diz respeito a corrosão pode-se dizer que é um tipo de deterioração que pode ser facilmente encontrada em obras metálicas e se caracteriza como um fenômeno patológico de maior conhecimento público. O aço oxida quando em contato com gases nocivos ou umidade, necessitando por isso de cuidados para prolongar sua durabilidade. A perda da seção transversal dos elementos estruturais é o principal problema causado pela corrosão. Esta perda pode aumentar a concentração de tensões (por diminuição da área efetiva) reduzindo conseqüentemente a capacidade de resistência, e em casos extremos, podendo até provocar a ruína (RAMANATHAN, 1990).

Ainda, é impossível se falar em corrosão sem analisar também os revestimentos orgânicos que são utilizados para a proteção das estruturas metálicas. Verifica-se que estes, como qualquer outro componente de uma edificação, também estão suscetíveis à ação das intempéries e também sofrem

processos de deterioração, que podem ser acelerados ou não de acordo com o tipo de tinta empregado e as condições ambientais (RAMANATHAN, 1990).

Durante a vida útil do revestimento, depois de algum tempo, o eletrólito tende a alcançar a superfície metálica devido à porosidade natural da película, dando início ao processo corrosivo. Portanto a falha do revestimento se dará sempre por corrosão embaixo da película, exceto nos casos em que haja proteção catódica ou danos por ação mecânica, de forma que a película de tinta seja inicialmente atacada ou danificada antes do comprometimento do aço (RAMANATHAN, 1990).

3. ESTUDO DE CASO

A edificação analisada está inserida no aquartelamento do 9º Batalhão Logístico, localizado na cidade de Santiago/RS, Brasil. O aquartelamento possui uma área de terreno de 300.000 m², sendo que a área construída no aquartelamento somando as benfeitorias administrativas e operacionais, esportivas e o Próprio Nacional Residencial (PNR) totaliza aproximadamente 52.700 m². A edificação alvo desse estudo é destacada na Figura 3 e possui uma área de aproximadamente 600 m².



Figura 3. Localização da edificação alvo do estudo

Em relação a época da construção foi verificado nos registros do aquartelamento que a benfeitoria teve sua construção iniciada em 1922, no entanto, no ano de 1924 a obra foi paralisada, sendo então retomada em 1928, ano em que a construção da edificação foi finalizada. Os sistemas construtivos utilizados são: estrutura em aço, vedação em alvenaria de tijolo maciço e revestimento argamassado com pintura. É válido salientar que foi possível verificar na vistoria *in-loco* algumas adequações na benfeitoria analisada, porém, não foram encontrados registros e documentação no que diz respeito a isso. Na Figura 4 é possível se ter um panorama atual da edificação.



Figura 4. Panorama atual da edificação. (a) Fachada Norte. (b) Fachada Leste. (c) Fachada Sul. (d) Fachada Oeste

Os elementos estruturais alvo desse estudo são os pilares metálicos da edificação, denominados na planta apresentada na Figura 5 de PMXY. Porém, devida a dificuldade de acesso ou pelo fato desses elementos estruturais estarem localizados em áreas de acesso restrito militar, ou seja áreas sensíveis, realizou-se a análise somente dos pilares metálicos destacados em planta na cor rosa.

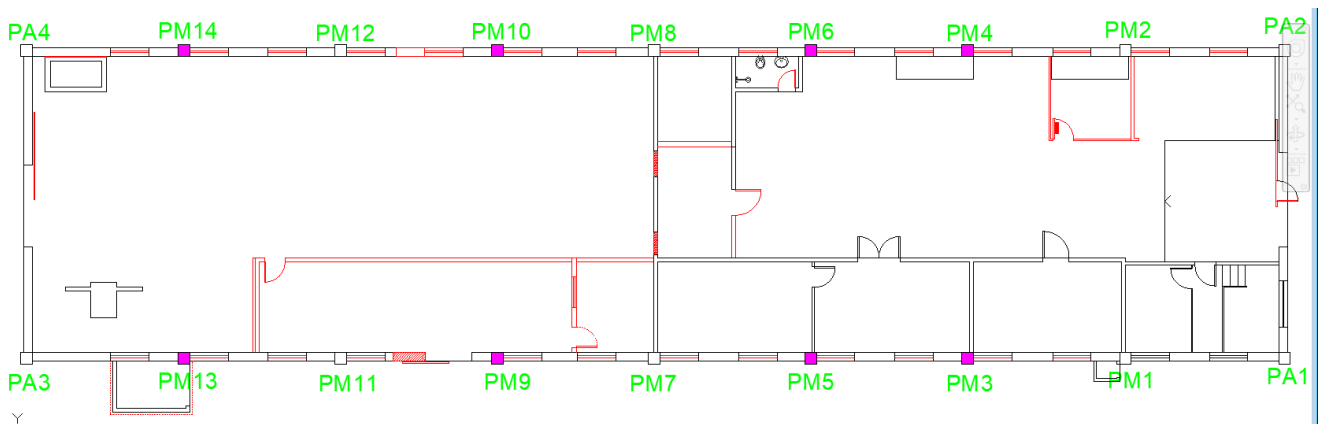


Figura 5. Identificação dos elementos estruturais inspecionados.

Os perfis utilizados para compor o sistema estrutural são do tipo W, com fixação parafusada tanto no topo quanto na base. Na Figura 6 é apresentada a configuração geométrica da seção transversal do perfil, já na Figura 7 a configuração do perfil e o sistema de ligação do topo e da base.

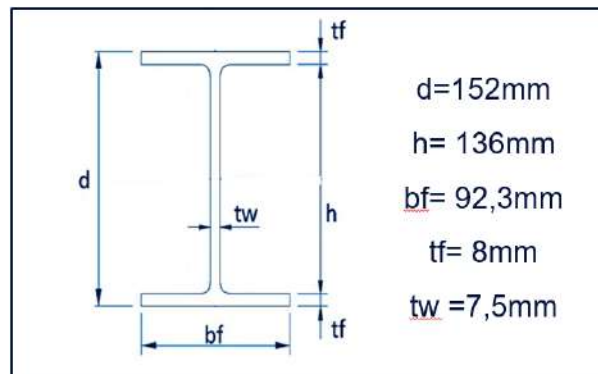




Figura 6. Geometria da seção transversal do perfil



Figura 7. Configuração do perfil e sistema de fixação da base e do topo





Devido à dificuldade de acesso ou de estarem localizados em áreas sensíveis da edificação nem todos os elementos foram inspecionados. Deste modo, o estudo baseou-se nas observações realizadas nos pilares PM3, PM4, PM5, PM6, PM9, PM10, PM13 e PM14. Nesse primeiro momento foram analisadas as seguintes questões: existência de fissura no revestimento argamassado proveniente do processo expansivo de corrosão, aderência do revestimento argamassado, carbonatação do revestimento argamassado, verificação de proteção nos perfis metálicos e altura do processo corrosivo no perfil. Além disso, foram coletadas amostras de argamassa para a futura realização do ensaio de reconstituição de traço. As questões analisadas para cada elemento estrutural são apresentadas na Tabela 02.

Tabela 01 – Inspeção dos elementos estruturais analisados

PM3			
Fissuração no revestimento, proveniente das reações expansivas do processo corrosivo.		Perfil metálico sem proteção (pintura). Processo corrosivo acentuado até 1,35m do perfil em relação ao solo	

<p>Revestimento argamassado sem aderência e pulverulento. Espessura de 31mm. Carboanatado, conforme indicador aspergido (fenolftaleina)</p>		<p>Amostra, para futura reconstituição de traço, coletada AM02.</p>	
<p>PM4</p>			
<p>Fissuração no revestimento, proveniente das reações expansivas do processo corrosivo. Porém menos acentuadas que no PM3</p>		<p>Perfil metálico sem proteção (pintura). Processo corrosivo acentuado até 0,90m do perfil em relação ao solo.</p>	
<p>Revestimento argamassado sem aderência e pulverulento. Espessura de 16,9mm. Carboanatado, conforme indicador aspergido (fenolftaleina)</p>		<p>Amostra, para futura reconstituição de traço, coletada AM01.</p>	
<p>PM5</p>			
<p>Constatada eflorescência na base</p>		<p>Revestimento aderido, não foi possível removê-lo com golpes de martelo.</p>	
<p>PM6</p>			

<p>Fissuração no revestimento, proveniente das reações expansivas do processo corrosivo.</p>		<p>Perfil metálico sem proteção (pintura). Processo corrosivo acentuado até 1,40m do perfil em relação ao solo.</p>	
<p>Revestimento argamassado sem aderência e pulverulento. Espessura de 16,1mm. Carboanatado, conforme indicador aspergido (fenolftaleína).</p>		<p>Amostra, para futura reconstituição de traço, coletada AM03</p>	
PM9			
<p>Foram constatadas fissuras de menor abertura.</p>		<p>Revestimento aderido.</p>	
PM10			
<p>Fissuras menos acentuadas ao longo do comprimento do perfil. Porém na base de maior intensidade</p>		<p>Perfil metálico sem proteção (pintura). Processo corrosivo acentuado até 0,70m do perfil em relação ao solo.</p>	

<p>Revestimento argamassado sem aderência e pulverulento. Espessura de 19,7mm. Carbonatado, conforme indicador aspergido (fenolftaleína)</p>		<p>Amostra, para futura reconstituição de traço, coletada AM07.</p>	
<p>PM13</p>			
<p>Fissuração no revestimento, proveniente das reações expansivas do processo corrosivo.</p>		<p>Perfil metálico sem proteção (pintura). Processo corrosivo acentuado até 0,90m do perfil em relação ao solo.</p>	
<p>Revestimento argamassado com presença de reparo em argamassa rica em cimento, essa possui aderência e não foi possível removê-la. Além disso, não apresenta carbonatação.</p>		<p>Já o restante do revestimento não apresenta aderência, é pulverulento e está carbonatado. Espessura de 19,6mm. Amostras coletadas AM04 e AM05.</p>	
<p>PM14</p>			
<p>Fissuração no revestimento, proveniente das reações expansivas do processo corrosivo.</p>		<p>Perfil metálico sem proteção (pintura). Processo corrosivo acentuado até 0,80m do perfil em relação ao solo.</p>	

<p>Revestimento argamassado sem aderência e pulverulento. Espessura de 18,3mm. Carboanatado, conforme indicador aspergido (fenoltaleína)</p>		<p>Amostra coletada AM06.</p>	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Afim de complementar o apresentado na Tabela 01, foi realizada uma análise termográfica no pilar PM6, o equipamento utilizado foi o FLIR E53 Model: 84502-0201, Na Figura 8 é apresentada a termografia do elemento analisado.

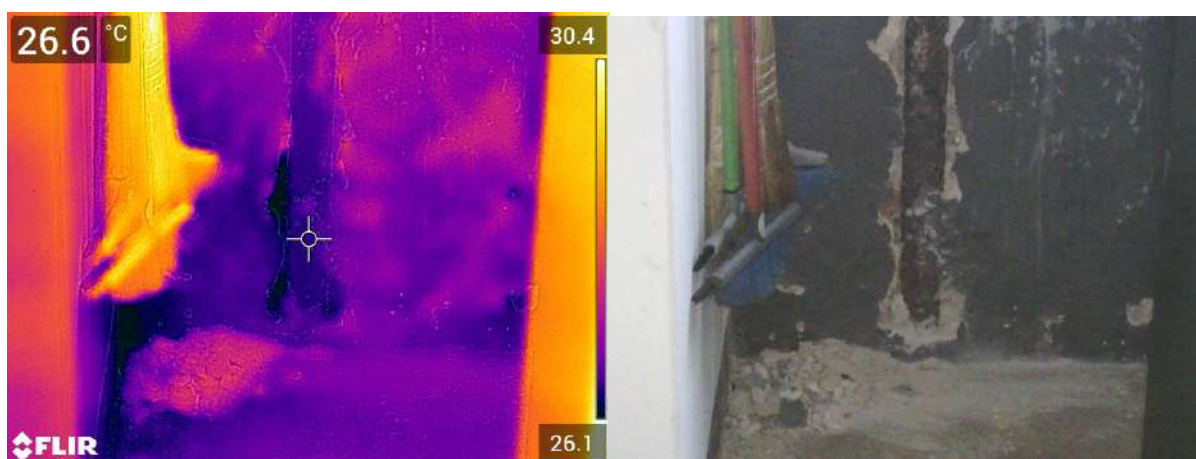


Figura 8. Imagem termográfica perfil PM6

Destaca-se que é perceptível na Figura 8 a existência de um gradiente de temperatura, sendo verificado na parte inferior da região analisada, bem como na união das paredes adjacentes os menores valores de temperatura. É válido expor que a parede adjacente a região analisada delimita uma instalação sanitária presente na edificação, ou seja, é uma área suscetível a presença de umidade. Deste modo por meio da imagem supracitada e partir da verificação das menores temperaturas na região inferior e adjacente a parede do sanitário, pode-se verificar a presença de umidade nesse local. Salienta-se que a presença de umidade favorece a formação de eletrólitos nas superfícies metálicas e conseqüentemente da corrosão, por conta disso a umidade acescente presente e a falta de um revestimento adequado na instalação sanitária presente na edificação favoreceram o processo corrosivo encontrado na estrutura metálica.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Tendo como base o apresentado na Tabela 01 pode-se constatar que a altura de corrosão nos elementos estruturais analisados é de 1,35m para PM3; 0,90m para PM4; 1,40 para PM6; 0,70 para PM10; 0,90 para PM13 e 0,80 para PM14, o que resulta em uma altura média de 1,00m. Ainda, pode-se verificar que o revestimento argamassado não apresentou aderência, a partir da aplicação de golpes de martelo, nos perfis analisados com exceção dos elementos PM5 e PM9. No que diz

respeito aos pilares PM5 e PM9 é interessante destacar que ambos elementos estão situados na fachada norte da edificação, ou seja, estão expostos a uma maior incidência solar quando comparados aos elementos localizados na fachada sul, assim, estão sujeitos a uma menor exposição à umidade. No que se refere a proteção dos perfis metálicos, não foi observada a aplicação de uma película de proteção ou qualquer outro sistema, salienta-se que para que o processo corrosivo ocorra é necessário a existência do contato direto entre o meio corrosivo (eletrólito) e o aço, assim, com a aplicação de uma película/revestimento protetor o contato entre o eletrólito e o metal deixa de existir, desta forma, a película de proteção constitui uma barreira física que impede a ocorrência das reações catódicas, compondo um mecanismo de proteção.

Em relação à argamassa utilizada no revestimento, a qual estava em contato direto com os perfis metálicos, verificou-se que essa além de sinalizar o processo expansivo de corrosão por meio de fissuras a mesma apresentou sinais de carbonatação, conforme indicação por aspersão de fenolftaleína. Tendo isso em vista, provavelmente a argamassa teve cal adicionada na sua composição o que favoreceu o processo de oxidação dos perfis, o favorecimento à degradação deve-se ao fato de que a reação do hidróxido de cálcio com anidrido carbônico resulta em carbonato de cálcio, o qual possui um pH inferior ao hidróxido de cálcio, com isso há uma diminuição do pH do revestimento argamassado o qual provoca a despassivação do aço. No que tange a carbonatação verificou-se que somente para o pilar PM13 parte do revestimento argamassado não se apresentava carbonatado, porém, pela análise realizada verificou-se a existência de um reparo no revestimento o qual, provavelmente, foi executado em uma época posterior ao revestimento geral da edificação com uma argamassa rica em cimento, haja vista a coloração da Amostra 05 coletada.

Além disso, destaca-se que os pilares que apresentaram, por meio de inspeção visual, maior índice de corrosão foram os pilares PM3 e PM6, esse último foi submetido a análise termográfica. Em relação a esses elementos estruturais evidencia-se que o perfil PM3 está localizado na fachada norte, porém, há a existência de uma árvore a qual projeta sombra nessa área da edificação, além disso, há a existência de uma lareira ao lado do elemento estrutural, a qual pode ter acelerado o processo de carbonatação por conta da emissão de dióxido de carbono (CO₂).

5. CONCLUSÕES

Foram verificados indicativos de expansão por processo corrosivo no revestimento argamassado por meio de fissuras. Ainda se verificou que todos os pilares, em que foi possível remover o revestimento argamassado, não apresentavam proteção. Também o revestimento se apresentava carbonatado, exceto em parte do pilar PM13, é válido salientar que as análises se deram no lado interno da edificação, uma vez que os pilares estão envoltos por alvenaria no lado externo. A corrosão encontrada é mais acentuada na base dos perfis, sendo essa até a altura média de 1,0m. No que tange a maior degradação por meio visual destaca-se à encontrada nos pilares PM3 e PM6, sendo que no pilar PM3 é projetada a sombra de uma árvore existente além desse estar localizado em um cômodo da edificação que possui uma lareira, a qual pode ter acentuado a emissão de CO₂ e acelerado o processo de carbonatação. Já o pilar PM6 fica localizado na fachada sul e está localizado ao lado de um sanitário, então, a umidade pode ter sido determinante para a sua degradação.

Deste modo, evidencia-se que a patologia predominante no sistema é a corrosão dos elementos estruturais dentre as causas estão a falta de proteção do perfil metálico, seguido da aplicação de um revestimento argamassado com cal, haja vista a constatação da carbonatação e acentuados pela umidade ascendente.

No entanto, é válido destacar que, de acordo com os registros do quartelamento, a estrutura analisada possui cerca de 99 anos, ou seja, tendo em vista não há registros da realização de manutenções preventivas ou corretivas na estrutura a mesma cumpriu com seu tempo de vida útil,

o qual de acordo com a NBR 15575:2013 é de no mínimo 50 anos para os sistemas estruturais. Porém, caso as manutenções preventivas tivessem sido realizadas a intervenção para a recuperação do sistema estrutural no atual momento provavelmente seria menos onerosa.

Como próxima etapa desta pesquisa, tem-se como intuito analisar a composição do revestimento argamassado utilizado na edificação afim de verificar a composição do traço utilizado, evidenciando a quantidade de cal utilizada, bem como disponibilizar as informações aqui coletadas e auxiliar no projeto contratado pela Organização Militar para a recuperação estrutural da edificação.

6. REFERÊNCIAS

Castro, Eduardo M. C. de. (1999), “Patologia dos edifícios em estrutura metálica”. Universidade Federal de Ouro Preto, p. 202.

Centro Brasileiro da Construção em Aço (2020). “Relatório de Atividades”. Rio de Janeiro, p. 40. Disponível em: < www.cbca-acobrasil.org.br >. Acesso em 15 jan. 2021.

Henriques, F. M. A. (2001), “Noção de Qualidade em Edifícios”. Comunicação ao Congresso Nacional da Construção. Lisboa.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. (2016), “Inspeção Predial, a saúde dos Edifícios”. São Paulo, p. 27. Disponível em: <<https://ibape-sp.org.br>>. Acesso em 15 jan. 2021.

Nunes, Laércio de Paula. LOBO, Alfredo Carlos O. (1990), “Pintura industrial na proteção anticorrosiva”. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos editora, p. 250.

Pravia, Z. M. C.; Betinelli, E. A. (2016), “Falhas em estruturas metálicas: Conceitos e estudos de caso”. Curso de Engenharia Civil da FEAR –UPF. Disponível em: <www.metallica.com.br>. Acesso em 15 jan. 2021.

Raad Júnior, Antonie Aziz. (1999), “Diretrizes para fabricação e montagem das estruturas metálicas”. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, p. 218.

Ramanathan, Lalgudi V. (1990), “Corrosão e seu controle”. 1. ed. São Paulo: Hemus editora ltda, p. 342.

Sacchi, Caio César. (2016), “Avaliação de desempenho estrutural e manifestações patológicas em estruturas metálicas”. São Carlos: UFSCar, p. 137.

Análisis y evaluación de las patologías presentes en la estructura del Teatro Campoamor de La Habana

A. H. Oroza^{1*}, A. Romeo Saéz¹, P. Braña Nuez¹, R. Castello Bello¹

*Autor de Contacto: ahernandez@proyectos.ohc.cu

¹ Departamento de Diagnóstico y Levantamiento, UEB Restaura, Oficina del Historiador de La Habana, La Habana, Cuba

RESUMEN

El Teatro Campoamor se encuentra severamente afectado por diversas causas estructurales, ambientales y antropogénicas, como resultado de décadas de abandono y cambios de uso invasivos.

El presente trabajo tiene como objetivo documentar las lesiones presentes y evaluar, a partir de modelos de elevación con escáner láser, el impacto de estos sobre la obra construida. El diagnóstico realizado permitió identificar como causas principales de deterioro a los procesos de corrosión, degradación de material y crecimiento de plantas superiores.

Los resultados obtenidos demuestran el avanzado deterioro de los elementos estructurales y la necesidad inminente de iniciar acciones de reforzamiento estructural, con el objetivo de preservar un inmueble que formó parte de la vida social y cultural de la nación cubana.

Palabras clave: corrosión, contaminación, conservación, láser escáner.

RESUMO

O Teatro Campoamor é severamente afetado por várias causas estruturais, ambientais e antropogênicas, como resultado de décadas de abandono e mudanças invasivas de uso.

O objetivo deste trabalho é documentar as lesões presentes e avaliar, a partir de modelos de elevação com scanner a laser, o impacto destas na obra. O diagnóstico realizado permitiu identificar como principais causas de deterioração os processos de corrosão, degradação dos materiais e crescimento das plantas superiores.

Os resultados obtidos demonstram a deterioração avançada dos elementos estruturais e a necessidade iminente de iniciar ações de reforço estrutural, com o objetivo de preservar um patrimônio que fazia parte da vida social e cultural da nação cubana.

Palavras-chave: corrosão, contaminação, conservação, scanner a laser.

ABSTRACT

The Campoamor Theater is severely affected by various structural, environmental and anthropogenic causes, as a result of decades of neglect and invasive changes of use.

The objective of this work is to document the injuries present and to evaluate, from elevation models with a laser scanner, the impact of these on the built work. The diagnosis carried out allowed to identify as main causes of deterioration the processes of corrosion, material degradation and growth of higher plants.

The results obtained demonstrate the advanced deterioration of the structural elements and the imminent need to initiate structural reinforcement actions, with the aim of preserving a property that was part of the social and cultural life of the Cuban nation.

Keywords: corrosion, contamination, conservation, laser scanner.

1. INTRODUCCIÓN

En edificaciones antiguas, el deterioro de los elementos constructivos representa un riesgo para la conservación histórica y cultural de las naciones (Di Turo et al., 2016). Acciones negativas asociadas a la falta de mantenimiento, descuido y abandono inciden directamente en la vida de servicio de la estructura y pueden conllevar a la imposibilidad de recuperarlo parcial o totalmente. Los informes presentados por el Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2014) vienen alertando acerca del riesgo existente en las edificaciones como resultado de las variaciones del clima, y el incremento en los niveles de contaminantes atmosféricos. De igual manera, una amplia cantidad de estudios han demostrado el impacto negativo de estas variables ambientales con los sistemas constructivos y los materiales presentes en las edificaciones patrimoniales, las cuales inciden directamente en el desempeño y durabilidad de las estructuras (Brimblecombe et al., 2011; Cavalagli et al., 2019; Fowler et al., 2020; Kumar and Imam, 2013).

Es debido a estas razones que las investigaciones sobre las obras patrimoniales, deben estar apoyadas desde sus inicios en investigaciones históricas, datos técnicos y el levantamiento visual de las lesiones existentes. De acuerdo con (Paradiso et al., 2020), este enfoque representa el eje principal en todo el proceso cognitivo de identificación detallada de los aspectos estructurales, arquitectónicos, ambientales, y otros que pudieran estar incidiendo en su conservación.

El presente trabajo tiene como objetivo documentar las lesiones existentes en el antiguo Teatro Campoamor, y establecer niveles de degradación que permitan identificar las zonas más vulnerables, con mayor necesidad de intervención. Como parte de los objetivos de la Oficina del Historiador de La Habana en el legado dejado por el Dr. Eusebio Leal, se intenta recuperar este teatro que, en su momento, formó parte importante de la vida cultural y social de la ciudad, encontrándose hoy en estado total de abandono y al término de su vida de servicio, con elevado riesgo de derrumbe.

El mismo fue construido por columnas de hormigón armado y muros de ladrillo y tapial, techo a dos aguas con planchas de fibrocemento. En el caso de las vigas, algunas son de hormigón armado, principalmente en la zona de la platea alta y de perfiles metálicos recubiertos con hormigón en el área de los balcones. Las losas de entresijos están conformadas generalmente por el sistema hollow tile pero existen locales que presentan losas de hormigón armado. El techo está conformado por cerchas metálicas que sostienen la cubierta ligera a dos aguas con planchas de zinc. Lo componía un vestíbulo, con una escalera al local destinado a oficina en la primera planta. En el interior existió un “balcony” y un segundo piso que ocupaba la tertulia con entrada independiente por la calle Industria, ocupando todo el teatro un área total de 704 m².

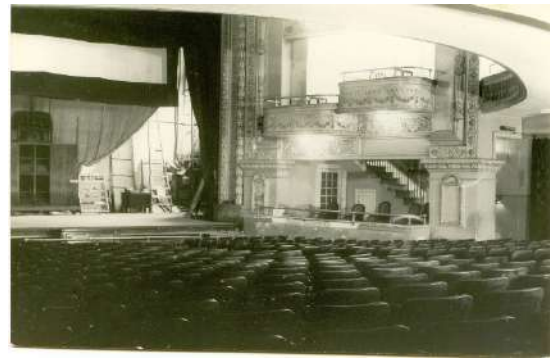
2. PROCEDIMIENTO

2.1 Investigación histórica

El primitivo Teatro Campoamor inaugurado en 1915 y conocido antes como Teatro Albisu, formaba parte en sus orígenes, del edificio que ocupaba la Asociación de Asturianos de Cuba en la calle San Rafael entre Zulueta y Monserrate, el cual fue destruido por un incendio el 23 de octubre de 1918. Poco después, una vez iniciada la década de 1920, se elaboran los proyectos para su reconstrucción, previa la demolición de las ruinas quedadas por el incendio, entre la parcela de las calles Industria y San José, con el nombre de Teatro Capitolio. Más tarde en el año 1924, pasó a llamarse Teatro Campoamor (Figuras 1 y 2) en honor al famoso poeta español, Ramón de Campoamor.

En él tuvieron lugar espectáculos cinematográficos de tema histórico, aventuras, amor, y magníficos conciertos y puesta en escena de obras de teatro de todo género: dramático, vernáculo, lírico y numerosas revistas musicales. A finales de la década de 1950, paulatinamente fue decayendo su categoría y perdiendo los valores que lo enaltecieron. El teatro fue cerrado al público en 1965 y desde entonces ha sido empleado primeramente como almacén, y en las últimas décadas

como parqueo de bicicletas y vivienda multifamiliar, hasta su total degradación hace más de una década (Sánchez, 2017).



Figuras 1 y 2. Fachada de la entrada principal del Teatro Campoamor en la esquina de las calles Industria y San José (izquierda). Vista del interior del teatro (derecha)

2.2 Caracterización del ambiente

La edificación se encuentra ubicada a más de 1 Km de la franja costera norte, adyacente a la calle San José y muy próxima a la avenida de Prado, siendo ambas arterias viales de elevado tráfico vehicular. Las calles aledañas cuentan con autorizaciones como zonas de parqueo, por lo cual se genera un incremento en los niveles de emisiones por fuentes móviles. Ubicado en un entorno urbano/industrial (ISO-9223, 2012), el mismo se encuentra expuesto a niveles de contaminación atmosférica por compuestos de azufre (SO_2) entre $21,5\text{-}32,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, compuesto de nitrógeno (NO_x) superiores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y niveles de deposición de partículas (PM_{10}) por encima de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Oroza, 2019; Placeres et al., 2004; Varona et al., 2011). La exposición durante décadas al incremento paulatino y sin regulación de los niveles de emisiones, ha sido la causa principal del ennegrecimiento y la formación de costras negras en amplias zonas de las fachadas, siendo la más afectada la ubicada hacia la calle San José.

2.3 Metodología de identificación de las lesiones presentes

Se hace importante destacar que en el inicio de la investigación, se hizo difícil el acceso a todos los espacios interiores, debido al riesgo de colapso de la losa de hormigón armado del segundo nivel, el crecimiento significativo de plantas arbustivas en el interior del teatro y una abrumadora cantidad de escombros. Como resultado de los cambios de uso, los años de abandono y la exposición a un medio de creciente tráfico vehicular se fueron incorporando paulatinamente nuevas formas de deterioro, generando vinculaciones entre sí, como fenómenos de corrosión como resultado de fisuraciones provocadas por las raíces de las plantas superiores, o la erosión y formación de eflorescencias en elementos de piedra como consecuencia de ciclos de humectación y secado.

Con el propósito de emplear una metodología operativa que permitiera mostrar la mayor cantidad de patologías asociadas a diferentes factores: antropogénicos, ambientales, estructurales; se decidió aplicar la metodología propuesta por (ICOMOS-ISCS, 2008). Como método para cuantificar la magnitud de las lesiones, se empleó una escala de 0 a 3, en donde el cero representa un riesgo muy bajo, y 3 un riesgo alto para la conservación de la estructura.

3. RESULTADOS

3.1 Estado de conservación en el interior

En el teatro Campoamor se evidencia que de manera general la estructura se encuentra severamente deteriorada. La totalidad de los refuerzos de acero, ya sean las barras en del hormigón armado, como perfiles metálicos recubiertos en hormigón hidráulico, están afectados por corrosión atmosférica. En algunos elementos, el avance de este fenómeno ha provocado delaminación y fractura de las barras, fundamentalmente en vigas y losas. El crecimiento de plantas de porte arbóreo es otro de los aspectos más significativos. Especies de árboles como el Laurel de la India (*Ficus Benjamina*), colonizó casi todos los muros interiores, generando una importante cantidad de grietas y desprendimiento de material durante su crecimiento. También se identificaron una importante cantidad de plantas superiores como helechos (*Pteris vittata*), frescura (*Pilea microphylla*), plantas inferiores como los musgos, entre otras. Este deterioro se debió en gran medida a la pérdida paulatina de los elementos de carpintería y el desplome de la cubierta, lo cual fue propiciando la entrada de agua y la deposición de elementos biológicos en un espacio confinado, que culminó en la formación de un micro ambiente en el interior el teatro. Como ha sido comentado, desde el punto de vista estructural, estos procesos determinaron la vida de servicio hasta un punto crítico, en el cual la obra se encuentra actualmente en elevado riesgo de derrumbe, con la consiguiente significación de pérdida de la obra construida. En las Figuras 3-5, se presentan identificados en color rojo, aquellos elementos estructurales que requieren de una intervención inmediata.

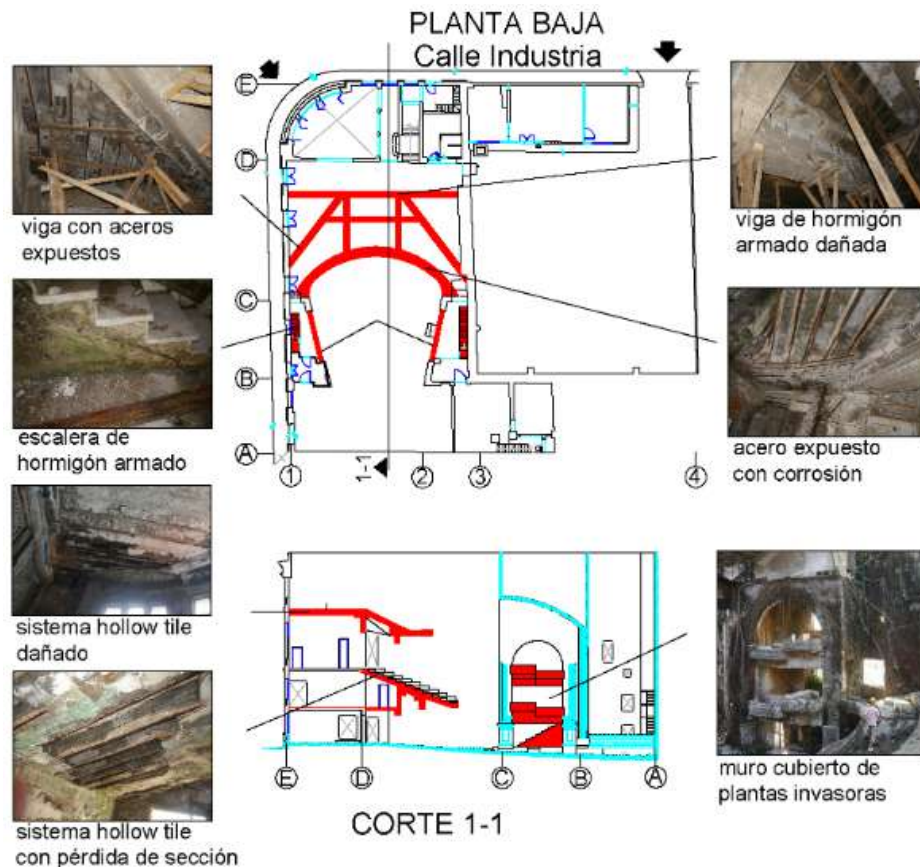


Figura 3. Deterioro avanzado de daños por corrosión en las vigas de hormigón armado, los aceros del sistema hollow tile y los refuerzos de las escaleras. Los muros interiores se muestran colonizados por raíces y musgos.

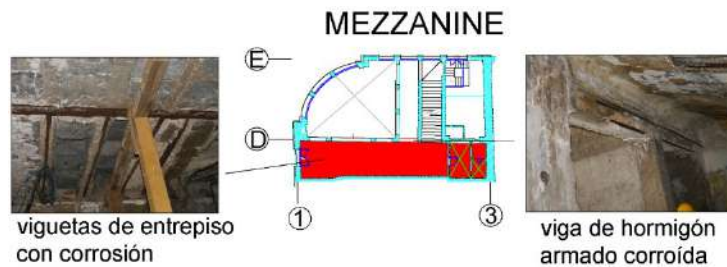


Figura 4. Estructura del mezzanine compuesta por losa hollow tile apoyada sobre viga de hormigón armado, severamente afectada por fenómenos de corrosión atmosférica.

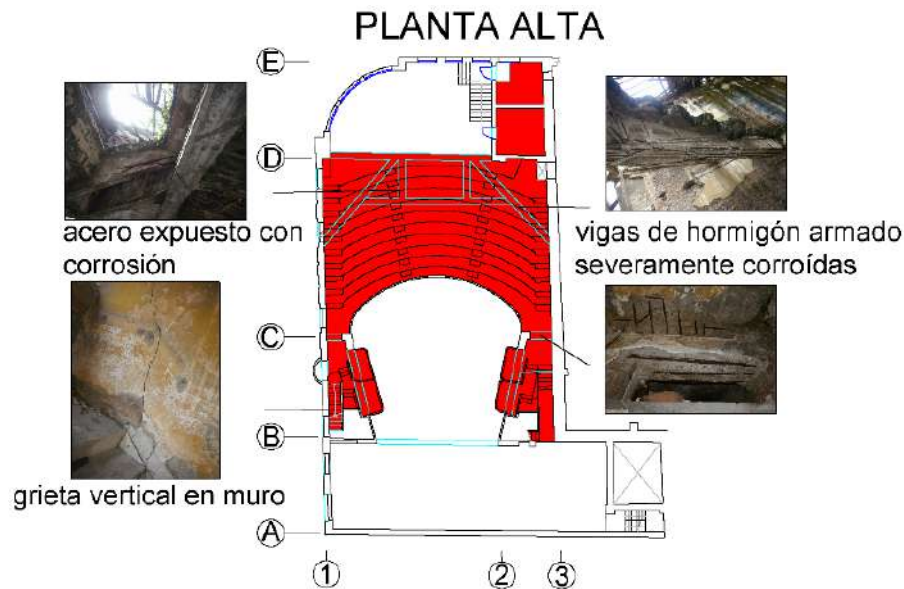


Figura 5. Planta alta del teatro en el sistema de soporte de la platea y los balcones, con grietas verticales en los muros y pérdida total del recubrimiento con refuerzos de acero corroídos.

3.2 Evaluación del estado de conservación de las fachadas

3.2.1 Deterioros presentes en los muros

Las fachadas están conformadas por un sistema porticado de columnas y vigas de hormigón armado, enchapadas con ladrillos colocados a citara en el planta baja y alicatados en el resto de los niveles. En el muro de fachada, conformado por un semicírculo entre las calles Industria y San José, los espacios entre columnas están cerrados por ladrillos colocados de forma alicatada. Los elementos de soporte estructural, muestran afectaciones por corrosión de los refuerzos de acero. Las barras colocadas presentan tres tipos de geometría: redondas corrugadas, cuadradas torcidas y cuadradas simples. En sentido general, las cuadradas torcidas y las redondas corrugadas fueron colocadas en las columnas, mientras las cuadradas simples están en las vigas y dinteles.

Las mayores afectaciones por corrosión se localizan en la fachada semicircular (entrada principal al teatro). Las barras están prácticamente expuestas, algunas han perdido continuidad y el hormigón remanente está agrietado y disgregado. De forma similar sucede con las vigas y dinteles, en donde igualmente por corrosión, el hormigón se ha desprendido y las barras se encuentran expuestas. Existen zonas que, como resultado de los movimientos mecánicos entre los materiales, muestran abofamientos muy pronunciados con riesgo de desprendimiento, fundamentalmente en elementos decorativos del muro semicircular.

Se identificó una grieta inclinada en la fachada hacia la calle San José que puede estar asociada a movimientos de acomodamiento que ha sufrido la estructura por envejecimiento de los materiales,

al ataque de plantas invasoras de porte arbóreo, a la ausencia de viga de cierre o a la combinación de varios de estos factores.

El enchape de ladrillos, fundamentalmente en la base y hacia la calle San José, se encuentra muy socavado y con textura arenisca. Por lo general este tipo de lesión es debida a cocidos inefficientes durante su conformación en los hornos, lo cual deja partículas higroscópicas que se expanden con el incremento de la humedad durante la noche, o en días de lluvias. Al cesar este proceso el material pierde la humedad producto del calor del día, y como resultado se generan procesos cíclicos de expansión y dilatación que culminan con el ablandamiento y desprendimiento del material. De esta manera también se pierde el mortero de repello, lo cual deja expuesto el ladrillo a una mayor exposición de las condiciones climáticas.

Como resultado de la exposición a emisiones por fuente móviles, en casi toda la extensión de los muros, se han formado costras negras, las cuales tienen una mayor concentración en las zonas muertas como bajo balcones y aleros, debido a que quedan protegidos de las lluvias y el sol. En las Figuras 6 y 7 se muestra una representación de los deterioros que afectan las fachadas.

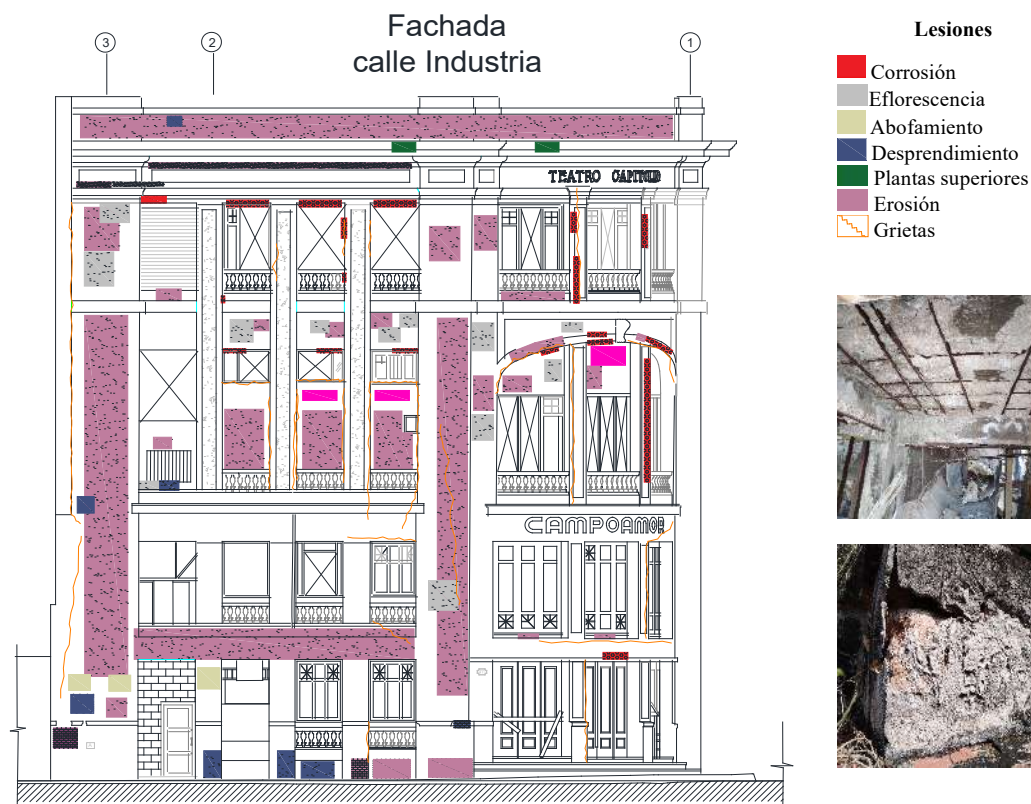


Figura 6. Degradación de los materiales en la fachada hacia la calle Industria.

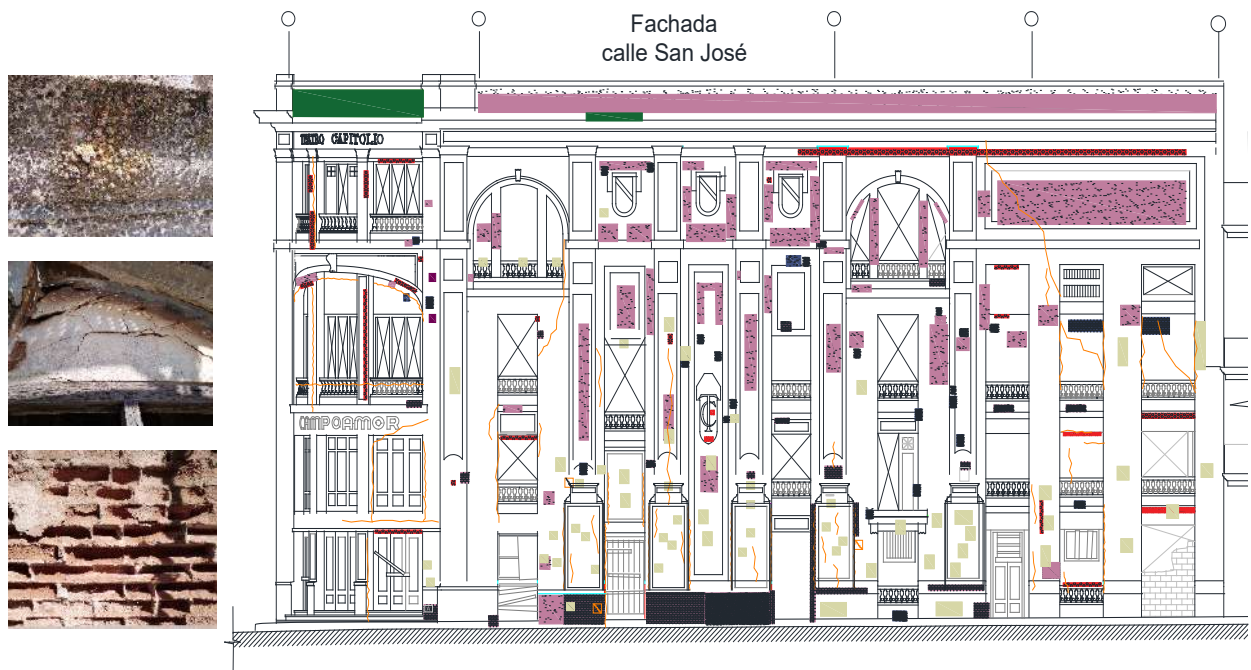


Fig. 7. Degradación de los materiales en la fachada hacia la calle San José.

3.2.2 Relación de deterioros y niveles de impacto

En la evaluación de lesiones y sus niveles de impacto en la estructura se tienen en cuenta factores basados en la presencia o ausencia de elementos, magnitud de la degradación de los materiales y el estado estructural, basado en su estabilidad y riesgo de deformación por las cargas actuantes. Adicionalmente deben considerarse las condiciones climáticas y su nivel de influencia en los diferentes materiales presentes (ladrillo, hormigón, madera, acero). En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis realizado a partir de los resultados obtenidos en la evaluación de lesiones. Los deterioros existentes como resultados de la formación de grietas, desprendimiento y pérdida de material, son los que más impacto tienen en el teatro. En consecuencia, existe un elevado riesgo de colapso de la estructura, por lo que se requiere un proyecto inmediato de apuntalamiento y reforzamiento, seguida de un estudio diagnóstico profundo y un proyecto de restauración que lo devuelva, en la medida de lo posible, a su estado original.

3.2.3 Análisis de verticalidad de los muros de fachada

Un aspecto importante a considerar en cuanto a la estabilidad estructural del inmueble es la verticalidad de las fachadas. Puesto que se trata de una edificación en donde el sistema constructivo se basa en el apoyo de casi toda la estructura interior en los muros de fachada, la amplia variedad y diversidad de daños presentes suponen un riesgo para todo el inmueble. Durante la inspección se identificaron grietas que pueden estar asociados a movimientos en los elementos de fachada. Debido a esto se generaron modelos de elevación a partir de las imágenes obtenidas mediante el empleo del escáner láser Z+F Imager® 5010c. Los modelos de elevación se basan en imágenes que mediante una escala color previamente definida, permiten identificar si existen diferencias entre la cima y la base del elemento vertical escaneado. Los valores positivos hacen referencia a movimientos hacia el frente o a elementos que no están en la línea de fachada (puede ser el caso de elementos estructurales con diferentes secciones o elementos decorativos), y los valores negativos hacen referencia movimientos hacia el fondo (carpintería, diferencia en la sección de los elementos, etc.). El análisis se realizó en la fachada hacia la calle Industria (Figura 8) y la fachada

hacia la calle San José (Figura 9). En el caso de la fachada semicircular (entrada principal), el modelo obtenido no permite análisis similar porque su forma no es recta. En todos los casos se definió como el cero de referencia, el eje central en sentido horizontal. Las unidades se expresan en mm y las magnitudes indican las diferencias con respecto al cero de referencia.

Tabla 1. Relación de degradación de los materiales y su nivel de impacto en la estructura.

	Grietas y deformaciones	Desprendimiento	Pérdida de material	Decoloración y depósito	Colonización biológica
Fachada San José	✓ 3	✓ 2	✓ 2	✓ 3	✓ 3
Fachada Industria	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 2	✓ 1
Fachada (entrada)	✓ 3	✓ 3	✓ 3	✓ 3	✓ 0
Mezzanine	✓ 1	✓ 3	✓ 3	✓ 0	✓ 3
Balcones	✓ 1	✓ 2	✓ 2	✓ 1	✓ 3
Escaleras	✓ 1	✓ 2	✓ 2	✓ 0	✓ 1
Carpintería	✓ 3	✓ 3	✓ 3	✓ 2	✓ 0
Losas	✓ 3	✓ 3	✓ 3	✓ 0	✓ 0
Cubierta	inexistente				

El análisis de las fachadas muestra homogeneidad en el color, sin existir variaciones significativas, lo que sugiere que actualmente no hay pérdida de verticalidad. Con los resultados obtenidos se infiere que la aparición de las grietas inclinadas es el resultado del acomodamiento que ha sufrido la edificación debido al envejecimiento de los materiales y al ataque de plantas invasoras de porte arbóreo. Los colores obtenidos en los balcones y los balaustres son de un tono amarillo y rojo porque corresponden a elementos que se encuentran más profundos que el muro de la fachada por lo cual, de acuerdo a la escala empleada, estos se muestran en valores negativos. Lo mismo ocurre con los aleros y decoraciones donde los colores obtenidos están entre azul claro y azul oscuro, porque hace referencia a valores positivos.

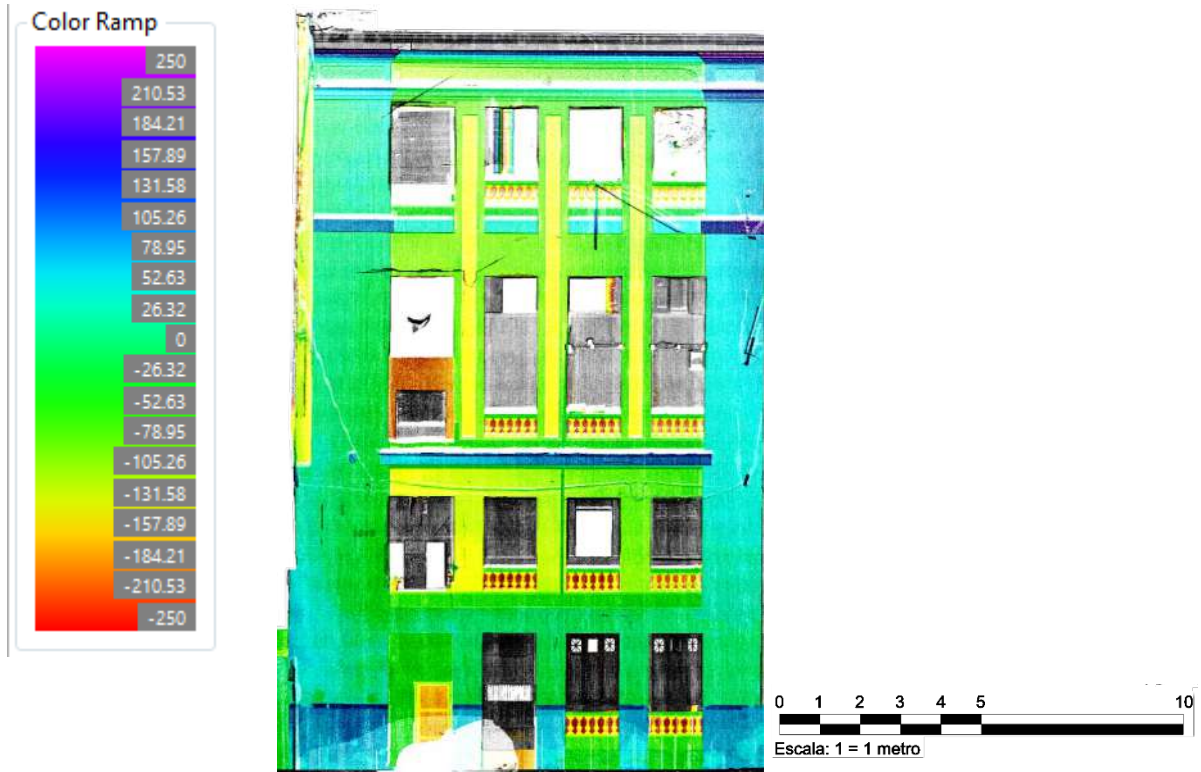


Figura 8. Modelo de elevación de la fachada hacia la calle Industria.

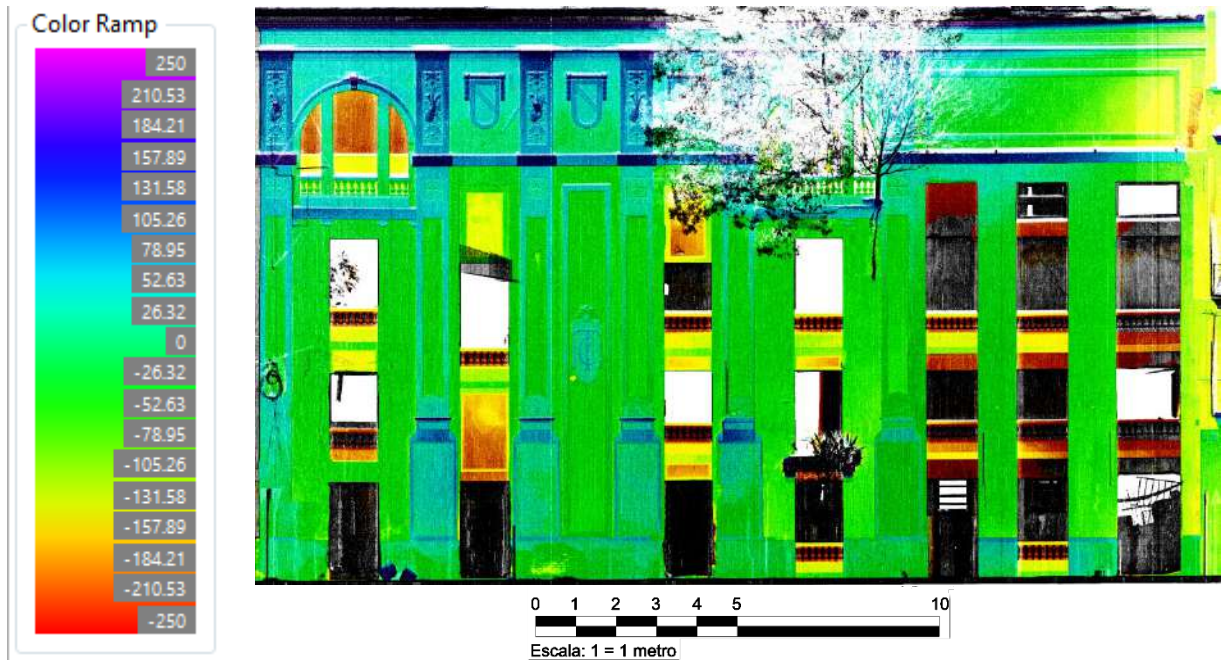


Figura 9. Modelo de elevación de la fachada hacia la calle San José.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se mostraron los resultados obtenidos de la evaluación realizada al teatro Campoamor, en donde se registraron todas las lesiones presentes y su nivel de impacto en la estabilidad de la estructura.

La pérdida de la cubierta y la carpintería de las fachadas facilitaron la entrada de agua pluvial, lo cual propició la formación de un micro ambiente húmedo en el interior que desencadenó una serie de procesos patológicos devenidos en colonización de plantas y microorganismos, corrosión del refuerzo, delaminación de los perfiles, pérdida de sección de las barras de acero, desprendimiento y formación de grietas verticales e inclinadas.

Los muros de fachada son de los elementos más comprometidos debido al elevado nivel de degradación de los materiales como resultado de la interacción de diversos factores estructurales, antropogénicos y ambientales. Esta combinación de elementos genera mecanismos muy complejos de deterioros, que después de décadas de abandono, es difícil atribuir el origen del deterioro a una sola fuente. Sin embargo, a pesar de la magnitud y severidad de lesiones que muestran, los modelos de elevación obtenidos, no reflejan pérdida de la verticalidad.

Para evitar el colapso de la estructura, se requieren de acciones inmediatas de reforzamiento y apuntalamiento, para iniciar el proceso de rehabilitación y reutilización del teatro.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó bajo el Proyecto de Restauración del Teatro Campoamor a cargo de la Entidad Inversionista Obispo de la Oficina del Historiador de La Habana. Los autores desean agradecer el apoyo prestado por todo el equipo de trabajo de esta entidad.

De igual manera, se desea agradecer al Ing. Rafael González por su experiencia en los sistemas constructivos y sus mecanismos de deterioro, así como al Lic. Pedro R. Cuétara por su ayuda en la creación de orto-imágenes y modelos de elevación a partir del escáner láser.

6. REFERENCIAS

Brimblecombe, P., Grossi, C.M. and Harris, I., 2011. Climate change critical to cultural heritage, Survival and sustainability. Springer, pp. 195-205.

Cavalagli, N., Kita, A., Castaldo, V., Pisello, A. and Ubertini, F., (2019), Hierarchical environmental risk mapping of material degradation in historic masonry buildings: An integrated approach considering climate change and structural damage. Construction and Building Materials, 215: 998-1014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.204>

Di Turo, F., Proietti, C., Screpanti, A., M. Francesca Fornasier, Cionni, I., Favero, G. and Marco, A.D., (2016), Impacts of air pollution on cultural heritage corrosion at European level: What has been achieved and what are the future scenarios. Environmental Pollution: 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.042>

Fowler, D., Brimblecombe, P., Burrows, J., Heal, M.R., Grennfelt, P., Stevenson, D.S., Jowett, A., Nemitz, E., Coyle, M. and Lui, X., (2020), A chronology of global air quality. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 378(2183): 20190314. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0314>

ICOMOS-ISCS, (2008), "*Illustrated glossary on stone deterioration patterns, monuments and sites*".

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*.

ISO-9223. (2012). *Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Classification, determination and estimation*.

Kumar, P. and Imam, B., (2013), Footprints of air pollution and changing environment on the sustainability of built infrastructure. *Science of The Total Environment*, 444: 85-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.056>

Oroza, A.H., (2019), Impact of environmental pollution in the historical buildings of Havana. Effect of future climate change. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3): 219-228. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000300219>

Paradiso, M., Garuglieri, S. and Ferrarini, V., (2020), The Convent of Santa Teresa de Jesús in Havana: analysis, consolidation and restoration for the New Museum of Sacred Art. *Procedia Structural Integrity*, 29: 87-94. <http://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.11.143>

Placeres, M.R., Bermejo, P.M., Lacasaña-Navarro, M., Rojo-Solís, M.M.T., Aguilar-Valdés, J. and Romieu, I., (2004), Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. *Salud Pública de México*, 46(3): 222-233.

Sánchez, Z.I., 2017. *Historia del Teatro Campoamor*, Empresa de Proyectos. Restaura, Oficina del Historiador de La Habana.

Varona, M.M., Maldonado, G., Esquivel, E.M. and Fernández, A., (2011), Daily changes of air pollutant levels in Havana (CUBA). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 11: 786-792.

Mapeamento e análise das manifestações patológicas: estudo de caso estádio Rosenão em Parauapebas – PA.

A. L. S. PINTO¹, A. C. COSTA², L. N. P. CORDEIRO³, A. A. PALMA E SILVA^{4*}, J. M. RIBEIRO⁵.

*Contato: eng.aviz@gmail.com

¹Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, PA.

²Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, PA.

³Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, PA.

⁴Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC, Brasília, DF.

⁵Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC, Brasília, DF.

RESUMO

O estádio José Raimundo Roseno Araújo – O ROSENÃO como é conhecido, teve sua inauguração no ano de 1997, suas arquibancadas são feitas em concreto armado, onde não são cobertas, estando desde então expostas a intempéries e ações de deterioração, além da carga dos torcedores em dias de jogo. Este artigo tem como objetivo analisar a integridade estrutural deste estádio, catalogando e diagnosticando as principais manifestações patológicas em sua estrutura. Para isso, foram recolhidos e analisados todos os dados obtidos sobre o estádio e realizou-se uma série de inspeções, que foram documentadas em registros fotográficos, onde o microclima e as normas de construção também foram estudados. Os resultados obtidos permitiram contabilizar as manifestações patológicas encontradas e suas causas e origens.

Palavras-chave: Degradação de edifícios; Manifestações Patológicas; Durabilidade.

ABSTRACT

The José Raimundo Roseno Araújo stadium - ROSENÃO as it is known, opened in 1997, has its grandstands made mainly of reinforced concrete, which are not properly covered, being exposed to weather and deterioration agents, in addition to the load of people on game days. This article aims to analyze the structural integrity of this stage, cataloging and diagnosing the main pathological manifestations in its structure. For that, all the data obtained about the stadium were collected and analyzed and inspections were carried out, which were documented in photographic records. The climatic environmental and the construction standards were also studied. The results obtained allowed to account for the pathological manifestations found in it.

Keywords: Degradation; Pathological Manifestations; Durability.

RESUMEN

El estadio José Raimundo Roseno Araújo - ROSENÃO como se le conoce, inaugurado en 1997, sus gradas son de hormigón armado, donde no están cubiertas, y desde entonces han estado expuestas a la intemperie y acciones de deterioro, además de la carga de la afición. en los días de juego. Este artículo tiene como objetivo analizar la integridad estructural de esta etapa, catalogando y diagnosticando las principales manifestaciones patológicas en su estructura. Para ello, se recogieron y analizaron todos los datos obtenidos sobre el estadio y se realizaron una serie de inspecciones, que quedaron documentadas en registros fotográficos, donde también se estudió el microclima y las normas de construcción. Los resultados obtenidos permitieron dar cuenta de las manifestaciones patológicas encontradas.

Palabras clave: Degradación de la edificación; Manifestaciones patológicas; Durabilidad.

1. INTRODUÇÃO

Parauapebas é um município do sudeste Paraense, conhecido por estar dentro de seus limites geográficos a maior província mineral do planeta, a Serra dos Carajás. O PIB da cidade já chegou a ser o maior do estado, superando a capital, atualmente possui o maior PIB do interior. Seu nome é uma referência ao Rio Parauapebas, o termo tem origem tupi que significa “afluente raso do rio gigante”. As reservas minerais que foram descobertas na década de 60, tem a empresa Vale como detentora do direito de exploração do minério de ferro, onde construiu uma rodovia asfaltada entre as instalações da empresa e a cidade de Marabá com cerca de 200Km. A estrada foi posteriormente transferida ao estado, passando a ser denominada PA-275, concluída em 1976.

Para abrigar seus funcionários, a Vale construiu um núcleo urbano em meados de 1981, sendo no bairro Rio Verde, o mais antigo da cidade. Em 1985, é inaugurada a Estrada de Ferro Carajás, ligando a Serra dos Carajás ao Porto da Ponta da Madeira, em São Luís - MA. Nessa época, o ainda distrito de Parauapebas já acumulava mais de 20 mil habitantes. Distante 660 km da capital Belém, Parauapebas foi emancipada no ano de 1980 da cidade de Marabá. Tendo hoje, de acordo com estimativas do IBGE, população superior a 200 mil habitantes, sendo a sexta maior população do estado. Podemos destacar como as obras de infraestrutura do município, o Aeroporto de Carajás, a Estrada de Ferro Carajás, o campus universitário da UFRA, o ginásio poliesportivo, a atual prefeitura e o Estádio Rosenão.

De propriedade da Liga Esportiva de Parauapebas (LEP), o Estádio José Raimundo Roseno, o Rosenão, foi construído em 1997. A LEP o mantém através de recursos de iniciativa privada e convênios com a Prefeitura Municipal. O estádio recebe jogos tanto do Futebol Amador, quanto Profissional, além de atividades organizadas pela prefeitura. Já recebeu jogos importantes, do Parauapebas Futebol Clube (PFC), em competições estaduais e nacionais, o Águia de Marabá, em

2009 teve os seus jogos da Série C do Campeonato Brasileiro no estádio, pois o Estádio Zinho de Oliveira, da cidade de Marabá não possuía capacidade exigida pela Confederação Brasileira de Futebol (CBF).

Para conferir segurança às estruturas e garantir-lhes desempenho em serviço adequado, além de aparência estética, devem ser observadas as exigências com relação à capacidade resistente, bem como às condições em uso normal e, principalmente, às especificações referentes à durabilidade, normatizadas pela ABNT NBR 6118:2003, que apresenta as diretrizes para estruturas de concreto, tais como: exigências de durabilidade, vida útil de projeto, agressividade do Ambiente, mecanismos de envelhecimento e deterioração.

Com o passar dos anos, a estrutura da arquibancada do estádio, foi acumulando danos estruturais evolutivos, e podemos também analisar nesta estrutura, manifestações patológicas características dos esforços causados pela vibração de torcedores em dias de lotação máxima. Por ser o estádio de futebol mais importante da região de Carajás, e o maior em capacidade de público, esse trabalho visa mapear a situação da estrutura da arquibancada, bem como todas as dependências alocadas por baixo (vestiários, depósitos, escritórios, acesso) e por cima (tribuna, cabines de transmissão, camarotes), elencando as manifestações patológicas presentes e suas possíveis causas, avaliando o seus estados de avanço. Para isso foram feitas vistorias, compostas de relatórios fotográficos, além de estudos climatológicos da região, analisando-se a relação entre os fatores climáticos e as manifestações.

1.1 Microclima da Região

Parauapebas possui um clima tropical, tendo dois subtipos de clima, o de planícies e o de montanhas, ambos incluídos na classificação segundo Köppen (2013) como quentes e úmidos, com elevada precipitação. A temperatura média anual é de 29°C, e tem como característica possuir fracas rajadas de vento. A região apresenta o período de estiagem de cinco meses, entre junho e outubro, um período chuvoso entre dezembro e abril e dois períodos de transição: seco para chuvoso em novembro e chuvoso para seco em maio. A Figura 1 apresenta o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano.

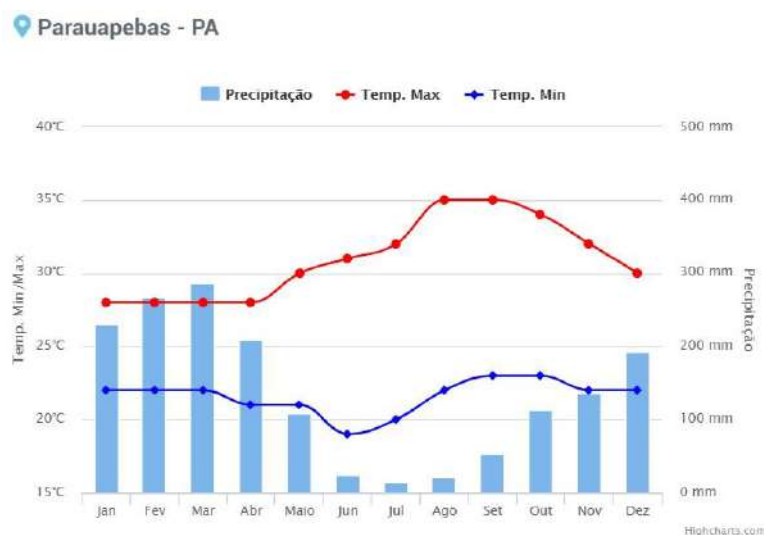


Figura 1 – Comportamento da chuva e da temperatura de Parauapebas - Fonte: Climatedio (2020)

1.2 Manifestações patológicas e as condições climáticas

É crescente a incidência de manifestações patológicas com causas diversas nas edificações. Diversas manifestações tem como origem, as etapas de projeto e execução de obras, que não levam em conta os fatores climáticos como o da região aqui estudada. Estes fatores climáticos podem ter grande impacto no estado de degradação de edifícios.

1.2.1 Fissuração

São pequenas rupturas que aparecem nos revestimentos, em peças estruturais, ou mesmo em componentes de vedação.

A correta identificação da causa da fissura é o primeiro passo para a tomada de decisão sobre qual o tratamento adequado a ela, se existe ou não a necessidade de se fazer reforços estruturais na peça, ou em casos críticos, se a peça está condenada a demolição (Souza e Ripper, 1998). Podemos diferir as fissuras quanto ao carregamento (causadas por ações de flexão, tração ou cisalhamento) e as fissuras causadas por deformações impostas (retração, variação de temperatura e recalques diferenciais) (Cunha, 2011). Rachaduras podem ser uma evolução de uma fissuração. As rachaduras geralmente são maiores, mais profundas e acentuadas. Em diversas situações podem abrir pequenas frestas na alvenaria, possibilitando a entrada de água, luz e ar.

Para fins de padronização, apesar de não existir atualmente consenso na literatura acerca da abertura máxima e mínima para classificação de fissuras, neste trabalho, a classificação adotada foi a seguinte: Aberturas com espessura até 1mm – Fissuras; Aberturas entre 1 a 3 mm – Trincas; Aberturas acima de 3 mm – Rachaduras.

1.2.2 Corrosão da armadura

Segundo Soares, Vasconcelos e Nascimento (2015); as armaduras utilizadas nas estruturas de concreto armado estão protegidas inicialmente pelo cobrimento exigido em projeto, formando uma barreira física aos agentes externos. A ausência desta proteção acelera o processo de oxidação das armaduras, que acontece quando o concreto é permeável, permitindo que íons cheguem até a armadura, juntamente com água e oxigênio, iniciando o processo de corrosão. As condições climáticas do local têm forte influência no desenvolvimento desta manifestação patológica.

1.2.3 Eflorescência

De acordo com Santos e Silva Filho (2008), podemos definir “Eflorescência” como “depósitos cristalinos de cor branca que surgem nas superfícies cimentícias, revestimentos, paredes e tetos, resultantes da migração e posterior evaporação da água de soluções aquosas salinizadas”.

Santos e Silva Filho (2008) ainda acrescentam:

“Os depósitos acontecem quando os sais solúveis nos componentes das alvenarias, nas argamassas de emboço, de fixação, de rejuntamento ou nas placas cerâmicas são transportados pela água utilizada na construção, na limpeza ou vinda de infiltrações, através dos poros dos componentes de revestimento”. Portanto, observa-se grande influência no volume de chuvas e de áreas desprotegidas das edificações na manifestação patológica supracitada, em decorrência do carregamento do hidróxido de cálcio presente no interior do concreto e de materiais cimentícios, e posterior formação de carbonato de cálcio nas superfícies.

1.2.4 Deslocamento

O deslocamento é uma das anomalias mais comuns e sérias que ocorrem com revestimentos cerâmicos, e surge quando a habilidade de adesão entre elementos do sistema (placa cerâmica e a argamassa e/ou emboço) não é mais eficiente, ou seja, as tensões que surgem são fortes o suficiente para romper essas ligações (Almeida, 2015). A argamassa colante, fora das especificações de projeto para o local de aplicação, bem como o mau assentamento das placas cerâmicas pelo operário, não respeitando as boas práticas da engenharia, também pode ocasionar deslocamento.

1.2.5 Manchamento

Segundo Quinteiro (2010), ocorre com a mudança na tonalidade em revestimentos cerâmicos, devido ao manchamento abaixo do esmalte, na camada de engobe, que é a camada localizada entre o esmalte e a cerâmica. Esse fator afeta a estética das placas. Os manchamentos também são comuns em argamassas de revestimento, e outros elementos construtivos de camada última.

2. METODOLOGIA

2.1 Descrição do objeto de estudo

A obra do estádio Rosenão foi concluída no ano de 1997, sua área total de 18889 m² e o perímetro de 559 m. A área de campo gramado com 7500 m² com um perímetro de 350 m e arquibancada com área total de 1145 m² com um perímetro de 215 m. A Figura 2 ilustra o estádio objeto de estudo para melhor entendimento da metodologia de análise deste trabalho.

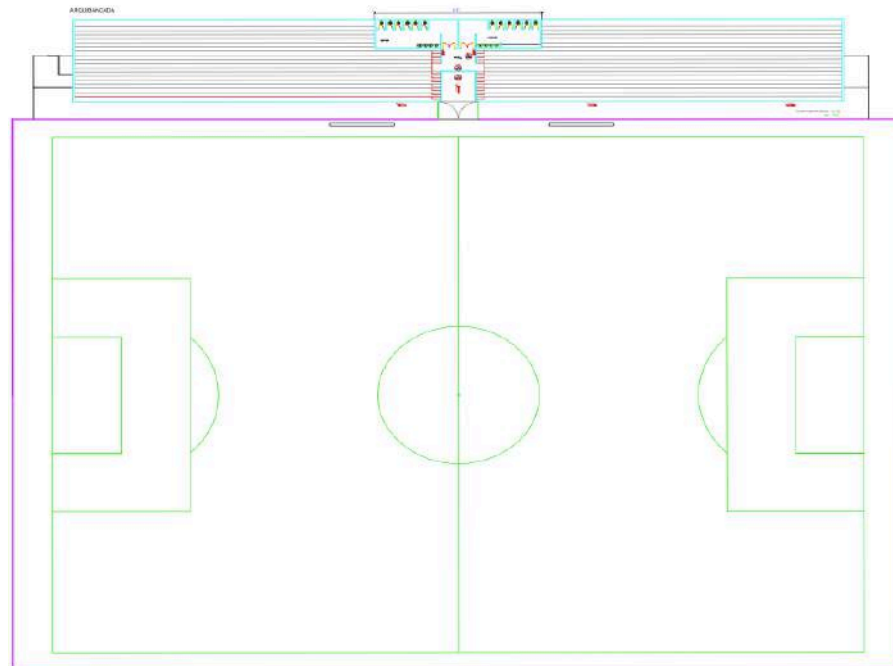


Figura 2. Planta baixa do estádio do Rosenão. Fonte: Autor (2020).

2.2 Métodos de investigação para manifestação patológica

No ano de 2016 o estádio foi interditado devido a uma sequência de manifestações patológicas como rachaduras, infiltrações, deslocamento do revestimento cerâmico dos banheiros, manchamentos e eflorescências. Algumas das manifestações tinham caráter estético, porém, outras afetavam a segurança em uso de seus usuários.

Durante a anamnese desse estudo, não se encontrou um histórico detalhado de todas as intervenções no estádio. Apenas algumas informações em blogs na internet, onde verificou-se que a última reforma foi feita no primeiro semestre de 2017 pela diretoria da Liga Esportiva de Parauapebas (LEP).

Como todos os compartimentos do estádio, vestiário, banheiro, escritório e portaria foram feitos aproveitando estrutura da arquibancada como cobertura, todos os ambientes irão ser afetados por quaisquer manifestações patológicas que venham a ocorrer com a arquibancada. As estruturas são em concreto armado, e suas lajes não cobertas, ficando expostas à diversos intempéries. As arquibancadas de concreto armado, feitas em laje pré-moldadas, preenchidas com blocos cerâmicos, vigotas de concreto apoiadas em vigas, que são apoiadas nos pilares. Para a alvenaria de vedação são utilizados blocos cerâmicos revestidos interna e externamente por argamassa. A arquibancada sofre com a carga dinâmica dos torcedores que em dias de jogos, e com o acúmulo de água proveniente da chuva em suas lajes, que percolam por outros de seus elementos estruturais, causando manifestações patológicas em sua estrutura.

Os elementos analisados na arquibancada do Estádio Rosenão neste trabalho são: lajes, vigas, pilares, fachada e alvenaria de vedação. Para uma avaliação sistémica do objeto de estudo, o fluxograma apresentado na Figura 3 foi seguido pelos autores.

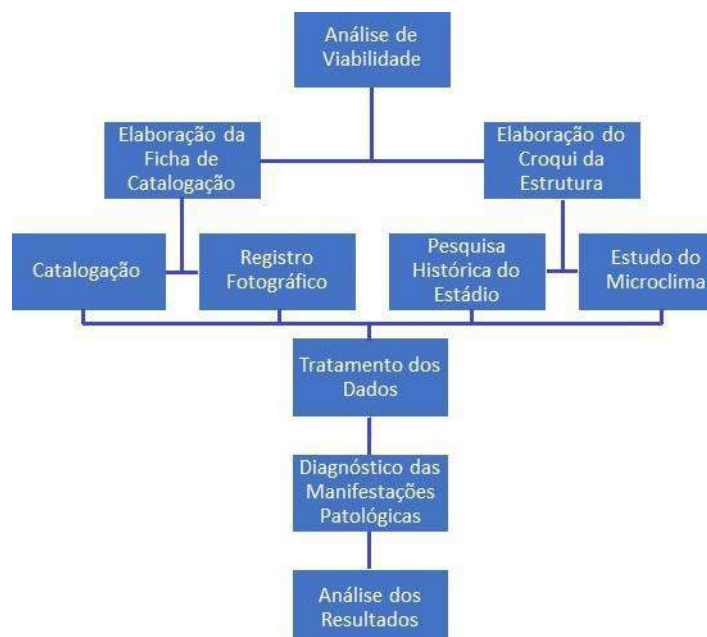


Figura 3. Fluxograma de investigação das manifestações patológicas. Autor (2020).

Inicialmente, foi feita visitação ao estádio para avaliar a viabilidade do estudo. Constatado a viabilidade, foi realizado um diagnóstico através de análise visual e registro fotográfico para estudos posteriores. Com a análise de viabilidade concluída, foi elaborada uma ficha de catalogação de manifestações patológicas, conforme apresentado na figura 4.

Levantamento e análise das manifestações patológicas		
Local:	Estádio Rosenão, município de Parauapebas - PA	
Data:	Hora:	Clima:
Elemento da Estrutura:		
Tipo de Manifestação Patológica:		
Agrupamento:	() Repetitivo/Padrão () Isolada	() Aleatória
Largura:	() Constante	() Variável
Largura em mm:		
Orientação:	() Horizontal () Inclinada	() Vertical () Mista
Quantidade:		
Sistema de revestimento:	() Em Argamassa () Não possui	() Cerâmico
Causas:	() Primária () Erro de Execução () Não há relação entre causa e manifestação patológica	() Secundária () Material não indicado
Ações naturais:	() Física (efeitos do vento e da chuva, movimentos térmicos/umidade) () Química (oxidação, carbonatação, chuva ácida, sais, poluição) () Biológica (vegetação, fungos, insetos, etc.)	

Figura 4. Ficha de avaliação de manifestações patológicas. Autor (2020).

Posteriormente, com a ficha de catalogação de manifestações patológicas elaborada, deu-se início ao estudo de campo, realizando a catalogação das manifestações patológicas em cada elemento da estrutura, sendo feito o registro fotográfico para complementação de análise e apresentação do trabalho, organizando as fotos para cada tipo de manifestação patológica encontrada nos diferentes elementos.

Foi realizado o estudo do microclima do município de Parauapebas em sites de estudos climatológicos e a pesquisa histórica do estádio em enciclopédia digital para complementar as análises dos prováveis causadores das manifestações patológicas.

De posse desses dados, foi feito o diagnóstico das manifestações patológicas e a análise dos resultados. Para a análise dos dados catalogou-se separadamente parte da estrutura, separando-as em vigas, pilares, laje, arquibancada, alvenaria de vedação e fachada. De tal maneira que as inspeções fossem divididas em grupos, de acordo com o tipo de elemento. Em seguida, foram criados gráficos que correlacionam o grau de incidência das manifestações identificadas auxiliando no diagnóstico do estádio. A forma de divisão da edificação realizada pelos autores para a metodologia deste trabalho está disposta na Figura 5 abaixo.



Figura 5. Divisão de avaliação para mapeamento das manifestações patológicas do estádio.
Fonte: Autor (2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise das Manifestações patológicas na fachada externa

Antunes (2010) em sua dissertação de mestrado afirma que fachadas por estarem mais expostas ao meio ambiente e as ações atmosféricas têm uma probabilidade maior de deterioração durante sua vida, prejudicando a vida útil da edificação. Entre os fatores externos com maior influência na deterioração da fachada estão a umidade e as variações térmicas, bem como a ação do vento e chuva.

Como foi realizada uma reforma de janeiro a março de 2017, esperava-se que a fachada se encontrasse em bom estado, no entanto, foi possível detectar ainda alguns pontos de infiltrações provenientes do banheiro da parte interna da edificação. Na figura 6, percebe-se a incidência de algumas trincas e fissuras que atingem o revestimento externo da edificação, perceptivelmente ligadas à umidade proveniente da parte interna. Percebe-se também manchas de umidade e deterioração da pintura, causando dano estético.



Figura 6. Manifestações patológicas localizadas na fachada. Fonte: Autor (2020).

Apesar de terem sido detectadas manifestações patológicas na fachada, verifica-se que o grau de deterioração desta não acompanha as demais regiões avaliadas neste trabalho, onde este encontra-se menos degradado. Foram encontrados locais pontuais degradados, sendo que a maioria deles é proveniente de problemas internos da edificação. Levando-se em conta que esta região é uma das mais afetadas pelas variações climáticas e higrotérmicas, é razoável pontuar que os danos na edificação provavelmente se devem em sua maioria às etapas de execução, projeto e uso, como veremos nas demais regiões analisadas neste trabalho.

3.2 Análise das Manifestações patológicas na alvenaria de vedação interna

Mesmo após uma reforma recente, foram encontradas manifestações patológicas na alvenaria de vedação interna. Visíveis infiltrações provenientes do banheiro e da laje que ocasionaram outras manifestações como fissuras, manchamentos e eflorescência. Também pode ser detectado o manchamento nas placas cerâmicas.

É possível visualizar, nas Figuras 7 e 8 as principais manifestações patológicas registradas e catalogadas nesta região.



Figura 7. Vestiário dos atletas. Eflorescências e destacamento de pintura por ação de umidade mapeados. Fonte: Autor (2020).



Figura 9. Corredor de entrada dos vestiários. Fissuras com deslocamento de argamassa, rachaduras por conta da corrosão de armadura e fissuras típicas de retração hidráulica. Fonte: Autor (2020).

Ao longo do corredor, foi possível detectar ainda locais de destacamento do revestimento cerâmico instalado. Esta manifestação ocorreu próxima a locais com presença de umidade por conta de infiltrações, sendo, portanto, um forte indício da causa deste destacamento. Porém, observa-se ainda que a argamassa colante remanescente no substrato da região apresenta sinais de má aplicação, tendo em vista que ainda é possível visualizar que os cordões de argamassa não foram rompidos na aplicação, ocasionando baixa aderência do revestimento. Este fato pode ser constatado na Figura 10 abaixo.



Figura 10. Destacamento do revestimento cerâmico pela presença de umidade proveniente de infiltrações, bem como registro da má aplicação do revestimento na etapa de execução.

A partir dos dados coletados na pesquisa de campo calculou-se a frequência das incidências de

cada manifestação patológica na alvenaria de vedação interna, os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Manifestações patológicas nas alvenarias de vedação interna	Nº de Incidências
Rachaduras	3
Fissuras	26
Trincas	0
Manchamentos	6
Desplacamento de revestimentos cerâmicos	3
Eflorescências e Infiltrações	17
Armadura exposta com corrosão	1

Tabela 1. Incidência de manifestações patológicas na alvenaria de vedação interna. Fonte: Autor (2020).

3.3 Análise das manifestações patológicas nas lajes

Foram encontradas 29 manifestações patológicas sobre as superfícies e na parte inferior das lajes, principalmente na laje que cobre os camarotes. As manifestações localizadas na região superior ao camarote são nitidamente as que oferecem mais risco ao usuário, tendo em vista que na própria vistoria presencial, observou-se ruídos da de deslocamentos de argamassa para a região inferior. Essas lajes ainda recebem a carga dos reservatórios de água. Outras manifestações patológicas foram detectadas como umidade devido a infiltrações, eflorescências, rachaduras, fissuras, deslocamentos volmétricos e cerâmicos, armaduras expostas e com sinais de corrosão. As Figuras 11, 12 e 13, fazem parte do relatório fotográfico acerca das manifestações patológicas nas lajes do objeto de estudo.



Figura 11. Fissuras nas lajes do estádio. Fonte: Autor (2020).



Figura 13. Fissuras, umidade nas extremidades e rachaduras com armadura exposta nas lajes do estádio. Autor: (2020).

A partir dos dados coletados na pesquisa de campo calculou-se a frequência das incidências de cada manifestação patológica nas lajes do estádio. A Tabela 2 permite a visualização da incidência das manifestações patológicas nas lajes do estádio.

Manifestações patológicas nas Lajes do estádio	Nº de Incidências
Rachaduras	3
Fissuras	18
Trincas	0
Manchamentos	5
Desplacamento de revestimentos cerâmicos	0
Eflorescências e Infiltrações	1
Armadura exposta com corrosão	4

Tabela 2. Número de incidências das manifestações patológicas nas lajes do estádio. Autor (2020)

Apesar de ser uma parte descoberta da estrutura, sendo portando exposta à intempéries, as lajes do estado apresentaram um nível de degradação inferior às alvenarias de vedação internas. Este fato traz à tona a possibilidade maior de que a região climática, bem como as variações higrótérmicas, hajam sobre a estrutura provocando manifestações patológicas, porém, é fato que a falta de manutenção e falhas executivas nas etapas de origem e projeto da edificação podem estar tendo grande influência na durabilidade do edifício.

As regiões de alvenaria interna apresentaram 17 zonas com eflorescência e infiltrações contra apenas 1 localizada nas lajes do estádio. Estes resultados evidenciam a falta de desempenho ligado a estanqueidade do estádio. As infiltrações e eflorescências são manifestações intimamente ligadas à percolação de água pelo material, evidenciando que falhas na impermeabilização e em sistemas hidráulicos. Sendo assim, pode-se concluir que apesar de as lajes estarem sujeitas à intempéries, provavelmente os efeitos sejam conduzidos aos andares inferiores, apresentando um número maior de eflorescências, infiltrações e manchamentos.

3.4 Análise das Manifestações patológicas nos pilares internos

Na figura 14 são apresentadas as manifestações patológicas em um pilar interno, nota-se nesse elemento, manchas e destacamento da pintura.



Figura 14. Manchamentos relativos à presença de umidade em pilares internos do estádio.
Fonte: Autor (2020).

O grau de degradação dos pilares internos encontra-se no âmbito estético em sua maioria. As manifestações encontradas ainda não apresentam riscos à segurança da estrutura, porém, é necessária uma intervenção para solucionar estes problemas o quanto antes. A umidade nos pilares é do tipo ascendente, que caracteriza uma manifestação patológica ligada à capilaridade nos materiais cimentícios. A presença de umidade devido ao efeito da capilaridade pode, a longo prazo, trazer consigo possibilidade de corrosão de armaduras pelo carreamento do hidróxido de cálcio presente na estrutura de concreto para fora da peça, o que diminui a alcalinidade e provoca corrosão.

Não foram encontradas manifestações mais severas nos pilares do estádio, evidenciando que, em certo grau, a estrutura se comporta de forma adequada às solicitações mecânicas e higrotérmicas.

3.5 Análise das Manifestações patológicas na arquibancada

Foram encontradas, entre trincas, fissuras e rachaduras, 94 falhas na região das arquibancadas. As falhas na região da arquibancada podem ser provenientes de dois fatores. Por um lado, observa-se o grande movimento de carga em dias de jogo no estádio, devido à circulação de torcedores no local. Por outro, observa-se que esta região é descoberta, e está submetida às variações de origem higrotérmica pela variação de temperatura e incidência de raios solares.

Ocorre que nos tópicos supracitados, foi observado que outras regiões com características similares às arquibancadas não apresentam o mesmo grau de degradação que elas. As lajes do estádio por exemplo, apresentaram menos fissuras que as arquibancadas, e também um número menor se comparado às áreas internas do estádio, como pode ser visualizado na Figura 15.

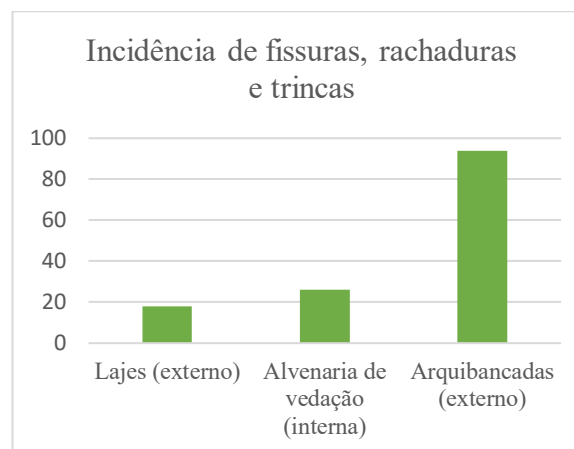


Figura 15. Incidência de trincas, fissuras e rachaduras no estádio. Fonte: Autor (2020).

O evidenciado com as informações acerca destas manifestações patológicas, é que o estádio necessita de avaliação estrutural acerca das solicitações que recebe, principalmente em dias de jogos importantes, já que pela análise que foi feita a partir do levantamento das manifestações deste trabalho, as variações higroscópicas ligadas ao clima da região de na análise influenciam muito menos na degradação das áreas maiores do estádio do que a própria solicitação de carga pelos usuários. Ressalta-se ainda que uma das regiões menos afetadas do estádio é a fachada externa, que teoricamente é uma das que mais recebe efeitos de mudança de temperatura e chuvas, reforçando o apontamento supracitado.

A Figura 15 evidencia diversas regiões de sujidades e manchamento por umidade. Observou-se ainda deslocamentos no revestimento da arquibancada devido ao esforço que recebe nos dias de jogo, pela tensão produzida pela torcida. Todos esses esforços transmitem cargas para o restante da estrutura, o que acentua este tipo de deslocamento.

Foi possível visualizar nas arquibancadas, fissuras mapeadas típicas do processo de retração por secagem, que tem como origem o excesso de finos ou ausência ou ineficácia do processo de cura durante a execução da peça de material cimentício. Esta manifestação patológica denota ainda mais a influência da deficiência nas etapas de obra de execução.

Além das manifestações patológicas mapeadas, foram encontradas duas regiões de fissuração extensa e unidirecional, que atravessam a arquibancada de um lado a outro, como ilustrado na Figura 16. As fissuras são típicas de edificações onde não se fez uma junta estrutural adequada e, portanto, seus elementos estruturais se movimentam de formas distintas e acabam por fissurar em sua interseção.

Durante a anamnese deste trabalho, veio à tona a hipótese relatada por funcionários de que naquele local existiam realmente juntas de movimentação, mas que foram fechadas com concreto, impedindo a livre movimentação entre elas.



Figura 16. Sujidades, manchamentos e pequenos desprendimentos de argamassa na arquibancada do estádio. Fonte: Autor: (2020).



Figura 17. Fissuras mapeadas típicas de retração por secagem e juntas estruturais defeituosas ou mau executadas ao longo da arquibancada.

4. CONCLUSÕES

Após a pesquisa constatou-se que as manifestações patológicas mais recorrentes são as fissuras trincas e rachaduras, principalmente causadas por sobrecarga nas estruturas. No início deste trabalho, buscou-se ainda compreender se o clima da região tinha grande influência nas manifestações patológicas mapeadas ao longo da estrutura. Apesar de ter influência nas regiões de manifestação relacionadas a umidade como eflorescências e infiltrações, as variações higrotérmicas são de menor incidência no mapeamento, ao passo que na arquibancada, região sujeita a grande movimentação de carga dinâmica pelo fluxo de usuários, observou-se grande parte da deterioração do estádio.

Notou-se as manifestações relacionadas ao alto índice pluviométrico da região, elevada temperatura e umidade, são potencializadas pelas fissuras existentes nas regiões de fluxo de pessoas como as lajes e as arquibancadas. As infiltrações e eflorescências detectadas na alvenaria de vedação interior têm como origem as lajes e a própria arquibancada, que permitem a percolação de água por conta da grande quantidade de fissuras. Tal problema afeta toda a parte externa e interna da estrutura, o que enfatiza a importância nas inspeções rotineiras para entender melhor os mecanismos de deterioração e surgimentos de manifestações patológicas, relacionando às causas principais, para procurar o foco e saná-lo.

Com o intuito de dar soluções alternativas que minimizem as manifestações patológicas já existentes e o surgimento de novas, e ainda com o fim de colaborar para a melhoria do desempenho e qualidade da estrutura da arquibancada do estádio propõe-se: Remover toda a estrutura de camarotes e cabines de rádio, substituindo-as por estruturas com elementos mais leves, o drywall, por exemplo; Executar obra de cobertura da arquibancada do estádio, diminuindo as manifestações patológicas por efeitos climáticos como chuvas e variações térmica; Realizar estudos para avaliar se existe subdimensionamento da estrutura das arquibancadas para o público solicitado em dias de jogos.

5. REFERÊNCIAS

Almeida, E. (2015). Avaliação Qualitativa dos Desplacamentos de Revestimentos Cerâmicos da Fachada do Residencial Imprensa I da Águas Claras - Distrito Federal. 26f. Artigo. 2015. (Bacharelado) – Universidade Católica de Brasília, Brasília.

Antunes, G. (2010) Estudo De Manifestações Patológicas Em Revestimentos De Fachada Em Brasília – Sistematização Da Incidência De Casos. Dissertação De Mestrado Em Estruturas E Construção Civil, Departamento De Engenharia Civil E Ambiental, Universidade De Brasília, DF.

Cunha, D. (2011). Análise de fissuração em vigas de concreto armado. Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza,

Marcelli, M. (2007). Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: PINI. 270 p.

PARREIRA, F. A., RAMOS, M. R. (2017). Estudo do Deslocamento de Revestimentos Cerâmicos em Paredes Internas. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 59p.

Quinteiro, E., Menegazzo, A. P. M., Paschoal, J. O. A., Gibertoni, C., Ribeiro, D. (2014). Corrosão em Estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier.

Santos, P. D. H., Silva Filho, A. F. (2008). Eflorescência: causas e consequências. Salvador: [s.n.].

Soares, A.P. F., Vasconcelos, L. T., Nascimento, F. B. C. (2015). Ciências exatas e tecnológicas. periodicos.set.edu.br, UNIT, Maceió, AL.

Souza, V. C. M., Ripper, T.(1998) Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: PINI, 1998. 262 p.

Sussekind, J. C. (1985). Curso de concreto, vol. 2, 2a Ed. Rio de Janeiro. Ed. Globo.

Teixeira Neto, O. (2010). Manchamento do engobe em placas cerâmicas esmaltadas para revestimento – parte 1: a mancha d’água. In: Cerâmica Industrial, v. 15, n. 3, p. 19-23, maio/jun.

Viabilidade da recuperação e avaliação de uma edificação residencial para venda no município de Boa Ventura de São Roque - PR

A. S. De Souza¹, B. P. Dala Costa¹, A. Frare^{1*}

*Autor de Contato: frareandreza@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário Campo Real, Guarapuava, Brasil

RESUMO

Com o passar do tempo surgem algumas patologias em imóveis e podem ocorrer falhas, que acabam por gerar vícios e problemas construtivos. O presente trabalho consiste na realização de uma análise da viabilidade de recuperação de um imóvel no município de Boa Ventura de São Roque/PR para valorização no mercado imobiliário. Uma pesquisa de mercado foi realizada a fim de fornecer dados para avaliação do mesmo. Preços de vendas, áreas dos imóveis e padrões de acabamento. Após o levantamento patológico do imóvel realizou-se um orçamento afim de verificar a viabilidade de reforma antes da venda.

Palavras-chave: Patologia, Avaliação, Recuperação, Construção Civil.

ABSTRACT

Over time, some pathologies in real estate arise and failures can occur, which end up generating addictions and construction problems. The present work consists of an analysis of the feasibility of recovering a property in the municipality of Boa Ventura de São Roque / PR for valuation in the real estate market. A market research was carried out in order to provide data for its evaluation. Sales prices, real estate areas and finishing standards. After the pathology survey of the property where causes were found and how to solve them, a budget was made to see the cost and feasibility of reform before the sale.

Key words: Pathology, Evaluation, Recovery, Civil Construction.

RESUMEN

Con el tiempo, surgen algunas patologías en el sector inmobiliario y pueden producirse fallos, que acaban generando adicciones y problemas de construcción. El presente trabajo consiste en un análisis de la viabilidad de recuperar una propiedad en el municipio de Boa Ventura de São Roque / PR para su valoración en el mercado inmobiliario. Se realizó una investigación de mercado con el fin de aportar datos para su evaluación. Precios de venta, áreas inmobiliarias y estándares de acabado. Luego del relevamiento patológico del inmueble donde se encontraron las causas y cómo solucionarlas, se realizó un presupuesto para ver el costo y la viabilidad de la reforma antes de la venta.

Palabras clave: Patología, Evaluación, Recuperación, Construcción Civil.

1. INTRODUÇÃO

As patologias na construção não acontecem por acaso, existem diversos fatores que contribuem para isso, erros no dimensionamento, falta de planejamento na execução, materiais mal utilizados e especificados, falta de capacitação profissional.

A análise das patologias são funções também de dois aspectos essenciais, tempo e condições de exposição, o que a torna associada aos conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho (LEÃO, 2012). Quando se trata de imóveis, este nicho de mercado denomina-se “Avaliação de Imóveis”. Esta avaliação consiste em levantamento de informações e fatores que determinem um preço para o imóvel em questão (FRONZA, 2012).

Conforme Leão (2012), a resistência e a durabilidade de uma edificação dependerá dos cuidados que se tenha com ela e não somente na hora da elaboração do projeto mas também durante sua construção e posteriormente sua manutenção.

Para Zuchetti (2015), com o passar do tempo vão surgindo algumas patologias no imóvel, causadas na maioria das vezes por erros na execução do projeto por profissionais não capacitados.

Segundo Oliveira (2013) quando se pensa em construção civil só vem a mente a fase da obra, porém é somente depois dessa fase que os problemas começam a aparecer e para resolver esses problemas deve - se fazer uma vistoria no imóvel, fazendo o levantamento das patologias, suas causas e como resolver para assim poder também avaliar o imóvel e sua valorização no mercado após a reforma.

O objetivo desse projeto é encontrar maneiras de solucionar os problemas causados por patologias no imóvel localizado no município de Boa Ventura de São Roque, encontrando maneiras corretas para que assim seja feita uma melhoria no ambiente, realizando levantamentos e pesquisas para saber a melhor forma da recuperação do imóvel para assim poder melhorar também o seu valor no mercado.

2. PROCEDIMIENTO

2.1 Considerações sobre o mercado e região

Considerando que a cidade de Boa Ventura de São Roque é uma cidade pequena com uma população de aproximadamente 6.000 (seis mil) habitantes com poucos imóveis para venda foi utilizado informações de cidades vizinhas onde o mercado imobiliário é maior e tem crescido muito no decorrer dos anos. A região local possui um relevo plano e montanhoso em alguns locais.

2.2 Caracterização do imóvel

Uma parte construção do imóvel foi realizada em pré-moldado seguida de chapisco, emboço e reboco sendo 76,00 m² da mesma onde se tem: cozinha, sala de jantar, três quartos e banheiro a outra parte da construção onde a mesma foi ampliada a fundação foi dimensionada para ser de estacas pré-moldadas de concreto, sendo constituídas de concreto armado; as colunas, as vigas, também foram construídas de concreto armado, com acabamento de tintas acrílicas; a alvenaria estrutural é constituída de tijolos cerâmicos, seguida do chapisco, emboço e reboco, para o acabamento foi utilizado massa corrida e tintas acrílicas. Todas as esquadrias existentes da edificação são de madeira, exceto a porta da entrada da garagem que a esquadria é de ferro; todas

as janelas de correr com vidro temperado e esquadrias de alumínio sendo que nas duas janelas existentes na sala de estar possuem pingadeira de mármore. Os pisos foram construídos primeiramente com o contra piso, e são todos em cerâmica, o forro é de PVC. A cobertura da edificação em de telhado aparente, com tesouras de madeiras e telhas onduladas de fibrocimento 5mm (244x110cm). Os banheiros e a cozinha foram feitos com acabamento cerâmico nas paredes de alvenaria. O imóvel possui muro em alvenaria estrutural constituída de blocos cerâmicos, seguida do chapisco, emboço e reboco e grades de ferro em frente e na lateral direita. A Figura 1, nos mostra a parte externa do imóvel.



Figura 1. Fachada do imóvel

2.3 Levantamento patológico

Para obter um diagnóstico correto das manifestações patológicas, realizou-se uma inspeção visual e registros fotográficos do imóvel identificando sua localização e intensidade.

2.4 Orçamento para reforma

Para fazer o levantamento de custos da correção das patologias foi necessário realizar uma pesquisa no mercado local.

Para isso buscou-se fazer três cotações, e a partir do valor médio estimou-se o valor dos insumos necessário e da mão de obra para a reforma.

2.5 Avaliação de valor de mercado do imóvel

Para avaliar o imóvel em questão foi realizada uma pesquisa de imóveis na região onde foram levantados dados da cidade de Boa Ventura de São Roque e da cidade de Pitanga.

Na pesquisa efetuada no mercado local foram obtidos 25 (vinte e cinco) elementos dos quais todos foram aproveitados, relativos a ofertas efetivas de imóveis residenciais na cidade de Boa Ventura de São Roque e Pitanga, contemplados no período de Novembro de 2020.

As variáveis analisadas foram as seguintes: endereço, área privativa, área do terreno, numero de banheiro e dormitórios, vagas de garagem, distancia até o ponto central, padrão de acabamento,

onde foi utilizado 1 para acabamento em madeira, 2 para acabamento em cerâmica e forro PVC e 3 para acabamento em porcelanato e laje, conservação, onde foi utilizado 0 para conservação regular, 1 para conservação boa e 2 para conservação nova, cidade onde foi considerado 6,36 para população de Boa Ventura de São Roque e 29,99 para população de Pitanga e valor unitário.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Catalogação das patologias encontradas

Neste item está retratado primeiramente o levantamento de manifestações patológicas identificadas na obra estudada e por consequência as suas possíveis causas.

- Trinca e fissura de revestimento Figura 2. na área externa (a) e área interna (b) e (c) que pode ter sido ocasionado por problemas estruturais relacionados a fundação mal calculada ou até mesmo por falta de mão de obra qualificada. Para sua correção será necessário abrir a fissura com a espátula em formato V, removendo as partículas que estão soltas na parte interna da trinca e aplicar um repara trinca vedante nas aberturas maiores e selante acrílico nas aberturas menores.

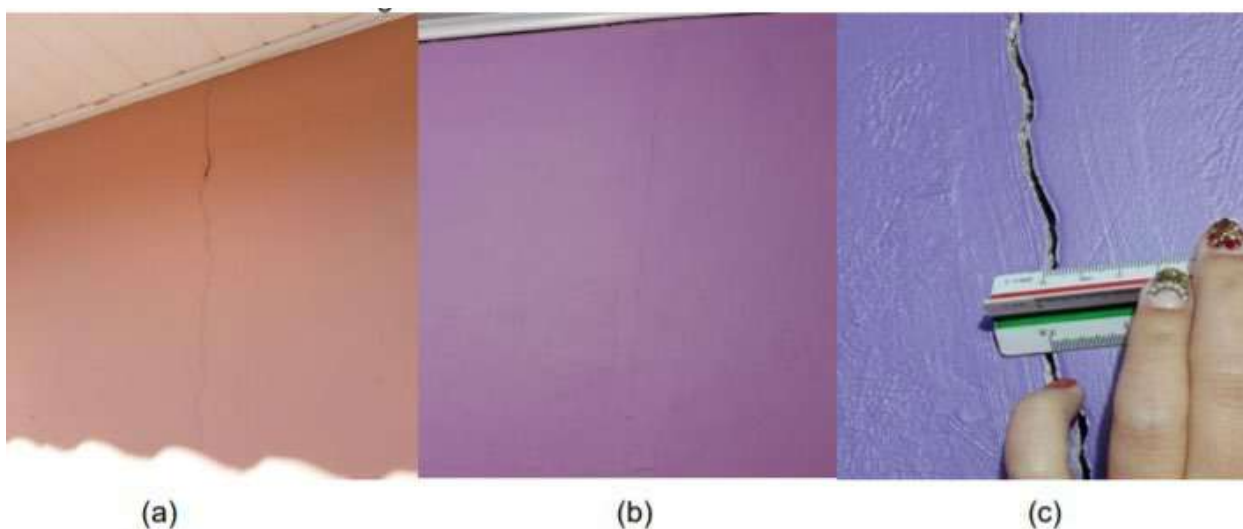


Figura 2. Trinca e fissura de revestimento

Fissuração em parede de alvenaria na região dos pontos de fixação de portas Figura 3. (a), (b) e (c) que pode ter sido ocasionado por falta de vergas e contravergas ou até mesmo por erro na execução das esquadrias. Para fazer sua correção será necessário cobrir a fissura com selante acrílico e fazer acabamento em seguida.

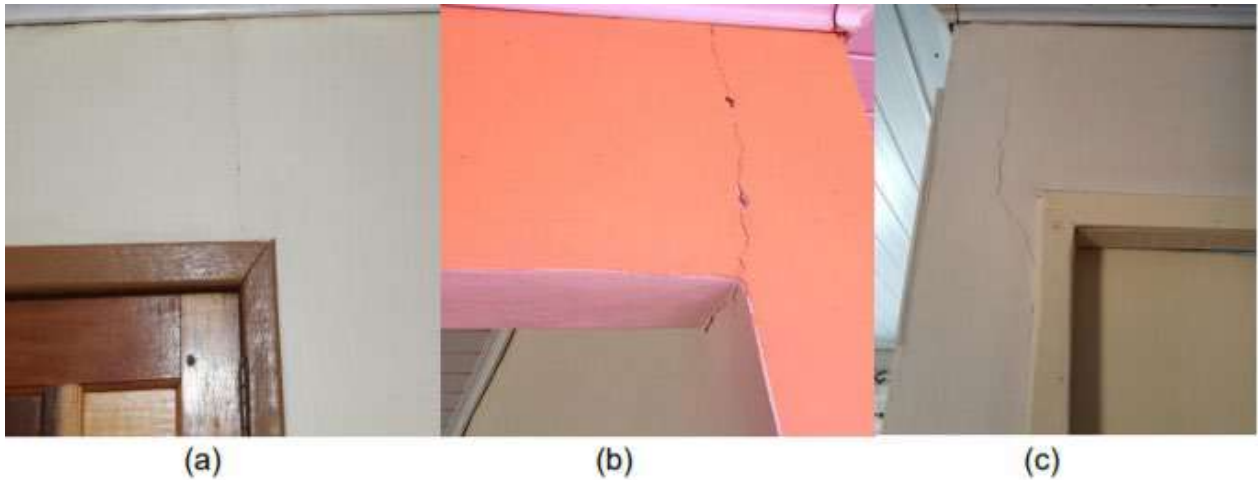


Figura 3. Fissuração em parede de alvenaria na região dos pontos de fixação de portas.

Fissuração em parede de alvenaria na região dos pontos de fixação de janelas Figura 4. (a) e (b), que pode ter sido ocasionado por falta de vergas e contravergas ou até mesmo por erro na execução das esquadrias. Para sua correção será necessário cobrir a fissura com selante acrílico e fazer acabamento em seguida.

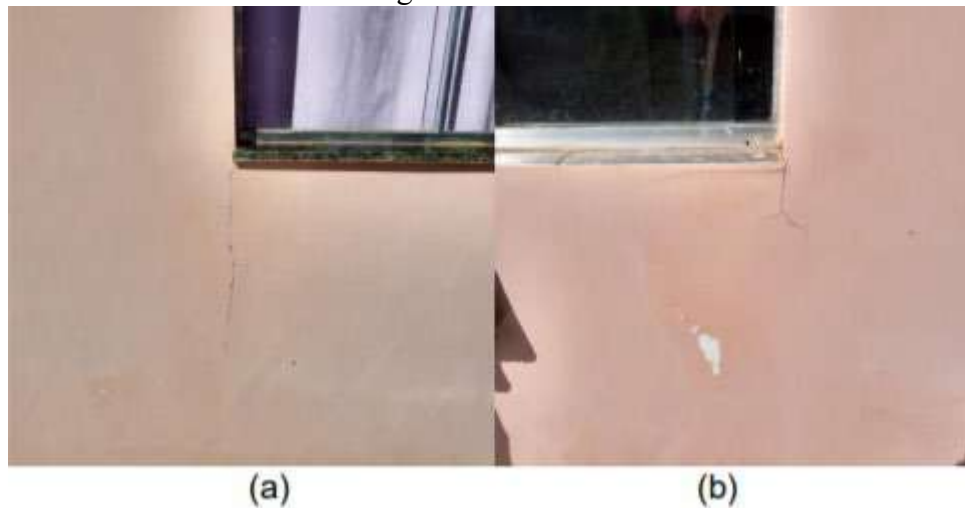


Figura 4. Fissuração em parede de alvenaria na região dos pontos de fixação de janelas

Fissuração em parede de alvenaria na região dos pontos de fixação de janelas Figura 5. (a) e (b), que pode ter sido ocasionado nesse caso por recalque na fundação sendo necessário refazer toda a esquadria da janela. Para sua correção será necessário refazer toda a esquadria da janela.

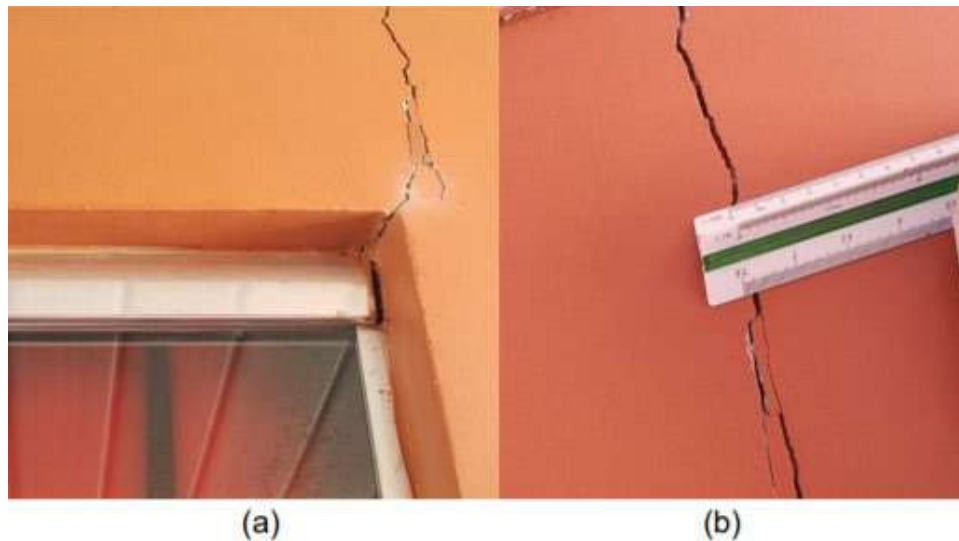


Figura 5. Fissuração em parede de alvenaria na região dos pontos de fixação de janelas

Trincas em parede de alvenaria localizada na cozinha, Figura 6 que pode ter sido ocasionado por má aplicação do reboco ou com traço errado, por problemas estruturais ou até mesmo pela variação térmica tendo em vista que a um fogão a lenha no local. Para sua correção será necessário aplicar um repara trinca vedante para fechar a trinca e em seguida fazer o acabamento.



Figura 6. Trincas em parede de alvenaria

Mofa e pintura danificada Figura 7: (a), (b) e (c) causado devido ao excesso de umidade no local. Para sua correção será necessário descartar todo revestimento e refazê-lo com aplicação prévia de produtos impermeabilizantes misturados à massa em seguida refazer a pintura.

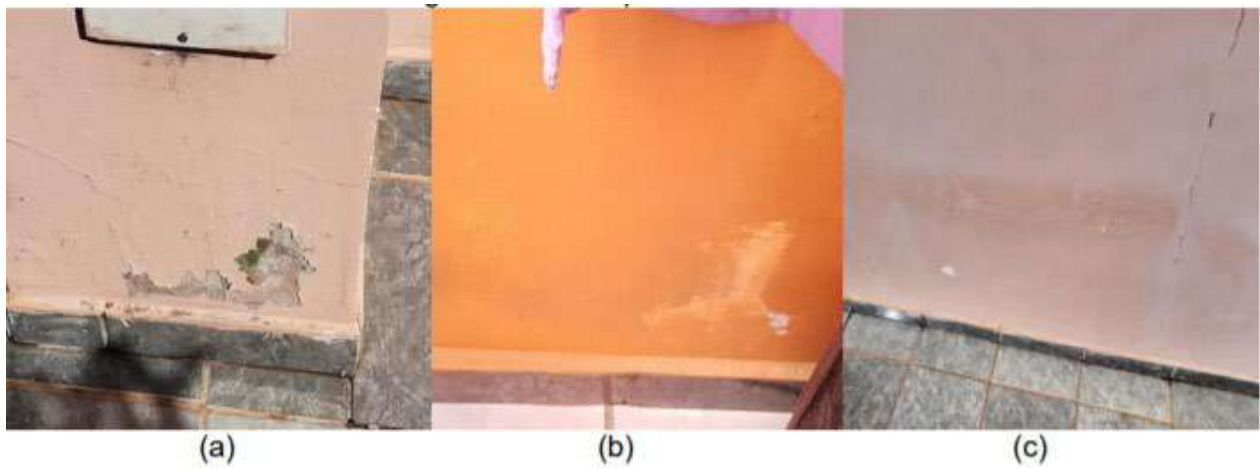


Figura 7. Mofo e pintura danificada

Trincas verticais em vigas cinta Figura 8 nesse caso ocasionados por excesso de calor devido ter uma churrasqueira no local e também pode ter ocorrido problemas estruturais relacionados a fundação mal calculada ou até dimensionamento errado das armaduras. Para sua correção será necessário descartar todo revestimento e refazê-lo com aplicação prévia de produtos impermeabilizantes misturados à massa em seguida refazer a pintura.



Figura 8. Trincas verticais em viga cinta

3.2 Custo de reforma

Através do levantamento de mercado na região obteve-se os custos de reforma para a edificação em estudo. O valores estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Orçamento de reforma

Item	Referência	Material	Un	Qtd.	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
1	Cotação	Reparador de trinca Quartozolit 1,5kg	Un	3	71,90	215,70
2	Cotação	Selador acrílico Coral 18l	Un	4	90,00	360,00
3	Cotação	Tinta Acrílica Suvinil	Un	16	90,00	1.440,00

		Semibrilho 2 de mãos 3,6 l				
4	Cotação	Massa corrida Suvinil 28l	Un	4	46,90	187,60
5	Cotação	Mão de obra	Un	-	-	10.000,00

3.3 Valor de mercado do imóvel

Após a coleta de dados referente as variáveis em estudo: endereço, área privativa, área do terreno, numero de banheiro e dormitórios, vagas de garagem, distancia até o ponto central, padrão de acabamento, onde foi utilizado 1 para acabamento em madeira, 2 para acabamento em cerâmica e forro PVC e 3 para acabamento em porcelanato e laje, conservação, onde foi utilizado 0 para conservação regular, 1 para conservação boa e 2 para conservação nova, cidade onde foi considerado 6,36 para população de Boa Ventura de São Roque e 29,99 para população de Pitanga e valor unitário.

Após o tratamento de dados, a equação de regressão obtida é:

$$VU = 1 / (0,001091881 + 7,6590946e-07 * \text{Áreaprivativa} + -4,2951527e-07 * \text{Área doterreno} + -0,016750061 * 1/\text{Distancia} + -0,0001300878 * \text{Padrão} + -6,1497985e-05 * \text{Conservação} + - 4,9638306e-06 * \text{Cidade})$$

Onde, para determinar o valor do imóvel antes da manutenção e correção das patologias, os seguintes dados foram considerados: Área privativa: 120,00m²; Área do terreno: 452,50m² Distancia: 2.500,00m; Padrão: 2,00 (normal); Conservação: 0,00 (regular); Cidade: 6,36 (Boa Ventura de São Roque). O resultado do campo de arbítrio segue na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado de campo arbítrio

	Unitário (R\$/m ²)	Total (R\$)	Amplitude
Mínimo	1.230,12	147.614,40	-15%
Calculado	1.447,20	173.664,00	-
Máximo	1.664,28	199.713,60	+15%
Valor adotado: R\$ 164.980,80			

Foi adotado para o imóvel avaliando o valor de R\$ 165.00,00, ou seja, 5% abaixo do Valor Médio Arbitrado pelo Modelo de Regressão Linear, devido a falta de elementos amostrais transacionados pelo mercado imobiliário, não possuindo amostras de Transação no modelo estatístico. O valor foi arredondado pois a norma permite arredondamento de até 1%. A equação de regressão para determinar o valor do imóvel após a correção é a mesma, alterando somente a conservação do imóvel, onde as seguintes informações foram considerados: Área privativa: 120,00m²; Área do terreno: 452,50m² Distancia: 2.500,00; Padrão: 2,00 (normal); Conservação: 1,00 (boa); Cidade: 6,36 (Boa Ventura de São Roque). O resultado do campo de arbítrio, segue na Tabela 3.

Tabela 3. Resultado de campo arbítrio

	Unitário (R\$/m ²)	Total (R\$)	Amplitude
Mínimo	1.350,30	162.036,00	-15%
Calculado	1.588,59	190.630,80	-
Máximo	1.826,88	219.225,60	+15%
Valor adotado: R\$ 181.099,20			

Após levantamento identificou-se que corrigir as patologias e posteriormente fazer a reforma da residência para avalia – la para venda. Com ese procedimento pode-se perceber que o imóvel tem uma valorização de aproximadamente 10%, com um valor de venda inicial em R\$ 168.000,00 considerando uma conservação regular, sendo depois de todas as uma avaliação de R\$ 181.000,00, vindo a compensar uma reforma, gastando-se aproximadamente R\$ 12.200,00. A Figura 9 mostra a conservação a conservação do imóvel avaliado e o aumento do valor por m².

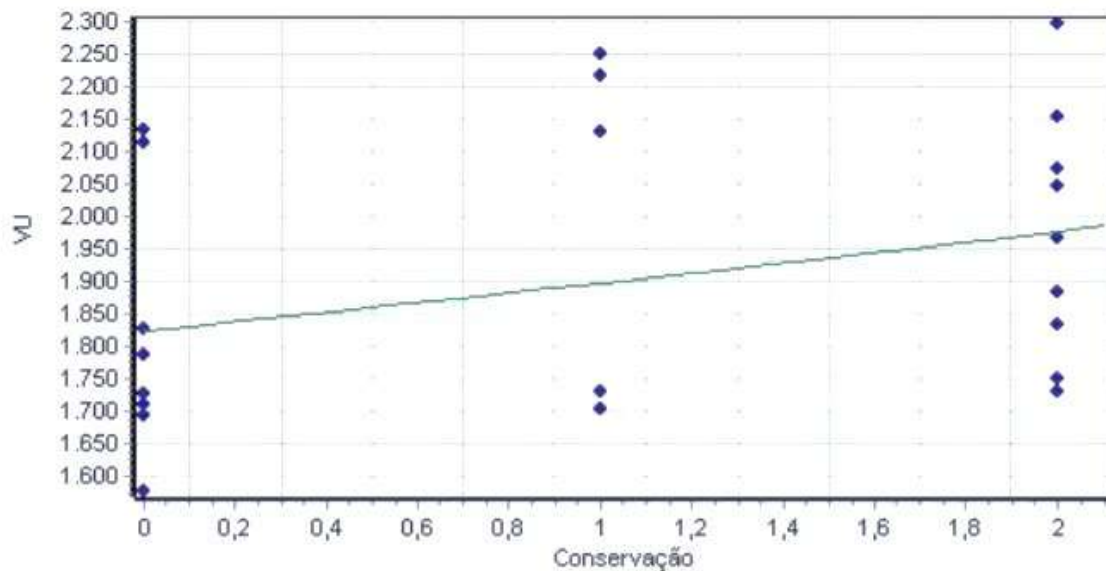


Figura 9. Gráfico de conservação do imóvel avaliado.

Analisando a Figura 9 nota – se que de R\$1.800,00 o m² subiu para R\$1.980,00 o m² tendo um aumento de aproximadamente 10% em sua conservação, o que indica uma reforma como uma boa alternativa de valorização do imóvel antes da venda.

4. Considerações finais

Esse trabalho foi realizado para a analisar a viabilidade da reforma de um imóvel para venda no município de Boa Ventura de São Roque – PR.

Trouxe em seu escopo o levantamento de patologias encontradas no imóvel a fim de encontrar formas para fazer a correção das mesmas e também o estudo do mercado imobiliário na região.

Observa-se que mesmo tratando-se de uma cidade com poucos dados imobiliários é possível realizar uma avaliação da edificação, estimando seu valor.

A pesar da edificação apresentar diversas patologias, as mesmas podem ser facilmente recuperadas.

Pode-se perceber que a reforma da residência estudada melhora o seu valor no mercado, tendo assim um ganho estimado em 10%.

Concluimos que o estudo de valor de mercado de um bem não é uma mera especulação, é um estudo serio e de grande importância para poder chegar a um valor de mercado mais preciso.

Ressalta-se que para cada caso é necessário realizar-se uma avaliação afim de comprovar a viabilidade.

5. REFERENCIAS

ABNT, Associação Brasileira de normas Técnicas. *NBR 14653:2004 - Norma Brasileira de avaliação de Bens*, Acessado em 21 de Novembro de 2020.

ANDRADE, E. B. B. *Principais Manifestações Patológicas Encontradas em Edificações*. Publicado em Brasil escola. Nov/2016. Acesso em: Novembro de 2020.

BRITO, T. F. *Análise de Manifestações Patológicas na Construção Civil pelo Método Gut: Estudo de Caso em uma Instituição Pública de Ensino Superior*. 79f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, UFP/centro de Tecnologia, João Pessoa, 2017.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. *Desempenho de edificações habitacionais: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013*. 2ª ed. Brasília, Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

FRONZA, C. M. *A Avaliação de Imóveis Residenciais Urbanos na Engenharia: Método Comparativo Direto de Dados do Mercado*. Publicado por Revista Técnico – Científica do CREA-PR. 10ª edição. Londrina. Maio/2012.

GONÇALVES, E. A. B. *Estudo de Patologias e suas Causas nas Estruturas de Concreto Armado de Obras de Edificações*. 174f. Projeto de Graduação do Curso de Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 2015.

IANTAS, L. C. *Estudo de Caso: Análises de Patologias Estruturais em Edificação de Gestão Pública*. 58f. Monografia apresentada para o Curso de Pós Graduação em Construção de Obras Públicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2015.

LEÃO, R.H. *Caracterização de Incidências Patológicas de um Conjunto Habitacional do Município de Engenheiro Beltrão – Paraná*. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, UTFPR, Campo Mourão, 2012.

MAGALHÃES, E. F. *Fissuras em Alvenaria: Condições Típicas e Levantamento de Incidências no Estado do Rio Grande do Sul*. 2004. 177f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia/UFRGR, Porto Alegre, 2006.

MATOS, D. BARTKIW, I. N. *Introdução ao Mercado Imobiliário*. Publicado por Rede ETec. 2013. Disponível em: <https://assis.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2014/11/Introdu%C3%A7%C3%A3o-aoMercado-Imobili%C3%A1rio.pdf>

MATTA, T. A. *Avaliação do Valor de Imóveis por Análise de Regressão: um estudo de Caso para a Cidade de Juiz de Fora*. 43f. Monografia para Graduação em Engenharia de Produção, Juiz de Fora, 2007.

MOREIRA, D. S. Et al. *Engenharia de Avaliações de Imóveis apoiada em Técnicas de Análise Multicritério e Redes Neurais Artificiais*. Publicado pela Revista de Sistemas de Informação da FSMA n 6 (2010) pp. 49 – 58.

OLIVEIRA, D. F. *Levantamento de Causas de Patologias na Construção Civil*. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil, UFRJ/Escola Politecnica. Rio de Janeiro, 2013.

SOUZA, F. B. ANTUNES, G. P. *Avaliação de Imóveis: histórico-Cultural x Urbano*. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

TORRES, A. S. e SILVA, J. N. *Patologias nos Sistemas Construtivos das Edificações do Início do século XX no Rio Grande do Sul – Estudo de Caso de uma Residência na Cidade de Rio Grande/RS*. Publicado por REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Vol. 10, setembro de 2015.

VALENTE, A. P. V. et al. *Análises dos Processos de Recuperação de Patologias: Trincas e Impermeabilizações*. Publicado em Construindo, Belo Horizonte, V.1, n.2, p.7, jul/dez. 2009.

ZUCHETTI, P.A.Z. *Patologias da Construção Civil: Investigação Patológica em um Edifício Corporativo de Administração Pública no Vale do Taquari/RS*. 128f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.

Estudo de caso das manifestações patológicas da edificação de uma instituição pública de ensino em Candói-PR

B. de F. Martins¹, C. R. Eberle¹, B. P. Dala Costa¹, A. Frare^{1*}

*Autor de Contato: frareandrzea@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário Campo Real, Guarapuava, Brasil

RESUMO

As manifestações patológicas ocorrem quando uma parte da edificação, em algum momento deixa de apresentar o desempenho que foi previsto durante sua vida útil. Dessa forma, realizou-se um estudo de caso em uma instituição de ensino pública no município de Candói - PR e para a complementação realizou-se uma pesquisa bibliográfica. Identificou-se as manifestações patológicas por meio de um levantamento fotográfico do edifício, posteriormente, a catalogação das patologias encontradas e suas respectivas descrições para melhor identificá-las. Por fim, buscou-se identificar as possíveis causas dessas manifestações e indicar soluções. Por meio de uma pesquisa bibliográfica, também foi possível obter formas de manutenções preventivas que irão servir para impedir que algumas ou a maioria das manifestações patológicas aconteçam. Foram encontradas diversas fissuras e infiltrações decorrentes principalmente da má execução da obra.

Palavras - chave: Patologia; Catalogação; Manutenção; Desempenho.

ABSTRACT

Pathological manifestations occur when a part of the building, at some point, fails to show the performance that was predicted during its useful life. Thus, a case study was carried out in a public education institution in the city of Candói - PR and a bibliographical research was carried out to complement it. Pathological manifestations were identified by means of a photographic survey of the building, subsequently, the cataloging of the pathologies found and their descriptions to better identify them. Finally, it sought to identify the possible causes of these manifestations and to indicate solutions. Through a bibliographic search, it was also possible to obtain forms of preventive maintenance that intend to prevent some or most of the pathological manifestations from happening. Several cracks and leaks were found, mainly due to the poor execution of the work.

Key-words: Pathology; Cataloguing; Maintenance; Performance.

RESUMEN

Las manifestaciones patológicas ocurren cuando una parte del edificio, en algún momento, no logra mostrar el desempeño que se predijo durante su vida útil. Así, se realizó un estudio de caso en una institución de educación pública del municipio de Candói - PR y se realizó una investigación bibliográfica para complementarlo. Las manifestaciones patológicas se identificaron mediante un relevamiento fotográfico del edificio, posteriormente, la catalogación de las patologías encontradas y sus respectivas descripciones para identificarlas mejor. Finalmente, se intentó identificar las posibles causas de estas manifestaciones e indicar soluciones. A través de una búsqueda bibliográfica, también fue posible obtener formas de mantenimiento preventivo que servirán para evitar que ocurran algunas o la mayoría de las manifestaciones patológicas. Se encontraron varias grietas y fugas, principalmente por la mala ejecución de la obra.

Palabras clave: Patología; Catalogación; Mantenimiento; Actuación.

1. INTRODUÇÃO

A ciência da patologia das construções é uma área da engenharia que analisa os indícios e procedências dos defeitos que ocorrem na construção. A partir do estudo de tais anomalias, é possível impedir que as manifestações patológicas se tornem algo corriqueiro nas edificações atuais (CARMO, 2003).

Souza e Ripper (1998) afirmam que as patologias surgem devido à deterioração “natural” da edificação e também, na maioria dos casos, por erros cometidos pelos profissionais responsáveis pela construção. A falta de conhecimento, a utilização de materiais defeituosos, fora dos padrões de suas respectivas normas, e a mão de obra desqualificada são fatores relevantes e que somados podem colocar a edificação em risco.

Nos últimos anos, a área da construção civil registrou um índice elevado de manifestações patológicas, sendo elas observadas em obras particulares ou públicas. No decorrer desta pesquisa pode-se observar que por se tratar de uma obra pública, a ocorrência de patologias é muito elevada e podem estar associadas a falhas ocorridas durante algumas das etapas construtivas, podendo ter ocorrido no início da obra, durante a realização e até mesmo após se passar anos de sua conclusão (SEGAT, 2005).

As manifestações patológicas estão presentes na maioria das edificações, decorrentes de inúmeros fatores, podendo ocorrer durante a elaboração do projeto, como também no processo executivo da obra, assim necessitando de cuidados e manutenções para que alcance sua vida útil. A resistência e durabilidade de uma estrutura depende dos cuidados que se têm com ela em todas as etapas construtivas e de utilização, desde a concepção do projeto até as manutenções programadas para garantir a integridade dos elementos e materiais que a compõe (CÁNOVAS, 1988).

Dessa forma o presente estudo visa identificar e catalogar as patologias existentes em um Colégio Estadual, situado na cidade de Candió-PR, por meio de um levantamento bibliográfico e fotográfico, levantar as causas e solucionar os problemas enfrentados.

2. PROCEDIMIENTO

Este trabalho caracteriza-se em estudo de caso e pesquisa bibliográfica. O estudo de caso é um método de pesquisa estruturado, que pode ser aplicado em distintas situações para contribuir com o conhecimento dos fenômenos individuais ou grupais. Por se tratar de um método de pesquisa, o estudo de caso possui características próprias e pode ser conceituado com base nas posições de dois dos mais reconhecidos especialistas neste método (YIN, 2010; STAKE, 2007).

Segundo Lakatos e Marconi (1987) uma pesquisa bibliográfica trata-se do levantamento, seleção e documentação de toda bibliografia já publicada sobre o assunto que está sendo pesquisado, em livros, monografias, teses, dissertações, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o mesmo.

As pesquisas realizadas referem-se à manifestações patológicas em edificações de concreto armado encontradas no Colégio Estadual de Campo da Paz e registradas e catalogadas, por meio de imagens. Com o catálogo das patologias pronto, foram identificadas as possíveis causas e determinadas as terapias adequadas em cada caso.

2.1 Local de estudo

A pesquisa foi realizada em uma instituição de ensino pública, fundada em 1995, a instituição até hoje passou apenas por 2 reformas, sendo elas realizadas no ano de 2015 e 2018. O imóvel está

localizado na Rua Emílio Francisco Silva, no Distrito de Paz - Cândói - PR, possuindo uma área construída de aproximadamente 5300 m². O edifício possui secretaria, sala de espera, salas de professores, wc, direção e pedagogia, biblioteca, cozinha, refeitório, 3 banheiros sendo: 1 masculino, 1 feminino e 1 com acessibilidade e 7 salas de aula. Tendo como confrontantes 2 edificações de uma escola municipal no mesmo lote, na vizinhança: 1 creche, 1 capela mortuária, 1 pavilhão, 1 ginásio de esportes e 2 casas residenciais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Catalogação das patologias encontradas

Neste item está retratado primeiramente o levantamento de manifestações patológicas identificadas na obra estudada e por consequência as suas possíveis causas.

As seguintes patologias foram encontradas:

3.1.1 Fissuras na laje

Podem ocorrer primeiramente a falta de material e mão de obra qualificada; secagem prematura do concreto; retração hidráulica do cimento; variação térmica, esse problema pode acontecer quando este se dilata em função do calor que está sendo emitido pela reação de hidratação do cimento quando entra em contato com a água e também pode ocorrer pelas condições ambientais nas proximidades, como temperatura, umidade, insolação, etc. Para a correção dessa patologia pode ser feita a abertura da trinca, aplicando em seguida uma tela, aplicar a massa corrida novamente e finalizar com pintura. Outra possível alternativa é passar tinta elastomérica pura na região, aplicando duas ou três demãos do mesmo produto, diluído conforme indicação do fabricante.

A fissura de revestimento na laje está representada na Figura 1.

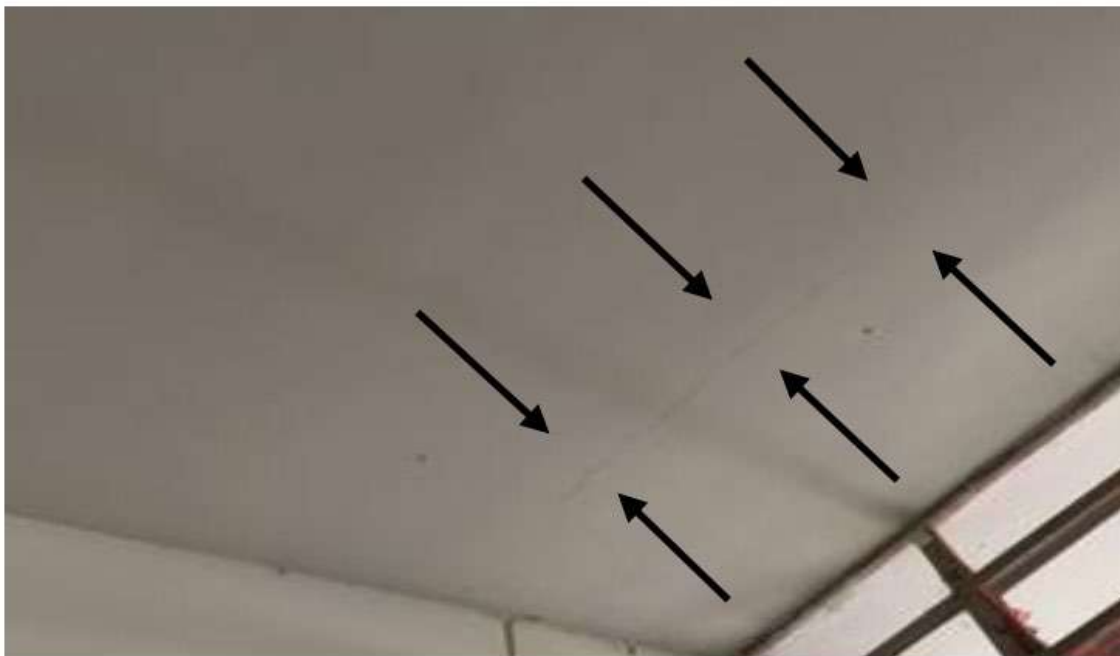


Figura 1. Fissura de revestimento: fissuras na laje

3.1.2 Pintura dessa patologia danificada

Essa patologia pode ocorrer pela falta de tempo de cura da base. Para a correção pode ser feito pela retirada de toda a parte danificada da parede, em seguida passar selador e por fim retirar todos os resíduos de poeiras deixados pelos dois processos e aplicar tinta. A Figura 2 indica a pintura danificada na laje dos corredores.

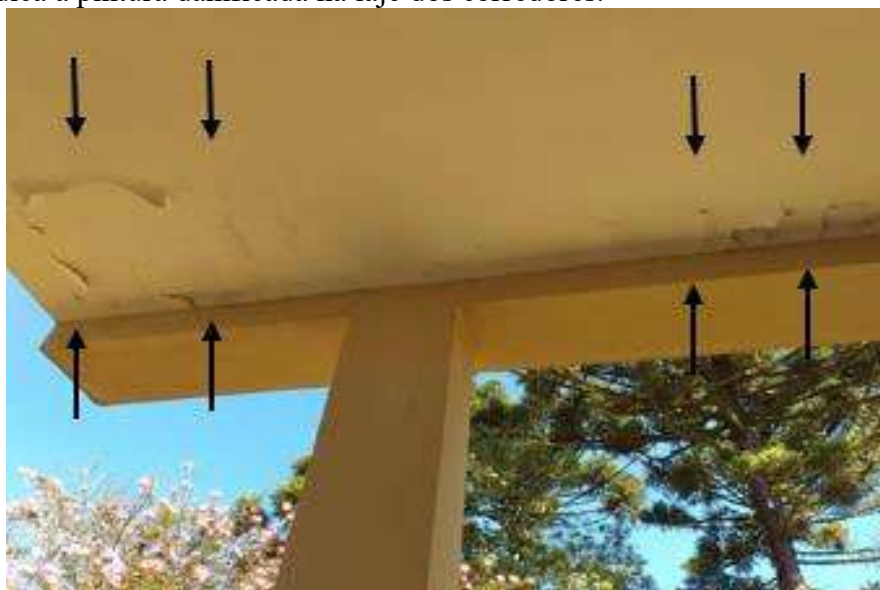


Figura 2. Pintura danificada: Deterioração na laje.

3.1.3 Fissura em piso de concreto

Fissuras de retração encontradas próximas às juntas nos pisos brutos, essas fissuras podem ter qualquer direção, localizadas na quadra esportiva do edifício. Podem acontecer quando há retração do concreto, ocasionando a diminuição do seu volume em consequência da perda de água contida em seu interior. Para a correção dessa patologia basta realizar uma selagem no piso. Fissura de retração em piso de concreto da quadra esportiva representada na Figura 3.

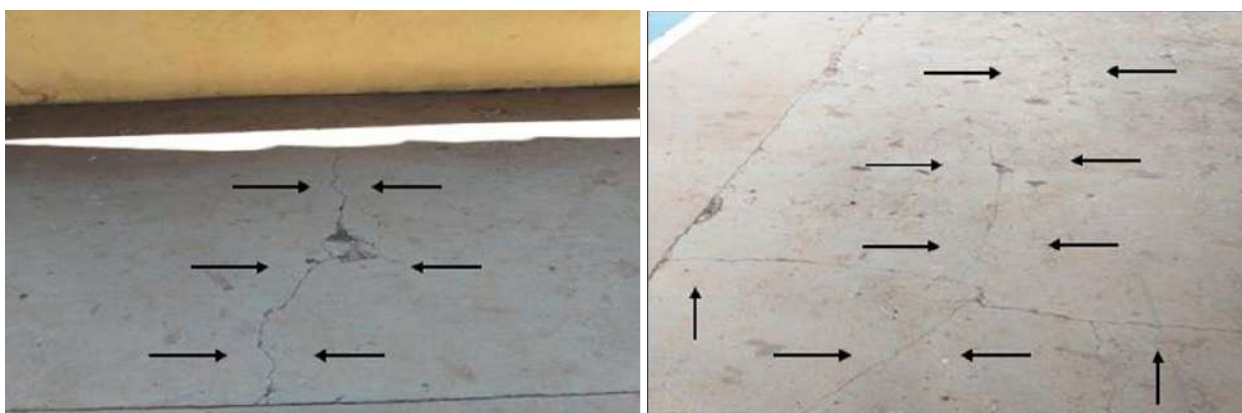


Figura 3. Fissuras de retração em piso de concreto na quadra esportiva.

3.1.4 Fissuras em parede de alvenaria

Esse problema pode ter ocorrido pela falta de cuidado nas instalações das esquadrias, localizados na região dos pontos de fixação das portas.

Para a correção dessa patologia pode ser feito o preenchimento de suas aberturas com selantes acrílicos, fazer o acabamento em seguida e por fim recolocar as esquadrias.

A Figura 4 apresenta as fissuras encontradas nas paredes de alvenaria, nos cantos das portas.

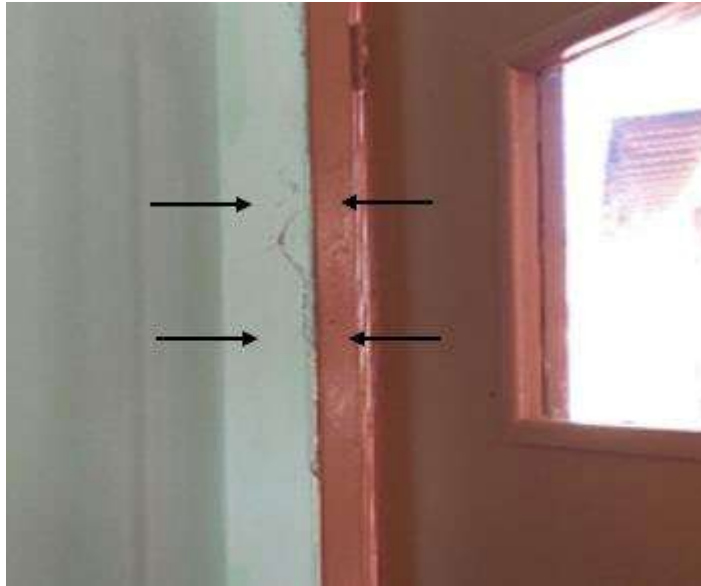


Figura 4. Fissura na região dos pontos de fixação de portas: Fissura em portas do edifício.

3.1.5 Trincas verticais e horizontais

Essa patologia pode ocorrer pela emenda incorreta na parede de alvenaria com a estrutura na quadra esportiva do edifício, antes era uma primeiramente pode-se preencher a abertura da fissura com mástique acrílico ou pode se estruturar a área com a aplicação de uma tela especial a base de fibras de vidro de mono-filamento contínuo e posterior pintura flexível.

A Figura 5 mostra as trincas verticais e horizontais encontradas na quadra esportiva.

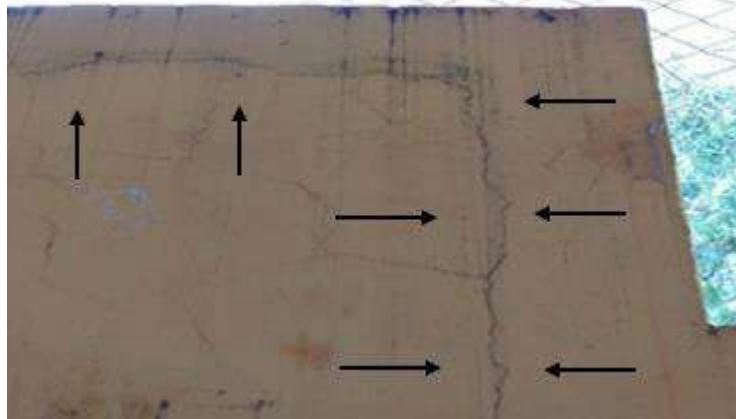


Figura 5. Trincas verticais e horizontais: emenda na parede de alvenaria.

3.1.6 Trincas

Trincas sem direções recorrentes na parede de alvenaria, podem ter ocorrido pela falta de material e mão de obra qualificada; variação térmica. Para uma possível correção desta patologia pode-se retocar o reboco com argamassa ou massa acrílica, mas as fissuras podem reaparecer. Outra possível alternativa é passar tinta elastomérica pura na região, aplicando duas ou três demãos do mesmo produto, diluído conforme indicação do fabricante.

A Figura 6 mostra as trincas verificadas na quadra esportiva.

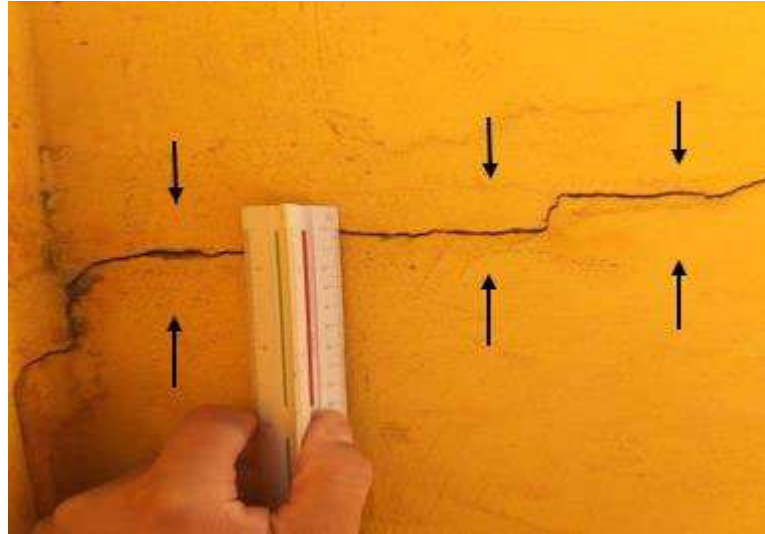


Figura 6. Trincas: patologia encontrada na quadra esportiva.

3.1.6 Umidade de infiltração na laje

Pode ter sido ocasionada pela presença de água vindo dos beirais, o que pode acarretar no surgimento de fungos. Para uma possível correção dessa patologia pode-se realizar a higienização de onde tem o aparecimento de mofo, aplicar impermeabilizante e por fim aplicar a argamassa e também, reformar os beirais.

A Figura 7 indica umidade na laje patologia verificada em uma das salas de aula.

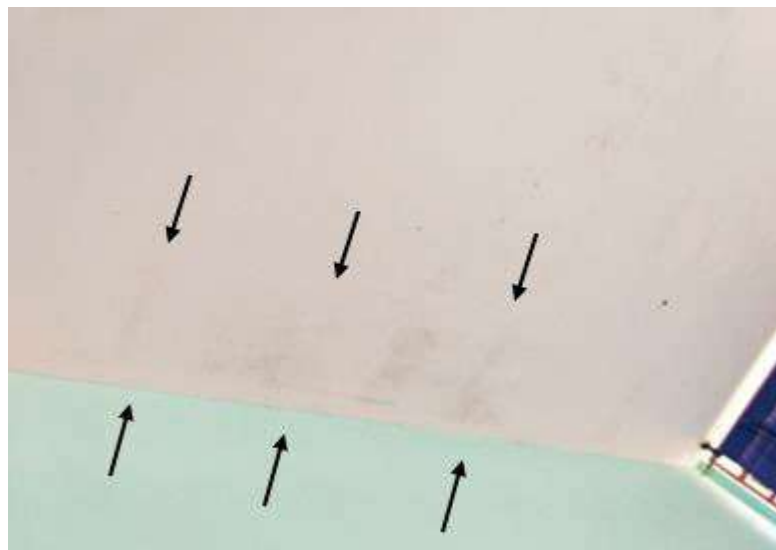


Figura 7. Umidade de infiltração na laje: decorrente da falha dos beirais.

3.1.7 Degradação do reboco

Tal patologia foi verificada na parede de alvenaria da quadra esportiva, o aparecimento de mofo e bolores, seguido da pintura danificada e a degradação do reboco. Deve ter ocorrido em decorrência da umidade no local. Para uma possível correção primeiramente pode começar descartando todo revestimento e refazê-lo com aplicação prévia de produtos impermeabilizantes misturados à massa e por fim refazer a pintura.

Degradação da parede de alvenaria representada na Figura 8.

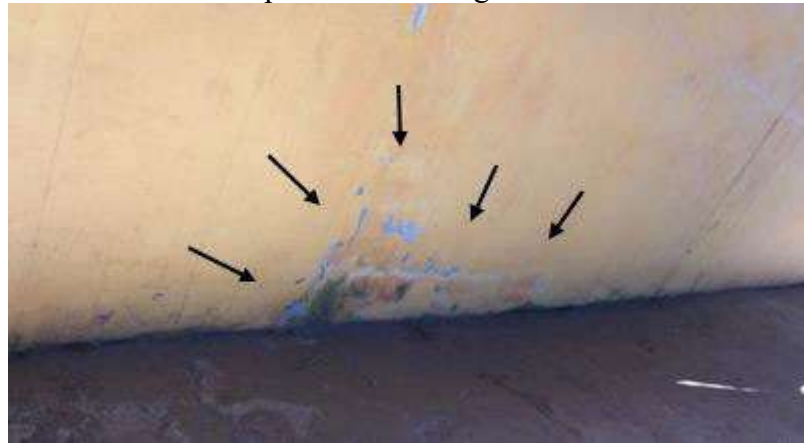


Figura 8. Degradação do reboco: Mofa e pintura danificada.

3.1.8 Trincas verticais

O aparecimento desta patologia está por quase todo prédio, tendo início na laje e descarregando nos pilares. A possível ocorrência provém da carga excessiva da estrutura, sendo eles, problemas estruturais relacionados a fundação mal calculada; cálculo estrutural errado; dimensionamento errado das ferragens; ausência de juntas de dilatação. Para uma possível correção recomenda-se abrir a fissura com a espátula em formato V, removendo as partículas que estão soltas na parte interna da trinca e aplicar um repara trinca vedante. Preencher suas aberturas com selantes acrílicos e fazer o acabamento em seguida e dispor de juntas de dilatação. Recomenda - se consultar um engenheiro habilitado para ver o que é possível fazer pois isso pode ocasionar problemas estruturais mais graves.

A Figura 9 representa as trincas verticais verificada no saguão.

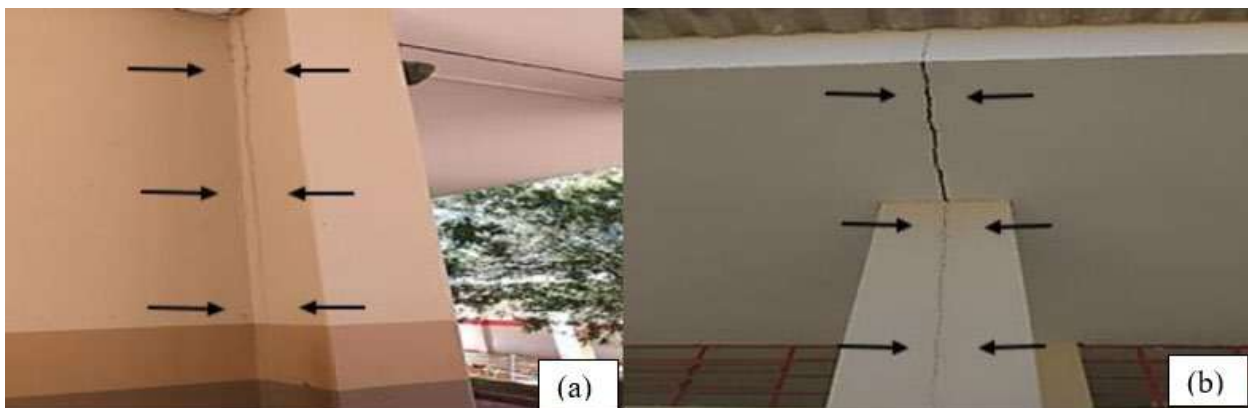


Figura 9. a) Trincas verticais em pilar: devido ao recebimento de carga. b) Trincas verticais na laje e pilar: excesso de carga.

3.2 Medidas mitigadoras

Nesse tópico será abordado formas de manutenções preventivas que podem servir para a realização de um controle de execução, tendo base as patologias encontradas e suas possíveis causas, assim obtendo um controle para que as manifestações patológicas tenham menos incidência.

As possíveis formas de controle serão divididas em três etapas, projeto, execução e utilização, com o intuito inicialmente de diminuir a manifestação das patologias e posteriormente eliminá-las ou obter a menor frequência possível das mesmas. As etapas de controle serão apresentadas a seguir:

3.2.1 Projeto

Segundo Melhado (1994) define projeto como “Uma atividade ou serviço integrante do processo de construção, responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transmissão das características físicas e tecnológicas especificadas para uma obra, a serem consideradas na fase de execução”. Para conseguir obter o controle de manifestações patológicas no projeto, pode ser seguido as seguintes formas preventivas quanto ao projeto:

Incompatibilização entre projetos; Avaliação incorreta da resistência do solo; Definição incorreta de ações atuantes; Escolha inadequada de materiais; Relação água/cimento incompatíveis com as condições de exposição da estrutura; Dimensionamento de peças com grandes deformações.

3.2.2 Execução

Souza e Ripper (1998) propõe que a ocorrência destas falhas é, essencialmente, ocasionada pelo processo de produção, que reflete os problemas socioeconômicos, que provocam a baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados, como é o caso dos serventes. A seguir, alguns exemplos de situações na etapa de execução que podem originar patologias: Falta de condições locais de trabalho; Falta de capacitação profissional da mão de obra; Falta de controle e qualidade da execução das atividades; Má qualidade dos materiais; Falta de fiscalização eficiente; Irresponsabilidade técnica.

3.2.3 Utilização

Segundo Souza e Ripper (1998), a falta de conhecimento técnico, os problemas econômicos e a incompetência dos profissionais da área quanto à realização de manutenções ocasionam diversos problemas patológicos que poderiam ser evitados. A falta de prioridade para destinação de recursos para manutenção gera o aparecimento de patologias estruturais de maior magnitude, implicando em maiores gastos e, em determinados casos, podendo levar a demolição da estrutura por ela se encontrar irrecuperável.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta os resultados obtidos de um estudo de caso e pesquisa bibliográfica sobre manifestações patológicas encontradas em uma instituição de ensino pública.

Os conceitos de patologias, durabilidade, desempenho e vida útil, são elementos básicos para a compreensão da importância de um projeto bem desenvolvido e detalhado. O atendimento desses requisitos deve ser analisado em todas as etapas do processo construtivo, pois são indispensáveis para o desenvolvimento sustentado da estrutura. Ao finalizar as análises, foi possível fazer uma correlação entre o estudo de caso e o referencial teórico, observando que há negligência na fase de execução de obras, principalmente públicas e o quanto isso reflete ao índice de manifestações patológicas. Tais problemas poderiam ser evitados caso houvesse um controle mais rigoroso na elaboração de projetos e vistoria enquanto a obra está sendo executada, ajudaria também se houvesse treinamento para os funcionários pela empresa. Concluiu-se, então, a necessidade constante em busca da crescente melhoria da qualidade da construção civil no Brasil. E visando essa melhoria, deve-se haver o

entendimento que, para uma estrutura de concreto armado tenha uma vida útil, sem a presença de patologias, recomenda-se a harmonia entre as etapas construtivas, sendo elas desde a concepção do projeto, a execução da obra e a entrega ao usuário para utilização.

5. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR 9575 – Impermeabilização - Seleção e projeto*. Rio de Janeiro. 2010.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR 14037: Manual de operação, uso e manutenção das edificações - Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação*. Rio de Janeiro, 2011.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 2014.

ANDRADE, Carmen; ALONSO, C. *On-site measurements of corrosion rate of reinforcements*. Construction and Building Materials, v. 15, 2001.

ANGELO, Ana Margarida Vieira. *Análise das patologias das estruturas em concreto armado do estádio Magalhães Pinto – Mineirão*. 2004. 439 f. Dissertação (Pós-Graduação) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

BERBERIAN, Dickran. *Engenharia de fundações*. 4ª edição, Brasília: Editora Infraso, 2019.

CAMPANTE, Edmilson Freitas; BAÍÁ, Luciana Leone Maciel. *Projeto e execução de revestimento cerâmico*. 1ª edição. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2003.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. *Patologia e Terapia do Concreto Armado*. 1ª edição, São Paulo: Pini, 1988.

CRUZ, JULIO HENRIQUE PINTO. *Manifestações patológicas de impermeabilizações com uso de sistema não aderido de mantas asfálticas: avaliação e análise com auxílio de sistema multimídia*. 2003. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

DO CARMO, Paulo Obregon. *Patologia das construções*. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.

HELENE, Paulo. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. 2ª edição, São Paulo: Pini. 1992.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Técnica de pesquisa*. 3ª edição, São Paulo: Editora Atlas. 1987.

MELHADO, Silvio Burratino. *Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção*. 1994. 308 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

- MONCHY, François. *A função manutenção: Formação para gerência da manutenção industrial*. 1ª edição, São Paulo: Editora Durban, 1989.
- NAZARIO, Daniel; ZANCAN, Evelise C. *Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde*. Santa Catarina, 2011.
- OLIVEIRA, Daniel Ferreira. *Levantamento de Causas de Patologias na Construção Civil*. 2013. 107 f. Projeto de Graduação - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- QUERUZ, Francisco. *Contribuição para identificação dos principais agentes e mecanismos de degradação em edificações da Vila Belgas*. 2007. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. *Fundações: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento*. 4ª edição, São Paulo: Zigurate, 2008.
- RODRIGUES, Marcelo. *Manutenção industrial em Curitiba e cidades circunvizinhas: Um diagnóstico atual*. 2003. 151 f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003.
- SEGAT, Gustavo Tramontina. *Manifestações Patológicas observadas em revestimentos de argamassa; estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS). Trabalho de conclusão (mestrado profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, BR – RS, 2006.*
- SILVA, Valdirene Maria. *Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida*. 2007. 306 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- SOUZA, Vicente Custodio Moreira de; RIPPER, Thomaz. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Editora Pini, 1998.
- STAKE, Robert E. *Investigación con estudio de casos*. 4ª edição, Madrid (ES): Ediciones Morata; 2007.
- THOMAZ, Ercio. *Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*. 2ª edição, São Paulo: PINI, 1989.
- VAN EIJK, Dries. *Restauro de taipa de pilão – aspectos de materiais, técnicas construtivas, patologias e restauração*. 2005. 131 f. Dissertação (Pós-Graduação), Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.
- YIN, Robert K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 4ª edição. Porto Alegre: Bookman; 2010. 2.

Análise das manifestações patológicas em uma edificação residencial de Francisco Beltrão - PR

T. V. de Toledo¹, C. R. Eberle¹, B. P. Dala Costa¹, A. Frare^{1*}

*Autor de Contato: frareandrea@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário Campo Real, Guarapuava, Brasil

RESUMO

As manifestações patológicas vêm sendo cada vez mais recorrentes na construção civil. Por isso, este trabalho tem como principal objetivo estudar e catalogar os tipos de ocorrências existentes em uma residência familiar, no município de Francisco Beltrão, bem como origem e soluções. Com essa pesquisa, concluímos que é de suma importância um engenheiro civil acompanhando a execução de uma obra, haja visto que a maioria dos problemas encontrados foram definidos como sendo má execução, a necessidade da utilização de materiais corretos e de qualidade para os processos construtivos e a manutenção preventiva para que não ocorram imprevistos.

Palavras-chave: Manifestação patológica. Problemas na execução. Construção Civil.

ABSTRACT

Pathological manifestations are becoming more and more recurrent in civil construction. Therefore, this work has as main objective to study and catalog the types of occurrences existing in a family residence, in the municipality of Francisco Beltrão, as well as origin and solutions. With this research, we conclude that it is of paramount importance for a civil engineer to monitor the execution of a work, given that most of the problems encountered were defined as poor execution, the need to use correct and quality materials for the construction and construction processes. preventive maintenance so that no unforeseen events occur.

Key words: Pathological manifestation. Problems in execution. Construction.

RESUMEN

Las manifestaciones patológicas han sido cada vez más recurrentes en la construcción civil. Por tanto, este trabajo tiene como objetivo principal estudiar y catalogar los tipos de sucesos existentes en una residencia familiar, en el municipio de Francisco Beltrão, así como su origen y soluciones. Con esta investigación, concluimos que es de suma importancia para un ingeniero civil monitorear la ejecución de una obra, dado que la mayoría de los problemas encontrados se definieron como mala ejecución, la necesidad de utilizar materiales correctos y de calidad para la construcción y construcción. procesos de mantenimiento preventivo para que no se produzcan imprevistos.

Palabras clave: Manifestación patológica. Problemas de ejecución. Construcción civil.

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização que o homem tem se preocupado com a construção de estruturas adaptadas às suas necessidades, sejam elas habitacionais, laborais, ou de infraestrutura. Com isto, a humanidade acumulou um grande acervo científico ao longo dos séculos, o que permitiu o desenvolvimento da tecnologia da construção, abrangendo a concepção, o cálculo, a análise e o detalhamento das estruturas, a tecnologia de materiais e as respectivas técnicas construtivas. (RIPPER; SOUZA, 1998).

Em decorrência às atualizações de técnicas, avanço de tecnologias e materiais, os processos construtivos se tornaram mais complexos, exigindo mão de obra qualificada e até mesmo especializações para quem fosse executar, o que dificultou muito, visto que nem sempre essas condições são aplicadas, acarretando assim, o desenvolvimento de manifestações patológicas com muito mais facilidade.

O objetivo principal deste trabalho é estudar as origens e formas de todas as manifestações patológicas encontradas em uma residência familiar no município de Francisco Beltrão, diagnosticando, apontando possíveis causas e possíveis soluções.

Com o grande catálogo das ocorrências patológicas, foi necessário fazer o estudo e análise de cada uma, visando solucionar os problemas. O estudo das manifestações patológicas permite um conhecimento mais aprofundado das causas, subsidia os trabalhos de recuperação e manutenção, e contribui para um maior entendimento de cada uma das etapas dos processos de produção das edificações, possibilitando a adoção de medidas preventivas (IOSHIMOTO, 1988).

2. PROCEDIMIENTO

2.1 Local da pesquisa

A pesquisa foi realizada em uma residência no município de Francisco Beltrão, que se localiza no sudoeste do estado do Paraná. O município foi fundado em 14 de dezembro de 1952, tendo atualmente, 67 anos, possui uma área territorial de 731,939 km² e altitude de 570 metros. Possui 5 distritos administrativos (Francisco Beltrão, Jacutinga, Nova Concórdia, São Pio X e Secção Jacaré) e a população estimada em 92.216 pessoas. (IPARDES, 2020).

A residência se localiza em um bairro residencial, em uma via de acesso secundário ao município. Trata-se de um sobrado com aproximadamente 130m², compondo de uma suíte com closet, 2 quartos, banheiro social, sala de jantar, cozinha, lavabo, garagem para dois carros, lavanderia e churrasqueira, tem recuo frontal e sobra de terreno atrás. A edificação foi construída por uma incorporadora da região em 2015, e atualmente o imóvel encontra-se alugado. A Figura 1 mostra o croqui da residência.

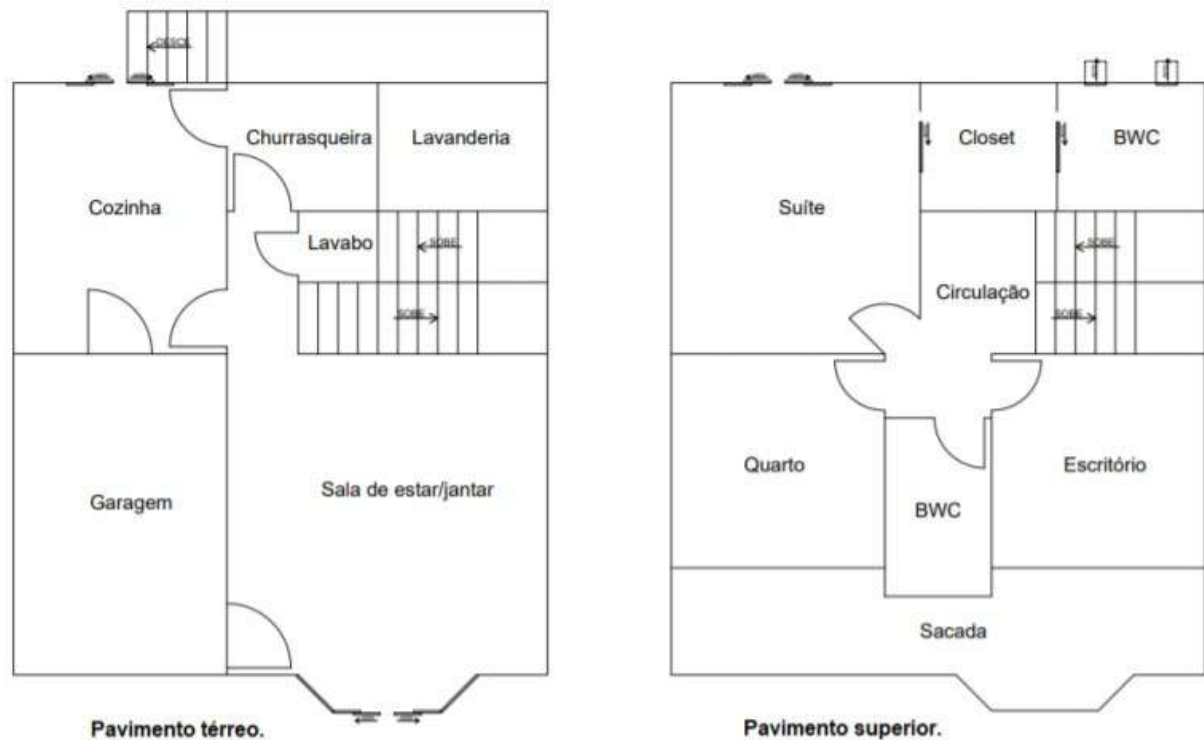


Figura 1. Croqui da residência

A pesquisa realizada se desenvolveu através do estudo de caso que aconteceu por meio de uma vistoria técnica, com visita à residência no dia 30 de setembro de 2020, a qual teve duração de aproximadamente 2 horas e contou com a ajuda da moradora para a apresentação da residência e dos cômodos de localização dos problemas, para a identificação das manifestações patológicas que foram examinadas de acordo com registros fotográficos feitos durante a vistoria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Fissuras

Nas Figuras 2(a) e 2(b), notam-se fissuras na diagonal e horizontal, nos cantos da esquadria. Já as figuras 2(c) e 2(d) mostram fissuras horizontais em paredes de alvenaria, provavelmente provenientes da estrutura.

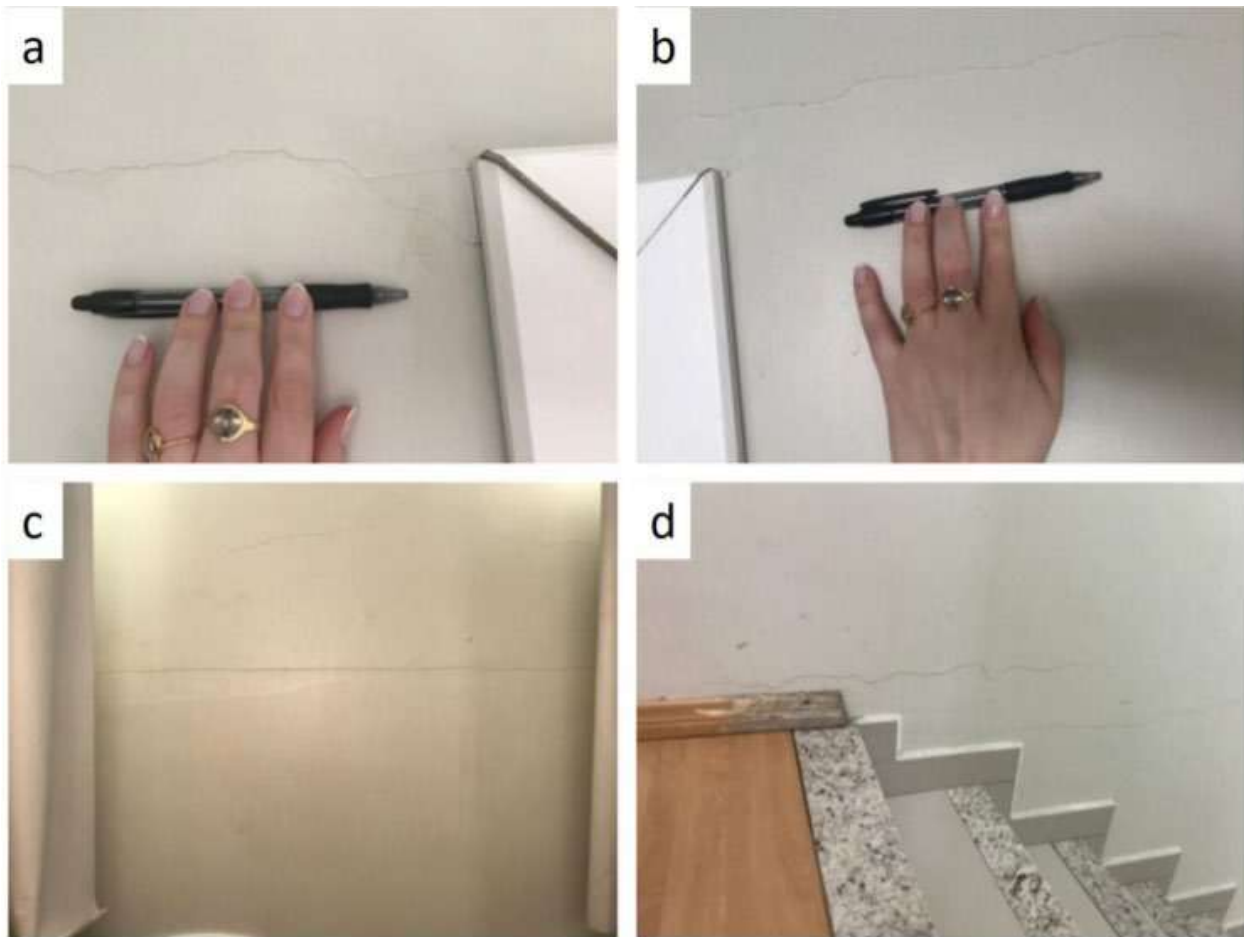


Figura 2. Fissuras

As fissuras por sobrecarga em torno de aberturas ocorrem em paredes de alvenaria descontínuas, com uma ou mais aberturas, submetidos a carregamentos de compressão e têm como característica a formação de fissuras a partir dos vértices das aberturas (THOMAZ, 1989).

Os principais mecanismos de formação das fissuras, para que se possa ter uma compreensão adequada para orientar decisões eficazes à recuperação de componentes trincados ou à adoção de medidas preventivas, são:

- Movimentações provocadas por variações térmicas e de umidade;
- Atuação de sobrecargas ou concentração de tensões;
- Deformabilidade excessiva das estruturas;
- Recalques diferenciados das fundações;
- Retração de produtos à base de ligantes hidráulicos;
- Alterações químicas de materiais de construção (LIMA, 2015).

As fissuras apresentadas nas Figuras 2(a) e 2(b) podem apresentar-se com diversas configurações, em função de diversos fatores como dimensões da parede e das aberturas, materiais constituintes das paredes, dimensão e rigidez de vergas e contravergas, deformação e comportamento da alvenaria e de seu suporte (THOMAZ, 1989).

As fissuras apresentadas nas Figuras 2(c) e 2(d), ainda segundo Thomaz (1989), podem ocorrer por esmagamento de argamassa, de assentamento pelas sobrecargas uniformemente distribuídas. Ocorrem também, principalmente, por fundações mal calculadas, tipo de fundação para o solo incorretas, cálculo estrutural errado e dimensionamento incorreto da ferragem. Para corrigir, a decisão do material escolhido para preenchimento da fissura passa pela avaliação da mesma. Assim, quando a fissura estiver ativa (houver movimento), procede-se apenas com a vedação das

fissuras ou com o eventual preenchimento dos vãos com material elástico e não resistente, permitindo sua movimentação e protegendo o concreto. Para fissuras passivas, que não se movimentam, recomenda-se material rígido. Este material não terá somente a função de proteção contra agentes externos, mas como também de reestabelecer o monolitismo da peça estrutural (OLIVEIRA, 2015).

3.2 Fissuras na laje

A Figura 3 apresenta fissuras na laje da cozinha.



Figura 3. Fissuras na laje

As fissuras em questão aparecem nos dois eixos e se encontram em um determinado ponto. Podem ser por várias causas, principalmente por execução: um possível rompimento de armadura positiva, com o furo feito para instalação elétrica (luminária) provocando o acúmulo de tensão nesse ponto, ou a falta da armadura. Segundo Farias (2019), furos e aberturas são normalmente realizados pela falta de compatibilização de projetos, realizados durante a fase de execução, sem respeitar as especificações da norma. A correção se dá pelo mesmo método descrito anteriormente.

3.3 Infiltração, bolor e mofo

Causado por umidade, o mofo/bolor pode ser prejudicial para a saúde e para o imóvel. A Figura 4 mostra focos desta manifestação patológica na residência.



Figura 4. Bolor em forro do banheiro

Na Figura 4 são perceptíveis manchas de mofo ou bolor. A Figura 4(a) teve a manifestação patológica causada por condensação da água, com o vapor de um banheiro.

Na Figura 4(b), a mancha pode ser causada por infiltração de água através de encanamento.

A Figura 4(c) apresenta perfurações no gesso provenientes da umidade de goteira, possivelmente por telha quebrada e ausência ou má impermeabilização, erros de execução e de projeto.

A Figura 4(d) corresponde a infiltração proveniente de outra manifestação patológica que ocorre no banheiro no pavimento superior da residência, o qual tem um desnível e a água fica acumulada, descolando os rejundes e passando a água para a laje.

A água que não é absorvida fica alojada nos materiais ou ambientes, formando um local propício para a proliferação de microrganismos. Para as manifestações patológicas já instaladas, a primeira ação a ser feita é a identificação da infiltração e o seu estancamento. Limpeza das superfícies afetadas com produtos fungicidas, podendo ser feita até a troca do material existente ou pintura nova.

Como prevenção, Alucci, Flauzino e Milano (1985) dizem que mofo e bolor podem ser evitados na fase de projeto já, garantindo ventilação, iluminação e sol para os ambientes, idealizar a diminuição de risco de condensação nas superfícies internas e riscos de infiltrações. Impermeabilizações e a utilização de produtos que contenham impermeabilizantes, também são fundamentais.

3.4 Empolamento e descascamento de pintura

A Figura 5 apresenta as manifestações patológicas na pintura.



Figura 5. Manifestações patológicas na pintura

Na Figura 5, é possível visualizar o empolamento e descascamento da pintura, no meio da parede e próximo ao rodapé. Segundo a prefeitura municipal de Belo Horizonte (2019), as bolhas são causadas por falta de aderência do produto aplicado devido à presença de pó (tinta antiga pulverulenta) sobre a superfície. O descascamento ocorre pelos mesmos motivos das bolhas, adicionando a possível pintura sobre caiação ou quando, na primeira pintura sobre reboco, a primeira demão não foi bem diluída.

A correção dos locais com bolhas deve ser realizada da seguinte forma: a remoção de todas as bolhas, partes soltas e mal aderidas com uso de espátula, escova de aço e lixa, aplicar na superfície uma demão de fundo preparador para paredes a base de água. Esse produto penetra na superfície e agrega as partículas tornando-as coesas para a sequência da pintura. Nivelar a superfície com massa corrida (áreas internas e secas) e repintar a superfície com o produto desejado. A correção do descascamento recomenda-se raspar ou escovar a superfície até a remoção total das partes soltas ou mal aderidas. Em seguida deve-se aplicar uma demão de fundo preparador de paredes base d'água e aplicar o acabamento (BELO HORIZONTE, 2019).

Porém seria necessária uma avaliação mais aprofundada para a verificação da causa da patologia, pois a mesma pode ocorrer devido a presença de umidade, por infiltrações, causadas por falhas nas impermeabilizações, trincas e vazamentos em tubulações, não sendo possível corrigir apenas com reparos na pintura.

3.5 Descolamento do revestimento

A Figura 6 apresenta o descolamento de revestimento cerâmico.



Figura 6. Descolamento de revestimento

Na Figura 6, houve o descolamento do revestimento cerâmico na churrasqueira. Esta foi construída com tijolos refratários, que é o material adequado para suportar altas temperaturas. Entretanto, sua execução não foi realizada com argamassa e rejunte refratários, ou até mesmo o revestimento não era o indicado à altas temperaturas, desta forma, o calor foi conduzido pela massa de assentamento e atingiu o revestimento externo da churrasqueira. Essas condutas somadas à má execução com o preenchimento incompleto do verso das placas ou o tempo em aberto da argamassa colante excedido, ocasionou o descolamento das placas do revestimento. Segundo Deutsch (2011), a base que receberá os revestimentos deverá ser corretamente especificada e preparada, para se evitem problemas de falta de aderência, entre outros. As argamassas, assim como o concreto, também são plásticas nas primeiras horas, e endurecem com o tempo, ganhando elevada resistência e durabilidade. A correta especificação da dosagem é essencial para um bom desempenho e trabalhabilidade. Para se obter uma boa trabalhabilidade é importante a adição de aditivos plastificantes e incorporadores de ar.

4. Considerações finais

O estudo de caso possibilitou a avaliação das manifestações patológicas da residência, através de vistoria no local com registro fotográfico, bem como suas causas e possíveis soluções. Permitiu descobrir que a maioria das ocorrências são provenientes de má execução ou de falhas no projeto, mão de obra desqualificada ou materiais inadequados.

A importância das manifestações patológicas deve-se ao fato de que contribui para a redução de vida útil da edificação, qualidade, durabilidade e desempenho, comprometendo a estrutura e, portanto, suas funções. Se tratando de manutenção, a preventiva sempre será a melhor opção, haja vista que não existem manifestações patológicas a serem tratadas e sim prevenidas, diminuindo assim, o custo de possíveis reparos e soluções, até mesmo estruturais, que uma manutenção corretiva teria.

Os objetivos deste trabalho foram concluídos, podendo ser apontadas as causas de cada ocorrência e possíveis soluções para todas as manifestações patológicas encontradas e catalogadas, com suas devidas características e indicando materiais adequados, acompanhados de mão de obra qualificada.

Para projetos futuros, indica-se sempre um engenheiro civil acompanhando a execução da obra, com um projeto e mão de obra qualificados. Incluir projetos de gestão com ferramentas de

qualidade também são ótimas estratégias para que se evite a ocorrência das manifestações patológicas, aumentando assim, a vida útil da edificação e a sua qualidade, garantindo às pessoas moradoras um bom uso da sua residência.

5. REFERENCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2013.

ALMEIDA, Maria Lúcia Pacheco de. *Como elaborar monografias*. 4. ed. rev. e atual. Belém: Cejup, 1996. cap. 4, p. 101-110.

ALUCCI, M. P., FLAUZINO, W. D., MILANO, S. *Bolor em Edifícios: Causas e Recomendações. Tecnologia de Edificações*, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. De Edificações do IPT. 1988.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. *Patologia das Estruturas*. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005.

BELO HORIZONTE, *Prefeitura Municipal de. Superintendência de Desenvolvimento da Capital. Diretoria de Projetos. Caderno de encargos*. Belo Horizonte, 2020. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-degoverno/obras-e-infraestrutura/2019/Capitulo_17_R8.pdf. Acesso em: 25 nov. 2020.

BERTI, João Vitor Meneguetti; SILVA JÚNIOR, Gean Pereira da; AKASAKI, Jorge Luís. *Estudo da origem, sintomas e incidências de manifestações patológicas do concreto*. Revista Científica ANAP Brasil, [S.l.], v. 12, n. 26, dez. 2019. ISSN 1984- 3240. Disponível em: <http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap_brasil/article/view/2228>. Acesso em: 16 Out. 2020.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. *Metodologia Científica*. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1976. 69 p.

CORRÊA, Ederson Souza. *Patologias Decorrentes de Alvenaria Estrutural*. 2010. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

CREMONINI, Ruy Alberto. *Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares na região de Porto Alegre: recomendações para projeto, execução e manutenção*. 1988. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

DEUTSCH, Simone Feigelson. *Perícias de Engenharia: a Apuração dos Fatos*. São Paulo: Leud, 2011.

DEUTSCH, Simone Feigelson. *Periciais de Engenharia a Apuração dos Fatos*. São Paulo, Leud 2013.

FARIAS, Ianna Karoline Martins Guimarães. *Influência de Furos e Aberturas em Estruturas de concreto Armado - Análise de Furos Horizontais para Passagem de Tubulações em Vigas Convencionais*. 2019. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, São Luis - Ma, 2019.

HELENE, P. *Corrosão em Armaduras para Concreto Armado*. Editora Pini, São Paulo, 1986.

HELENE, Paulo. *Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto*. Pini, 2ª ed. São Paulo, 1992.

HELENE, Paulo. *Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto*. Editora Reabilitar, São Paulo, 2003.

IOSHIMOTO, Eduardo. *Incidência de Manifestações Patológicas em Edificações Habitacionais*. Tecnologia de Edificações, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. De Edificações do IPT. 1988. p. 545-48.

LAKATOS, Eva Marina; MARCONI, Marina de Andrade. *Metodologia do Trabalho Científico*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1987. 66 p

LIMA, Bruno Santos de. *Principais Manifestações Patológicas em Edificações Residenciais Multifamiliares*. 2015. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria Rs, 2015.

LICHTENSTEIN, Norberto Blumenfeld. *Patologia das Construções*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Usp, 1986.

MACHADO, Ari de Paula. *Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono*. São Paulo: Pini, 2002.

NETO, Francisco Maia. *Patologia das Construções*. Artigos do Jornal Estado de Minas, 16 out. 2011. Disponível em: <http://www.precisao.eng.br/fmnresp/patologia.html#gsc.tab=0>. Acesso em: 15 out.2020.

OLIVEIRA, Julio Cesar Costa de. *Técnicas Para Intervenção Em Estruturas De Concreto Armado*. 2015. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PINA, Gregório Lobo de. *Patologia nas Habitações Populares*. 2013. 102 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ROÇA, G. B. *Análise das Manifestações Patológicas de Uma Edificação Residencial Estudo de Caso*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

SANTOS, Tatiana dos. *Análise das Patologias no Colégio Estadual Reinaldo SASS no Município de Francisco Beltrão - PR*. 2018. 134 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, União de Ensino do Sudoeste do Paraná – Faculdade Educacional de Francisco Beltrão, Francisco Beltrão, 2018.

SILVA, Luiza Kilvia da. *Levantamento de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado no Estado do Ceará*. 2011. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SOTANA, Adriana Felipe et al. *Patologia das Estruturas e Pisos de Concreto Armado e Revestimento*. 2012. 33f. Trabalho apresentado à disciplina de Construção Civil II, Chapecó/SC, 2012.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER Thomaz. *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*. São Paulo: Pini, 1998. 262 p.

THOMAZ, Ercio. *Trincas em edifício: Causas, Prevenção e Recuperação*. 1ª ed. São Paulo, Pini, 1989.

Importancia del mantenimiento en edificios escolares sismorresistentes en zona de licuación durante la pandemia.

N. Maldonado^{1*}, I. Maldonado¹, A. Cueto¹, P. Martín¹, D. Buss¹

*Autor de Contacto: ngm@frm.utn.edu.ar

¹ Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica (CeReDeTeC), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza, República Argentina

RESUMEN

El terremoto de San Juan, Argentina (19/01/2021) alertó sobre probables daños en escuelas en el Norte de Mendoza, Argentina, que es la zona de mayor peligro sísmico del país, por lo tanto, se realizó una inspección visual de daños en tres edificios educacionales en zona de riesgo potencial de licuación. Los daños observados en la mampostería encadenada debido al terremoto son leves pero los daños más significativos detectados encuentran su origen en los nueve meses de cierre de las escuelas, producto de la cuarentena impuesta a la educación, donde las condiciones ambientales como la presencia de napas freáticas superficiales impactan en el mantenimiento de las construcciones, requiriendo el control de funcionamiento de esos edificios aún durante este tipo de cierre.

Palabras clave: construcciones sismorresistentes; mampostería; napa freática; licuación; mantenimiento.

Importance of Maintenance in Earthquake-Resistant School Buildings in the Liquefaction Zone During the Pandemic.

ABSTRACT

The earthquake in San Juan, Argentina (01/19/2021) warned of probable damage to schools in the North of Mendoza, Argentina, which is the area of greatest seismic risk in the country, therefore, a visual inspection of damage was carried out in three educational buildings in an area of potential risk of liquefaction. The damage observed in the tie-reinforced masonry due to the earthquake is slight but the most significant damage detected has its origin in the nine months that schools have been closed, as a result of the quarantine imposed on education, where environmental conditions such as the presence of surface water table has an impact on the maintenance of buildings, requiring control of the operation of these buildings even during this type of closure.

Keywords: earthquake resistant constructions; masonry; water table; liquefaction; maintenance.

Importância da manutenção em edifícios escolares resistentes a terremotos na zona de liquefação durante a pandemia.

RESUMO

O terremoto em San Juan, Argentina (19/01/2021) alertou sobre prováveis danos a escolas no norte de Mendoza, Argentina, que é a área de maior perigo sísmico no país, portanto, uma inspeção visual dos danos foi realizado em três edifícios educacionais em uma área de risco potencial de liquefação. Os danos observados nas alvenarias acorrentadas devido ao terramoto são ligeiros mas os danos mais significativos detectados têm origem nos nove meses de encerramento das escolas, em resultado da quarentena imposta à educação, onde as condições ambientais como a presença de águas subterrâneas superficiais impactam a manutenção das edificações, exigindo o controle do funcionamento dessas edificações mesmo durante esse tipo de fechamento.

Palavras-chave: construções resistentes a terremoto; alvenaria; lençol freático; liquefação; manutenção.

1. INTRODUCCIÓN

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2021) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) indican que el cierre de las escuelas durante la pandemia por la COVID-19 ubican a la Argentina entre los países que menos clases presenciales han tenido desde marzo de 2020 y consideran que la falta de infraestructura en las instituciones educativas fue el mayor obstáculo para continuar con las clases presenciales en toda la región debido a las salas de clase pequeñas, falta de baños y escuelas que no cumplen con los criterios para reabrir sus puertas en la pandemia.

La importancia de tener ambientes en buen estado aporta a que los estudiantes obtengan los resultados esperados en el proceso del aprendizaje, por lo que una buena infraestructura educativa conlleva a una mejora en la calidad educativa y logra una huella significativa sobre el rendimiento de los estudiantes (Cardini et al, 2020) ya que las escuelas inspeccionadas son las únicas escuelas de nivel inicial en cada distrito (POT Lavalle, 2019).

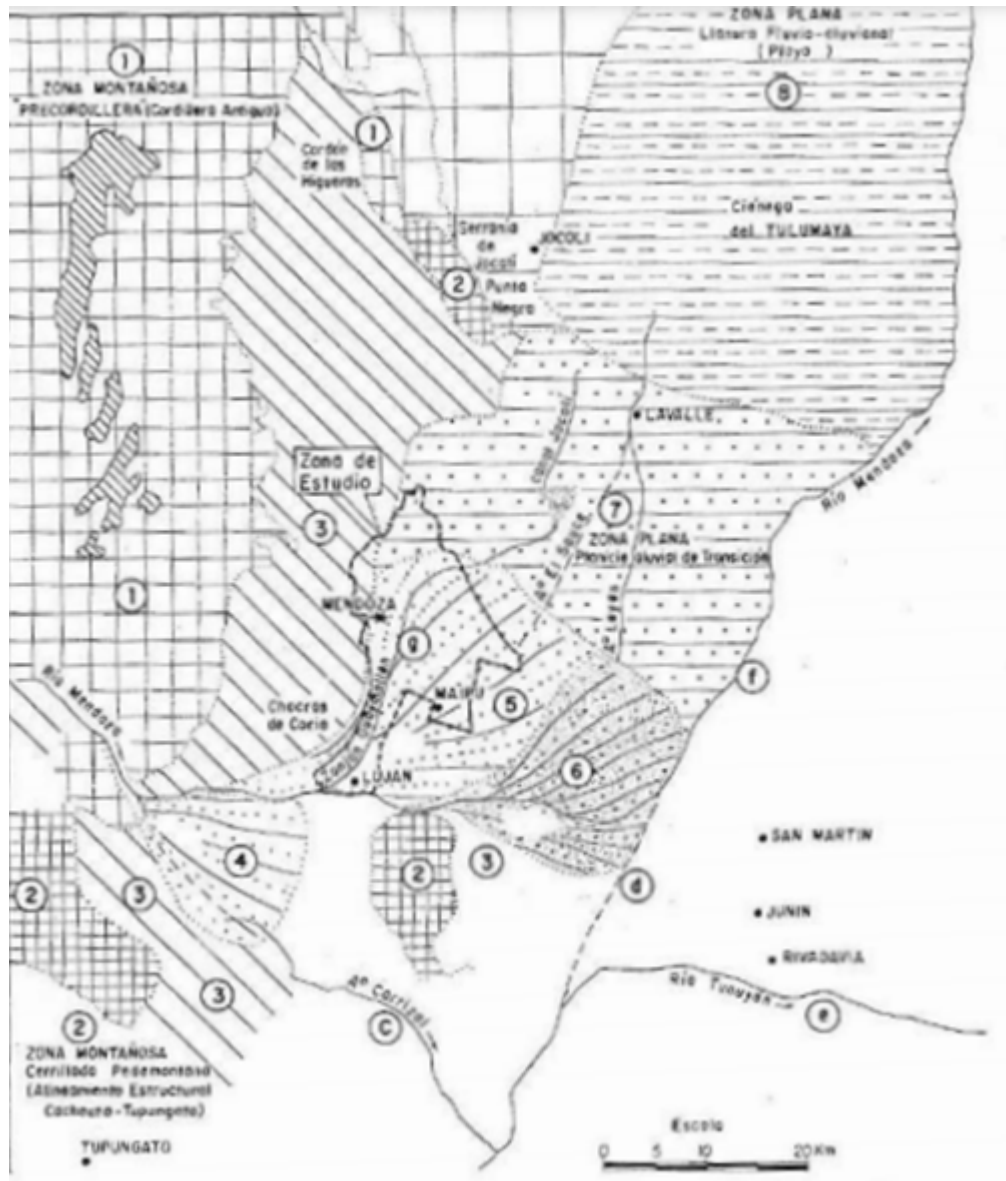
Si a la problemática de mantenimiento rutinario de edificios escolares se le incorpora el cierre por pandemia y la sismicidad local, el costo del mantenimiento de la infraestructura se incrementa.

Las escuelas inspeccionadas en febrero de 2021 se ubican en la zona de suelos rígidos profundos de acuerdo a la Microzonificación sísmica del Gran Mendoza (INPRES,1989), por lo que habitualmente el grado en la escala Modificada de Mercalli aumenta, cuando se origina un sismo de foco cercano. Los conos aluviales, cuando las pendientes naturales disminuyen, se encuentran cubiertos, en general por capas de suelos finos, en la mayoría de los casos con poca plasticidad, situación que genera problemáticas de baja capacidad portante por presencia de humedad y dificultades en el drenaje. Esta situación se presenta en la Figura 1 que indica la zona de llanura pluvio-aluvional y de transición del noreste mendocino.

El análisis geomorfológico del departamento de Lavalle, indica que el mismo se sitúa en la unidad morfo-estructural de las Planicies, formadas por depósitos continentales, predominantemente aluviales de origen terciario y cuaternario. El área comprendida por los distritos de Tulumaya, La Pega, Tres de Mayo, El Vergel, El Chilcal, Costa de Araujo y Gustavo André se desarrolla en la planicie aluvial con modificaciones antrópicas, donde los oasis son el lugar de asentamiento de la mayor parte de la población, sitio donde se desarrollan los cultivos y las áreas urbanas, formado por los abanicos aluviales producto del depósito de materiales arrastrados aguas abajo por el Río Mendoza. El área central del departamento, ocupado por la llanura oriental de origen fluvio – eólica ocupa la mayor parte de los distritos de La Asunción, San Miguel y Lagunas del Rosario (POT Lavalle, 2019).

Por la conformación de la planicie aluvial y el nivel de napa freática superficial, ante un terremoto significativo ($M > 7$) es una zona de licuación potencial (CCSR, 1987). La Figura 2 presenta las isóbatas de la década anterior en la zona donde se ubican las escuelas inspeccionadas.

Los estudios de la licuación histórica en territorio argentino sostienen que la probabilidad de licuación disminuye mucho por debajo de los 3 m del nivel freático y las altas tasas de sedimentación favorecen el fenómeno (sedimentos de granos finos, lacustres y fluviales), aunque el terremoto de 1977 de San Juan ha detectado el fenómeno a más de 200 km del epicentro (Perucca et al. 2006). La explicación a esta situación es que los valles donde asientan las principales ciudades del oeste argentino se ubican sobre depósitos fluviales no consolidados, lugares donde no siempre se han realizado estudios de suelos previos a la construcción sismorresistente y que esto forma parte del riesgo al que están expuestas las edificaciones y las infraestructuras ante sismos significativos ($M > 7$).



Referencias

- 1- Zona montañosa (Precordillera)
- 2- Zona montañosa (Cerrillada Pedemontana)
- 3- Pedemonte mendocino
- 4- Cono aluvial de Agrelo
- 5- Cono aluvial de Maipú
- 6- Planicie de transición (del Tulumaya)
- 7- Llanura aluvial (del Rosario)
- c- antiguo brazo del Río Mendoza
- d-f - antiguo curso del Río Tunuyán
- e- actual curso del Río Tunuyán
- f- actual curso del Río Mendoza
- g- antiguo brazo del Río Mendoza

Figura 1. Unidades geológicas de Norte mendocino (Fuente: INPRES, 1989)

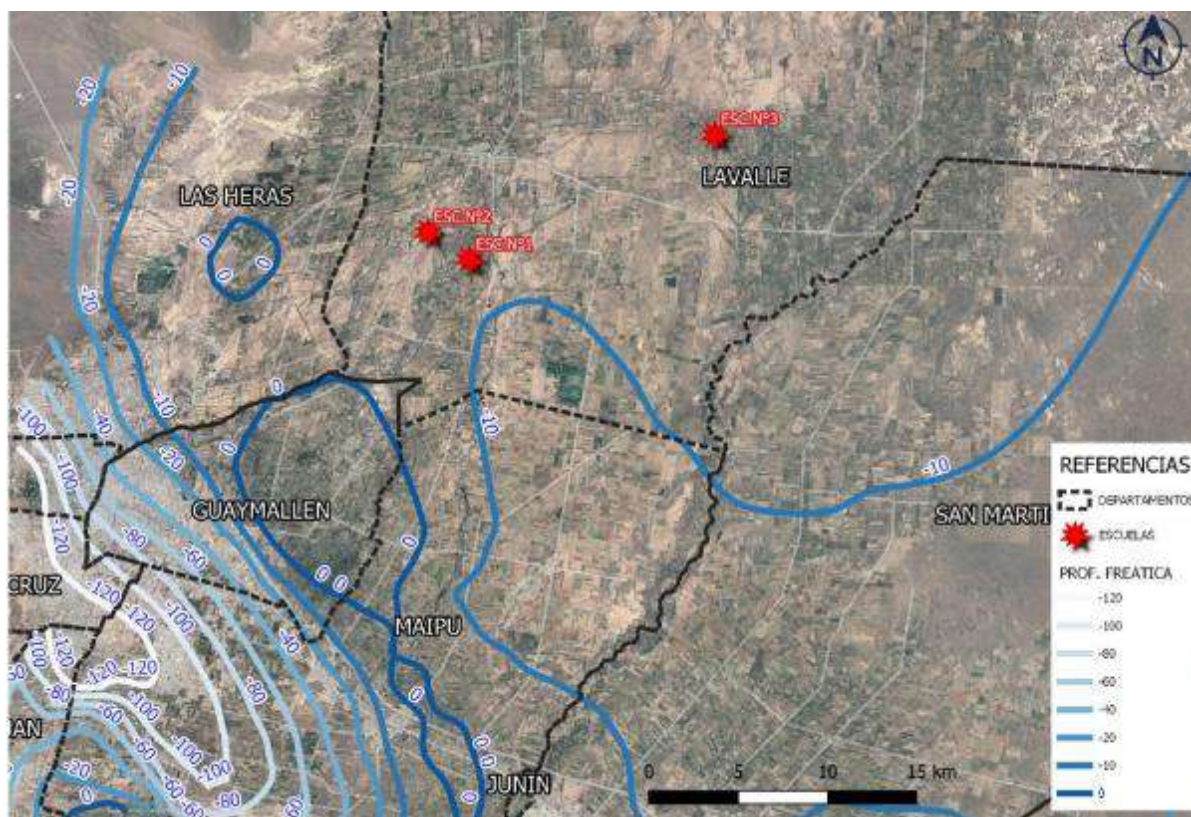


Figura 2. Curvas de igual nivel freático (Fuente: INA, 2011).

La licuación del suelo se produce cuando se rompe el equilibrio estático por aplicación de acciones estáticas o dinámicas en suelos con reducida resistencia residual. Las acciones externas derivan en un crecimiento de las presiones de poros, sin posibilidad de disipación rápida en función del tiempo de carga, produciendo grandes deformaciones y desplazamientos del suelo y afectando a las construcciones. Los factores que afectan el fenómeno son las condiciones de niveles de humedad del suelo, saturados o cercanos a la misma; la permeabilidad reducida que limita la disipación rápida; la resistencia movilizada por la fricción y el confinamiento reducido en relación con las solicitaciones actuantes (Maldonado et al, 2015).

Desde el punto de vista estructural, los edificios escolares evaluados están construidos con códigos anteriores a 1970 y no se encuentra documentación fidedigna del diseño estructural ni de las características de los materiales utilizados. La mampostería confinada es la modalidad más utilizada en esta región desde mitad del siglo XX con mampuestos cerámicos macizos artesanales con bordes encadenados de hormigón armado para mitigar los efectos de los asentamientos diferenciales en los muros (CCA, 1970; CCSR, 1987).

En cuanto a las fundaciones se estima que son de tipo superficial de hormigón armado y/o cimientos corridos y que posiblemente puedan estar apoyadas sobre algún suelo mejorado. Esta problemática de ausencia de historia documental de las escuelas se comparte con otros edificios escolares de Latinoamérica (INIFED, 2021).

2. PROCEDIMIENTO





Se procede a realizar una inspección visual acompañados por autoridades escolares ya que no cuentan con documentación del edificio, por lo que la antigüedad se estima en función de antecedentes aportados por la comunidad local, datos necesarios para iniciar la ficha de descripción y antecedentes de la estructura (CYTED, 1998). En esta inspección se identifican las principales

patologías en relación con el terremoto más reciente y con las condiciones ambientales en relación a las condiciones de las fundaciones y las instalaciones. Finalmente se orientan a los directivos docentes sobre los pasos a seguir.

3. RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la inspección en base a las patologías detectadas.

Tabla 1: Resultados de las inspecciones oculares realizadas

Evaluado	Evidencias
Escuela N°1 (El Vergel, Lavalle)	
<p>Se observan filtraciones de agua por la cubierta de techo y en sanitarios. Las cañerías de instalaciones expuestas al aire libre requieren protección, en especial las cañerías de gas por el riesgo de corrosión</p>	 <p style="text-align: center;">Estado de techos en aulas y sanitarios</p>  <p style="text-align: center;">Estado de instalaciones</p>
<p>Se presenta agrietamiento en forma vertical desde cubierta a piso producto de movimiento sísmico o de golpes por apertura y cierre de puertas. Las construcciones por sectores en distintas etapas sin juntas de construcción y deficiente vinculación generan movimientos diferenciales que se manifiestan en fisuración vertical debido al diferente comportamiento de los materiales. Las condiciones ambientales también influyen en la fisuración y en el comportamiento global de la estructura.</p>	 <p style="text-align: center;">Estado de galería central</p>  <p style="text-align: center;">Fisuración y humedad en aulas</p>
<p>Se observa la falta de corte de ascenso de agua capilar en pisos y veredas y colmatación, lo que mantiene el piso húmedo y con deformaciones. Presencia de salitre. Esto se pone en evidencia en el sector jardín de infantes donde se observan patologías por</p>	 <p style="text-align: center;">Estado de veredín y viga de fundación</p>

Evaluado	Evidencias
<p>presencia de sales, que es de menor antigüedad.</p>	 <p>Estado de columnas en jardín de infantes</p>
<p>Se observan filtraciones de agua de la cubierta en distintas aulas, generando un serio problema de riesgo con las instalaciones eléctricas. Las cañerías de instalaciones expuestas al aire libre requieren protección, en especial las cañerías de gas por el riesgo de corrosión.</p>	 <p>Estado de cañerías y galería central</p>
<p>Se presentan agrietamientos en forma vertical desde cubierta a piso producto de movimiento sísmico o de golpes por apertura y cierre de puertas, que evidencian construcciones en diferentes etapas y comportamiento de materiales diferentes. La fisuración puede estar relacionada con el comportamiento de los materiales, las condiciones ambientales y el comportamiento global de la estructura (cambios de rigidez en los elementos estructurales).</p>	 <p>Fisuración vertical en aulas y galerías</p>
<p>Se observa la falta de corte de ascenso de agua capilar en pisos y veredas lo que mantiene el piso húmedo y con deformaciones. La presencia de salitre y colmatación afecta revoques exteriores. La estructura de vinculación inferior presenta salitre, lo que puede afectar su capacidad resistente por aumento de volumen y disminución de secciones, aún en el sector más nuevo que es el jardín de infantes.</p>	 <p>Problemas de ascenso de agua por capilaridad</p>
<p>Escuela N°3 (El Plumero, Lavalle)</p>	
<p>Se observan filtraciones de agua en techos y en sanitarios. Las cañerías de instalaciones expuestas al aire libre requieren protección, en especial las cañerías de gas por el riesgo de corrosión.</p>	 <p>Estado de galería y aportes de agua</p>

Evaluado	
<p>Se presenta agrietamiento en forma vertical desde cubierta a piso compatible con pequeños asentamientos diferenciales, movimiento sísmico o de golpes por apertura y cierre de puertas, que evidencian construcciones en diferentes etapas y comportamiento de materiales diferentes.</p> <p>La fisuración puede estar relacionada con el comportamiento de los materiales, las condiciones ambientales y el comportamiento global de la estructura.</p>	 <p data-bbox="966 529 1351 562">Fisuración vertical en paredes</p>
<p>Se observa la falta de corte del ascenso de agua capilar en pisos y veredas que mantiene el piso húmedo y con deformaciones.</p> <p>La estructura de vinculación inferior presenta salitre, lo que puede afectar su capacidad resistente por aumento de volumen y disminución de secciones.</p>	 <p data-bbox="966 854 1351 888">Estado de vigas de fundación</p>

3.1. Análisis de las inspecciones

Las inspecciones realizadas ponen en evidencia la falta de documentación confiable del parque educativo provincial (Domizio et al, 2015) situación que a medida que transcurre el tiempo se acrecienta ya que las construcciones educativas también se van deteriorando.

Si bien la tecnología constructiva local se mantiene desde la década del 70 para estructuras sismorresistentes, los materiales locales utilizados han cambiado y no están presentando las mismas condiciones físico-mecánicas y de durabilidad de antaño (Maldonado et al, 1997), a lo que se suma el tema del mantenimiento del parque educativo y el aumento del vandalismo sobre la escuela.

Desde el punto de vista del comportamiento del suelo, a pesar de estar en zonas susceptibles a licuación, dicho fenómeno no se observa que haya afectado las estructuras hasta ahora. Sin embargo, se considera necesario actualizar las técnicas constructivas para la condición de cercanía de la napa freática, resolviendo las fundaciones con otras consideraciones que incluyan tecnologías que optimicen su durabilidad, en especial donde las condiciones de agresividad del agua que con el tiempo colmatan los capilares y modifican el comportamiento del terraplén de apoyo por saturación de la capa de corte de permeabilidad (Maldonado et al, 2015). Esto significa que el comportamiento de la fundación corrida presenta asentamientos diferenciales que afectan el comportamiento de toda la estructura superior y que las construcciones de mampostería evidencian muy rápidamente el problema mediante fisuración vertical como las observadas durante la inspección (CCSR, 1987).

Durante la cuarentena de la pandemia del año 2020 se mantuvieron cerradas las escuelas durante 9 meses hasta el punto que prácticamente no hubo mantenimiento de su infraestructura. En el caso de edificios escolares ubicados en zonas con cercanía a la napa freática, al cerrarse todas las aberturas se ha producido el aumento de la humedad ambiental interna afectando mampostería y terminaciones, que habitualmente una ventilación cruzada mantiene y atenúa el deterioro. La misma problemática de ausencia de mantenimiento ha incrementado los problemas de la evacuación de agua pluvial, afectando cubiertas y cielorrasos, generando problemas porque las aulas no pueden habilitarse por peligro de caída de cielorrasos y por ingreso de agua de lluvia.

El tema de no deterioro de las instalaciones del edificio escolar es un tema recurrente y debiera implicar soluciones generales en el diseño del edificio. Los arreglos parciales generan pérdidas y aumentan la problemática de corrosión de cañerías por permanecer a la intemperie sin la protección adecuada, aumentando el riesgo de la población escolar y los costos de reparación.

3.2. Continuidad de los estudios

Con la información y documentación disponible no se puede realizar un diagnóstico acabado por lo tanto, se sugiere completarlo para cada escuela con las siguientes tareas:

- 1- Monitoreo de la fisuración en planos de planta y cortes, con colocación de testigos de vidrio de reloj que permitan identificar si la apertura de las mismas crece o no.
- 2- Búsqueda de la información técnica sobre la estructura y proceso constructivo de la misma, con detalle de fundaciones e identificación de etapas.
- 3- Estudio de suelos, de terraplenes, detección del nivel de la napa freática, identificación de sales expansivas e identificación de la estructura soporte.
- 4- Reparación de todas las pérdidas de agua y mantenimiento preventivo de todas las instalaciones de la escuela.

4. CONCLUSIONES

La inspección visual no es suficiente para aseverar que los daños detectados fueran causados por el terremoto más reciente, sin embargo, por las condiciones del lugar y tipo de suelos, existe una gran probabilidad de daño por ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos. El nivel de fisuración detectado en las escuelas se considera leve (INIFED, 2021) aunque no se deba exclusivamente al terremoto de San Juan de enero de 2021.

Se considera de importancia incluir en el mantenimiento del parque escolar un tratamiento adecuado para las escuelas ubicadas en zonas con napa freática cercana, en especial en época de suspensión de actividades por grandes lapsos de tiempo en su uso.

Se debe implementar una adecuada recolección de información del parque escolar en lo que respecta a su estructura y a los cambios sufridos en el tiempo para evitar intervenciones de gran valor económico (INIFED, 2021).

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de los Proyectos PID 4880TC y PID 5376 de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza y PICT 2015-761 Agencia Nacional para la Promoción Científica y Tecnológica. Los autores desean agradecer a las instituciones que han permitido el desarrollo del trabajo.

6. REFERENCIAS

Alcocer Martínez de Castro S. et al. (2021). *“Evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa de México”*. Volumen 2: *Introducción al comportamiento sísmico de estructuras para fines de evaluación*. INIFED, México, p. 174.

Domizio M.C., Calderón F. y Maldonado N. (2015), Los riesgos de terremotos en construcciones escolares patrimoniales en zona de elevada sismicidad (Gran Mendoza). In Viand J. y Briones F., *“Riesgos al sur. Diversidad de riesgos de desastres en Argentina”*. La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, cap. 12, pp. 177-196

- Cardini A., D'Alessandre V, Torre E. (2020). Educar en pandemia: respuestas provinciales al COVID. <https://www.cippec.org/publicacion/politica-educativa-ante-el-covid-mendoza/> Acceso 05/05/2021.
- CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (1998). “*Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*”. CYTED.
- Gobierno de Provincia de Mendoza (1970). *Código de Construcciones Antisísmicas (CCA)*.
- Gobierno de Provincia de Mendoza (1987). *Código de Construcciones Sismorresistentes (CCSR)*.
- INA Informe IT N° 124 – CRA (2011). Análisis de la evolución de las reservas hídricas subterráneas a base de las mediciones de las redes monitoras en las cuencas Norte y Centro de Mendoza.
- INPRES. (1989). “*Microzonificación Sísmica de Mendoza*”. INPRES, San Juan, Argentina.
- Maldonado, I., Buss, D., Maldonado, N. (2015). “*Importancia de los estudios del suelo para ubicar viviendas sociales en una zona sísmica licuable*” in: Memorias XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção, XV Congresso de Controlo de Qualidade na Construção, Congresso Luso-Africano da Construção, ALCONPAT Internacional, Lisboa: Portugal, Sesión 01-paper 7208 fs. 8.
- Maldonado, I., Buss, D., Maldonado, N., Doña W. (2016). “*Evaluación de terrenos con potencial de licuación en zona de alto riesgo sísmico: un caso de estudio*” in: Memorias XXIII CAMSIG Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, SAIG, Santa Fe: Argentina, pp. 548-557
- Maldonado, N., Michelini R., Olivencia L. (1997). “*Análisis experimental de la degradación de mampostería encadenada para diseño estructural sismorresistente*” in: Memorias XXVIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, ASIE, San Carlos: Brasil, V.1 pp. 299-308.
- Municipalidad de Lavalle (2019). “*Plan de Ordenamiento Territorial Municipal*”. p.434.
- OECD (2021), OECD Economic Outlook, May 2021, OECD Publishing.
<http://www.oecd.org/economy/outlook/> acceso 31-05-2021
- Perucca L., Pérez A. y Navarro C. (2006). Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos históricos. Su análisis en la evaluación del peligro sísmico en la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61 (4) pp. 567-578

Desempeño en ambiente natural de hormigones diseñados para resistir carbonatación

C. Pico-Cortés^{1*}, C. Zega¹, Y. Villagrán-Zaccardi^{1,2**}

*carlospicocortes@conicet.gov.ar; **yury.villagranzaccardi@ugent.be

¹ LEMIT, CONICET, La Plata, Argentina

² Magnel-Vandepitte Laboratory, UGent, Technologiepark-Zwijnaarde 60, Gent, Bélgica

RESUMEN

Se presentan los resultados de carbonatación natural a 17 años de cuatro hormigones diseñados para mitigar el ingreso de CO₂. Se emplearon cementos Portland puzolánico y normal, con relaciones agua/cemento (a/c) 0,35, 0,40 y 0,60. El ambiente de exposición fue urbano-industrial, en la ciudad de La Plata, Argentina. Se determinaron la velocidad de carbonatación y su relación con propiedades de transporte evaluadas a 28 días, y se estimó el comportamiento esperado para una vida útil de 50 años. Se identificó una tendencia correlativa lineal con la velocidad de succión capilar, así como menores profundidades de carbonatación asociadas a reducidos valores de propiedades de transporte. Hormigones con cemento puzolánico presentan una ligera mayor velocidad de carbonatación, pero con a/c de 0,40 o menor, verificaron la expectativa de resistir carbonatación en estado de servicio.

Palabras clave: Carbonatación natural; propiedades de transporte; velocidad de carbonatación; modelos predictivos; cemento Portland puzolánico.

ABSTRACT

The 17-year natural carbonation results for four concrete types, designed to mitigate the entry of CO₂ are presented. Pozzolanic and ordinary Portland cements were used, with water/cement ratios (w/c) 0.35, 0.40 and 0.60. The exposure environment was urban-industrial in the city of La Plata, Argentina. The carbonation rate and its correlation with transport properties evaluated at 28 days were determined, and the expected performance for a service life of 50 years was estimated. A linear trend with the capillary absorption rate was identified, with lower carbonation depths for reduced values of transport properties. Concretes with pozzolanic cement demonstrated a slightly higher carbonation rate, but when w/c 0.40 or lower is used, the expected carbonation resistance during service is verified.

Keywords: Natural carbonation; transport properties; carbonation rate; prediction model; pozzolanic Portland cement.

RESUMO

São apresentados os resultados de 17 anos de carbonatação natural de quatro concretos projetados para mitigar a entrada de CO₂. Foram utilizados cimentos Portland pozolânico e normal, com relações água/cimento (a/c): 0,35, 0,40 e 0,60. O ambiente de exposição fue urbano-industrial, na cidade de La Plata, Argentina. A taxa de carbonatação e sua relação com as propriedades de transporte avaliadas aos 28 dias foram determinadas, e o comportamento esperado para uma vida útil de 50 anos foi estimado. Identificou-se uma tendência correlativa linear com a velocidade de sucção capilar, bem como menores profundidades de carbonatação associadas a valores reduzidos de propriedades de transporte. Os concretos com cimento puzolânico apresentam uma taxa de carbonatação ligeiramente maior, mas com a/c de 0,40 ou menor, verificaram a expectativa de resistência à carbonatação em estado de serviço.

Palavras chave: Carbonatação natural; propriedades de transporte; taxa de carbonatação; modelos preditivos; cimento Portland pozolânico.

1. INTRODUCCIÓN

La carbonatación del hormigón armado es inconveniente para la durabilidad de las estructuras. Su mecanismo es uno de los dos potenciales generadores de procesos corrosivos en las armaduras, junto al ataque por cloruros. La carbonatación ocurre cuando el dióxido de carbono (CO₂) penetra en el hormigón, fijando y precipitando el calcio y otros álcalis en forma de carbonatos. El avance del frente carbonatado por sobre el recubrimiento y la caída del pH del hormigón derivan en la despasivación y subsecuente corrosión del acero en presencia de oxígeno y humedad.

1.1 Vida útil por carbonatación

La problemática de la corrosión por carbonatación ha llevado a definir la vida útil de estructuras ubicadas en ambientes con concentraciones considerables de CO₂ en función de la velocidad de carbonatación natural por parte de algunos reglamentos. Por ejemplo, la Instrucción EHE-08 (Instrucción de Hormigón Estructural EHE, 2008) recomienda utilizar el modelo clásico de Tuutti (Tuutti, 1982) para relacionar la profundidad y velocidad de carbonatación natural con el tiempo de servicio esperado. La ecuación (1) presenta esta relación incluyendo un factor de seguridad propuesto:

$$x_c(t_{SL}) = K_{field} \sqrt{t_d} = K_{field} \sqrt{\gamma_{sl} \cdot t_{sl}} \quad (1)$$

donde x_c es la profundidad de carbonatación característica, t_d es la vida de servicio de diseño, t_{sl} es el tiempo de servicio que se establece dependiendo del tipo de estructura, K_{field} es el coeficiente de carbonatación natural, γ_{sl} es el factor de seguridad y se puede aproximar a 1,10.

En algunos códigos la vida útil puede incluir alguna parte del período de propagación de la corrosión. Esto se deriva de considerar un estado más avanzado como límite último de servicio.

La correcta estimación de la profundidad de carbonatación requiere de la aplicación simultánea o separada de varias técnicas. Una de estas técnicas se basa en modelos semi-empíricos a partir de las condiciones ambientales de exposición, las propiedades del hormigón endurecido o las características de la mezcla (Loo et al., 1994; Papadakis et al., 1992; Parrott and Killoh, 1989; Possan et al., 2021). Dado que la carbonatación natural requiere estudios muy prolongados, se han implementado técnicas basadas en datos de carbonatación acelerada. Para su aplicación, algunos autores han establecido diversas formulaciones que relacionan el coeficiente acelerado (k_c) con el natural (k_n) (Eric I. Moreno, 2013; Neves et al., 2013; Van Den Heede and De Belie, 2014).

Otros autores han planteado la posibilidad de concertar estas dos técnicas combinando coeficientes acelerados con otros parámetros del hormigón para predecir la carbonatación (Yoon et al., 2007). El proceso de comprobar experimentalmente la carbonatación natural es más prolongado, sin embargo es el que otorga mayor fiabilidad debido a que no depende de condiciones simuladas. Por lo tanto, datos de carbonatación natural son aún requeridos para verificar las predicciones mediante modelos (Ekolu, 2018).

La eficacia de los modelos predictivos depende del establecimiento de correlaciones apropiadas con la velocidad de carbonatación natural. Por ejemplo, en el modelo de (Parrott, 1994) se incluyó a la permeabilidad al oxígeno para estimar la velocidad de carbonatación. Las propiedades de transporte presentan mayor correlación con la carbonatación natural que las propiedades mecánicas; incluyendo el caso de hormigones sustentables como hormigón reciclado o con materiales cementíceos suplementarios (MCS) (Kurda et al., 2019; Zega et al., 2019). En estos casos, parámetros como la absorción capilar, la porosidad total y la penetración de ion cloruro a edades entre 28 días y 1 año han presentado las mayores eficiencias para predecir la carbonatación. Las condiciones climáticas pueden tenerse en cuenta en la predicción de carbonatación natural. En general, los modelos predictivos utilizan valores de HR, concentración de CO₂ y/o precipitaciones promedio. Sin embargo, las variaciones en el tiempo de estos factores pueden influir notoriamente (Visser, 2014). También influyen los ciclos mojado - secado y el aumento de temperatura, causando incremento de la difusión de CO₂ (Chen et al., 2018).

1.2 Medición de la carbonatación natural

Los ensayos de carbonatación natural de hormigón conservan condiciones de exposición similares a las que eventualmente tendrían estructuras construidas con el material. De allí la importancia de obtener datos experimentales con condiciones representativas.

En (Eric Ivan Moreno et al., 2016) se presentaron resultados parciales de carbonatación natural en México y España. Los resultados a 24 meses indicaron que los coeficientes de carbonatación fueron mayores para ambientes con menor humedad relativa (HR), en un rango entre el 80% y el 100%. Esto en consecuencia de una mayor aproximación al rango de 50% a 60%, aceptado como aquel que presenta máxima carbonatación natural (Galán, 2011; Wierig, 1984). Para un período de exposición similar (2,5 años), se encontró que el contenido de CaO en el cemento y particularmente la relación agua/CaO reactivo es otro factor influyente que aumenta la velocidad de carbonatación (Leemann et al., 2015).

1.3 Materiales cementantes y carbonatación

La carbonatación no solo depende de las condiciones ambientales sino también del tipo de cemento.

Hormigones con cemento Portland sin MCS han presentado, en general, menores velocidades de carbonatación (Sanjuán et al., 2003). El alto contenido de clínker se asocia frecuentemente a una alta resistencia al ingreso de sustancias agresivas al hormigón.

Los hormigones con MCS presentan, en general, mayor velocidad de carbonatación natural. Su evaluación requiere la consideración de propiedades a edades avanzadas debido a los plazos que requieren las reacciones puzolánicas.

Desde hace más de 50 años se viene experimentando la carbonatación natural de hormigones adicionados. Ya en 1986, Nagataki et al. experimentaron con hormigones con ceniza volante al 30% de reemplazo de cemento fabricados en 1969 (Nagataki et al., 1986). Se determinó la carbonatación natural a 2, 5, 10 y 15 años. Los autores encontraron que después de 5 años la velocidad de carbonatación comenzó a reducirse para hormigones exteriores. En cambio, continuó aumentando para hormigones interiores, los cuales inicialmente presentaban menor aceleración.

Recientemente, cementantes alternativos del cemento Portland normal han presentado mayor variabilidad en su velocidad de carbonatación natural (Lollini and Redaelli, 2021; Ribeiro et al., 2018).

En (Ribeiro et al., 2018) se evaluó la carbonatación natural de hormigones con ceniza volante (CV) y escoria de alto horno (EAH) durante 10 años. Se encontró que el valor k de durabilidad fue mayor para los hormigones con EAH, debido a su menor velocidad de carbonatación. Sin embargo, las profundidades de carbonatación fueron menores a 5 mm para todos los casos, lo cual reflejó la necesidad de evaluación por desempeño por encima de un enfoque prescriptivo.

La selección del tipo de cemento base es importante debido a la potencial incidencia de la reacción puzolánica (Rabehi et al., 2013). Algunos MCS inertes como el filler calcáreo pueden favorecer a la carbonatación más que aquellos que consumen hidróxido de calcio (Lollini and Redaelli, 2021).

El consumo de portlandita rige como factor principal debido a la reducción de la reserva alcalina, pero también reduce la conectividad de poros y aumenta la tortuosidad. Por lo tanto, puede producirse un desfase en la correlación entre la velocidad de carbonatación y otras propiedades de transporte en los hormigones adicionados, en relación a hormigón con cemento Portland normal. En (von Greve-Dierfeld et al., 2020) se encontró que el consumo de hidróxido de calcio de los MCS puede causar aumento de la velocidad de carbonatación debido a la disminución de la reserva alcalina. En consecuencia, se provocaría una caída más rápida del pH. En este sentido, el cemento Portland normal mantiene ciertas ventajas para resistir a la carbonatación.

La variabilidad de los componentes, proporciones y características de las mezclas de hormigón influyen en dos factores principales para la resistencia a la carbonatación. Primero, el factor físico determinado por la porosidad y la velocidad de difusión del CO_2 . Y segundo, el factor químico, relacionado con la reserva alcalina de la pasta, que es distinta para cada tipo de cemento. La naturaleza de las reacciones, el consumo de portlandita y los productos derivados de la carbonatación influyen en el factor químico.

Este trabajo presenta los resultados de carbonatación natural de hormigones con cemento portland normal y hormigones con cemento Portland puzolánico. Todos han sido diseñados con el fin de resistir carbonatación y han sido expuestos al ambiente natural durante 17 años.

2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

2.1 Componentes y mezclas

Fueron utilizados tres tipos de cemento Portland con resistencia nominal de tipo CP40, uno de tipo Normal (CPN) y dos de tipo Puzolánico (CPP-1 y CPP-2). Se fabricaron mezclas con agregado fino silíceo natural y agregado grueso de piedra partida granítica de tamaño nominal 6-20mm. Las relaciones a/c utilizadas fueron 0,35; 0,40 y 0,60. Además se incluyeron aditivos de lignosulfonato

modificado como plastificante y sulfonato de naftaleno como superplastificante en las mezclas con a/c de 0,35. Éstos permitieron reducir la cantidad de agua procurando una red de poros más cerrada sin detrimento de la fluidez. En la Tabla 1 se presenta la caracterización física y química de los cementos, en la Tabla 2 las propiedades de los agregados y en la Tabla 3 las características de las mezclas.

Tabla 1. Caracterización física y química de los cementos.

Composición química	CPN	CPP-1	CPP-2
SiO ₂ (%)	19,86	14,79	16,83
CaO (%)	63,82	50,32	48,94
Fe ₂ O ₃ (%)	4,19	3,09	3,97
Al ₂ O ₃ (%)	4,11	4,77	4,46
Na ₂ O (%)	0,01	0,16	0,12
K ₂ O (%)	0,93	1,24	1,15
MgO (%)	1,60	1,01	1,64
SO ₃ (%)	1,73	1,40	1,84
Cl ⁻ (%)	0,03	0,03	0,02
Pérdida por calcinación (%)	0,87	1,20	5,36
Residuo Insoluble (%)	2,65	21,65	14,90
Caracterización física			
Superficie Específica Blaine (m ² /kg)	288	281	416
Retenido en tamiz 75 µm (%)	2,4	2,1	10,4
Densidad (g/cm ³)	3,13	2,95	2,99
Resistencia a la compresión 2d	20,4	18,9	10,5
Resistencia a la compresión 28d	44,4	41,8	40,1

Tabla 2. Propiedades de los agregados.

Propiedad	Agregados	
	Fino	Grueso
Módulo de Finura	2,30	6,71
Tamaño máximo (mm)	nd	19
Densidad saturada y superficie seca	2,67	2,75
Absorción de agua (%)	0,5	0,2

Las propiedades medidas en estado fresco fueron: asentamiento a través del ensayo del cono de Abrams según ASTM C143, aire incorporado por el método de presión según ASTM C231 y porcentaje de exudación según ASTM C232.

Tabla 3. Materiales y propiedades en estado fresco de los hormigones.

Materiales	N35	P35	P40	P60
Relación a/c	0,35	0,35	0,40	0,60
CPN	400	-	-	-
CPP-1	-	400	-	-
CPP-2	-	-	442	290
Agregado fino	927	895	800	929
Agregado grueso	979	979	981	992
Plastificante	3,2	3,2	-	-
Superplastificante	4,0	5,6	-	-
Propiedades en estado fresco				
Asentamiento (mm)	110	150	45	50
Aire Incorporado (%)	4,2	3,2	1,7	1,9
Exudación (%)	<0,01	<0,01	nd	nd

Con cada una de las mezclas se moldearon probetas prismáticas de 75mmx75mmx300mm para ser sometidas a carbonatación natural, probetas normalizadas cilíndricas para resistencia a compresión, probetas cúbicas de 200 mm de arista para evaluar permeabilidad a través de la penetración de agua a presión y probetas cilíndricas de 100mmx200mm para ensayos de absorción de agua, succión capilar y migración de ion cloruro. Todas las muestras fueron desmoldadas a las 24 horas.

2.2 Curado y exposición

Todas las muestras de hormigón fueron curadas durante 28 días en condiciones normalizadas (T: 23±2°C; HR > 95%). Posteriormente las muestras para carbonatación fueron expuestas a la acción ambiental del CO₂ en una zona urbana-industrial sin contacto con el suelo.

Las condiciones de exposición natural fueron en la ciudad de La Plata, Argentina, con humedad relativa promedio variable entre 70% y 83%, según se presenta en la Figura 1, temperaturas entre 5,5°C (mes de julio) y 28,8°C (mes de enero), precipitaciones entre 54,6mm (mes de junio) y 117,9mm (mes de marzo) con 8 días de lluvia en promedio por mes, como se observa en la Figura 2. La concentración de CO₂ varió entre 400 y 580 ppm para el período de exposición.



Figura 1. Humedad relativa mensual promedio en La Plata, Argentina – Datos históricos de 50 años. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

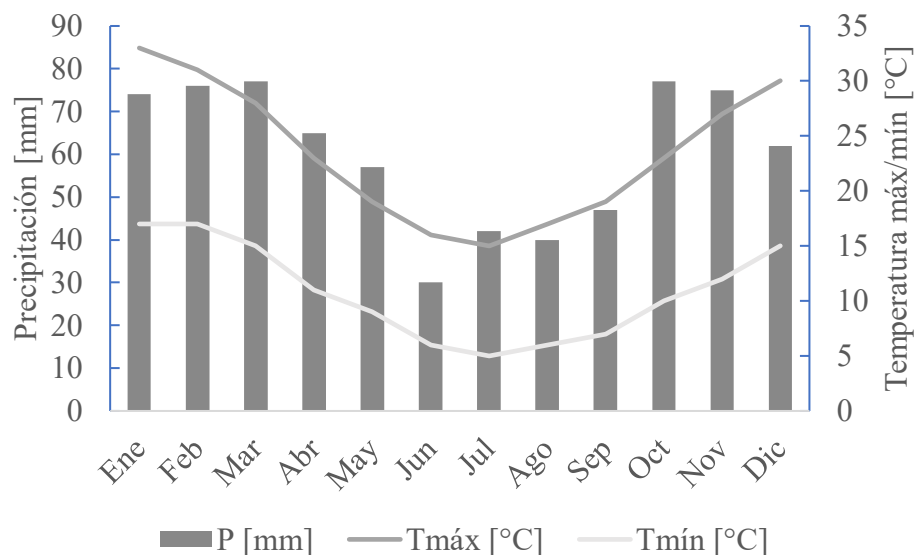


Figura 2. Media de precipitaciones y de temperatura máximas y mínimas en La Plata, Argentina – Datos históricos de 30 años. Fuente: Servicio Meteorológico NEMS

2.3 Medición

Pasado el tiempo de exposición, se realizó la medición del espesor de carbonatación. Se aserró una rodaja de cada una de las probetas, rociándola luego con la solución alcohólica de fenolftaleína al 1% y se midió la profundidad del frente carbonatado en los cuatro lados. Los ensayos complementarios fueron realizados de acuerdo a normas de la siguiente manera: resistencia a la compresión según ASTM C 39/C 39M, absorción de agua y porosidad según ASTM C 642, penetración de agua a presión según IRAM 1554, succión capilar según IRAM 1871 y migración de ion cloruro según NT Build 492.

Por último, y con el fin de determinar la vida útil por carbonatación de una estructura de 50 años, se compararon los resultados obtenidos en la exposición natural con los resultados de la predicción de profundidad de carbonatación a través del modelo clásico planteado por (Papadakis et al., 1992). Este modelo fue diseñado inicialmente para hormigón de CPN y se distingue por su practicidad para la estimación a partir de los constituyentes del hormigón. Es descrito en la ecuación (2)

$$x_{ct} = \left(\frac{2[CO_2]^0 D_{e,CO_2} t}{[CH] + 3[CSH]} \right)^{1/2} \quad (2),$$

donde la profundidad de carbonatación x_{ct} está en m, $[CO_2]^0$ es la concentración molar de CO_2 ambiental en mol/m^3 , D_{e,CO_2} es la difusividad efectiva de CO_2 en el hormigón en $m^2/año$, $[CH] + 3[CSH]$ es la concentración molar total de constituyentes carbonatables del hormigón en mol/m^3 , t es el tiempo en años, y HR es el valor medio de la humedad relativa. La concentración molar del carbono ambiental se puede calcular según la ecuación (3), donde y_{CO_2} es el contenido ambiental de CO_2 por volumen en ppmv. La difusividad efectiva del CO_2 en el hormigón se calcula según la ecuación (4), donde ε_p es la porosidad de los componentes completamente hidratados y carbonatados de la pasta de cemento, estimada según la ecuación (5). La concentración molar total de los constituyentes carbonatables del hormigón pueden estimarse según la ecuación (6).

$$[CO_2]^0 = 42y_{CO_2} \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

$$D_{e,CO_2} = 51.8\varepsilon_p^{1.8} \left[1 - \left(\frac{HR}{100} \right) \right]^{2.2} \quad (4)$$

$$\varepsilon_p \approx \left(\frac{\rho_c}{\rho_a} \right) \frac{a/c - 0.3}{1 + (\rho_c / \rho_a)(a/c)} \quad (5)$$

$$[CH] + 3[CSH] \approx \frac{33000}{1 + (\rho_c / \rho_a)(a/c) + (\rho_c / \rho_{ag})(ag/c)} \quad (6)$$

En las ecuaciones (5) y (6) ρ_c , ρ_a y ρ_{ag} son las densidades de cemento, agua, y agregados en kg/m^3 , respectivamente; y c , a , y ag son los contenidos de cemento, agua y agregados en kg/m^3 , respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 4 se presentan los resultados de propiedades complementarias para cada tipo de hormigón determinadas a 28 días de edad.

Tabla 4. Propiedades complementarias a la carbonatación.

Propiedades en estado endurecido	N35	P35	P40	P60
Resistencia a la compresión 28d (MPa)	58,20	57,40	31,75	23,10
Absorción de agua 24h (%)	2,50%	2,90%	5,00%	5,15%
Porosidad (%)	6,00%	6,85%	11,50%	11,80%
Penetración de agua a presión máx (mm)	32	28	48	57
Velocidad de succión capilar ($g \cdot m^{-2} \cdot s^{-0.5}$)	0,95	1,15	1,60	2,90
Coef. Migración de ion cloruro m^2/s	$4,6 \times 10^{-12}$	$3,3 \times 10^{-12}$	$4,9 \times 10^{-12}$	14×10^{-12}

El espesor de carbonatación natural se midió luego de 14 y 17 años de exposición, como se observa en la Figura 3. Para los tipos de hormigón N35 y P35 el avance fue prácticamente el mismo para ambas edades. La velocidad de carbonatación fue mayor para las muestras de P40 y P60.

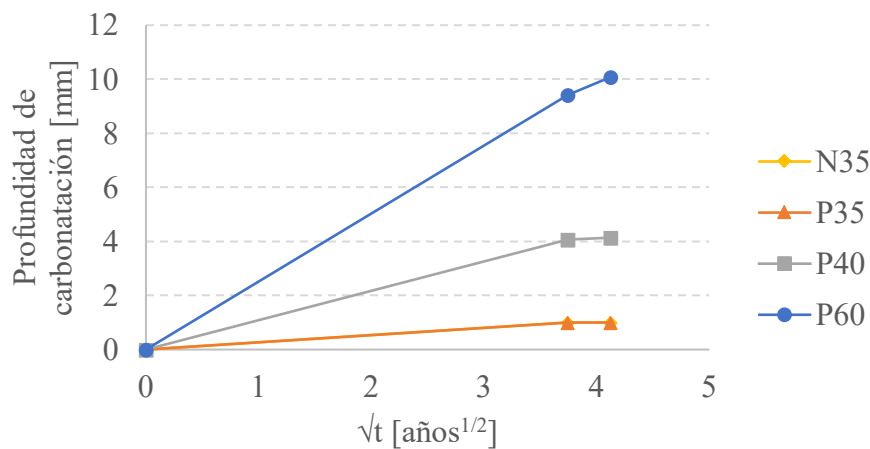


Figura 3. Evolución de la profundidad de carbonatación con la raíz del tiempo.

Con la relación entre profundidad de carbonatación y raíz del tiempo es posible encontrar el coeficiente de velocidad de carbonatación, según la ecuación (1) (Tuutti, 1982). El resultado se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Profundidad de carbonatación medida a 17 años y velocidad de carbonatación obtenida por el modelo de Tuutti

Tipo de Hormigón	N35	P35	P40	P60
Profundidad de carbonatación promedio a 17 años (mm)	0,95	0,97	4,14	10,08
Velocidad de carbonatación K_{field} (mm·años ^{-0,5})	0,23	0,235	1,004	2,445

Se encontró una buena correlación entre la velocidad de carbonatación K_{field} y algunas de las propiedades complementarias. En las Figuras 4 a 6 se presentan las más significativas, R^2 mayor a 0,98. Como es de esperar, para el caso de la resistencia a la compresión se encontró una relación inversa, como se observa en la Figura 4.

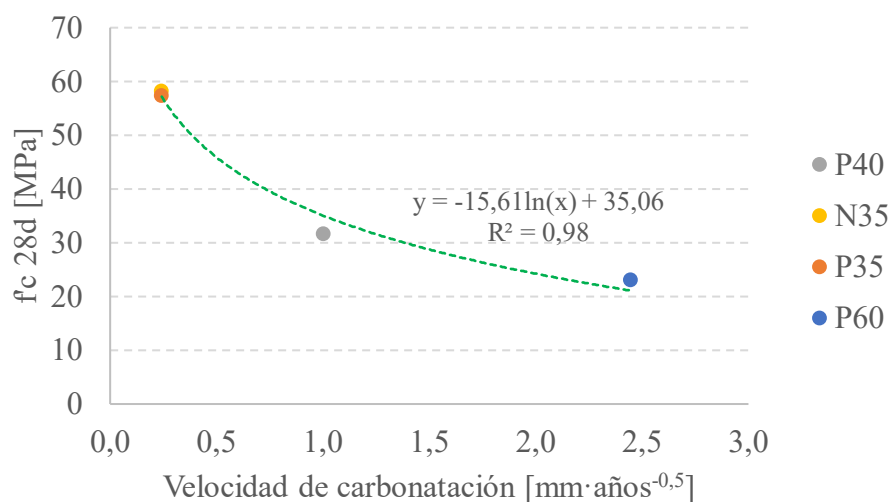


Figura 4. Resistencia a la compresión f'_c a 28 días versus velocidad de carbonatación K_{field} .

En relación a la penetración de agua a presión máxima, la línea de tendencia presentó un comportamiento logarítmico positivo, descrito en la Figura 5. Mientras que para la velocidad de succión capilar se presentó una tendencia lineal positiva, según se observa en la Figura 6.

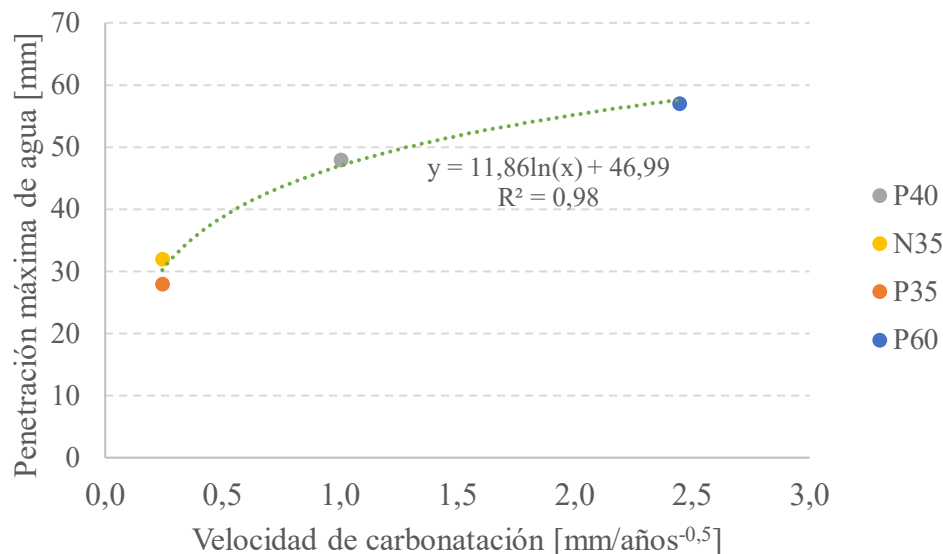


Figura 5. Penetración de agua a presión a 28 días versus velocidad de carbonatación K_{field} .

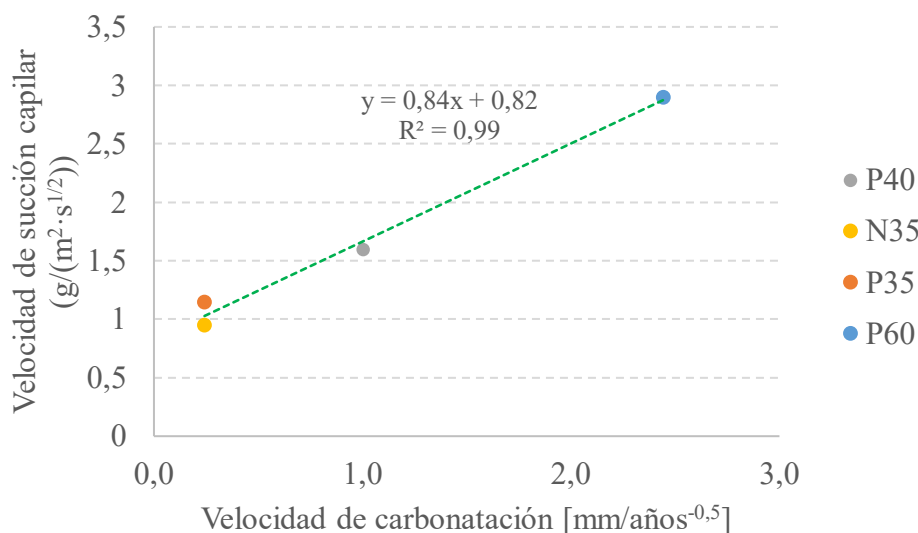


Figura 6. Velocidad de succión capilar a 28 días versus velocidad de carbonatación K_{field} .

La mayor de las velocidades de succión capilar presentadas para este grupo de hormigones fue de 2,90 g/(m²·s^{1/2}), para P60.

El modelo predictivo simplificado de (Papadakis et al., 1992) arrojó los resultados mostrados en la Tabla 6 para cada uno de sus parámetros aplicados a los cuatro tipos de hormigón.

Tabla 6. Estimación de la profundidad de carbonatación con el modelo de Papadakis.

Tipo de Hormigón	N35	P35	P40	P60
[CO ₂] ⁰ (mol/m ³)	0,0206	0,0206	0,0206	0,0206

ε_p (%)	7,47%	7,26%	13,62%	32,10%
D_{e,CO_2} (m ² /año)	0,0187	0,0177	0,0551	0,2579
[CH] + 3[CSH] (mol/m ³)	4344	4629	4974	3268
t (años)	50	50	50	50
RH promedio (%)	77,25%	77,25%	77,25%	77,25%
Profundidad de carbonatación a 50 años, x_{ct} (mm)	3,0	2,8	4,8	12,7

La influencia de la relación a/c y del contenido de cemento en la porosidad teórica (ecuación 5) según el modelo de Papadakis es amplia. Puede deducirse de la Tabla 6 que los valores de profundidad de carbonatación esperados para P60 son 2,65 veces mayores que los valores esperados para P40, 4,2 veces que para N35 y 4,5 veces que para P35. Al comparar el porcentaje de porosidad teórico (ε_p) de la ecuación (5) con el determinado experimentalmente en la Tabla 4, se observa que para N35, P35 y P40 existen ligeras sobreestimaciones, mientras que para P60 la sobreestimación es muy significativa (más del triple del valor medido experimentalmente). El valor de ε_p en la Tabla 6 no puede considerarse esperado para un hormigón con a/c=0,60, por lo que debe considerarse con escepticismo. El modelo simplificado de Papadakis está inicialmente diseñado para hormigones sin MCS y no tiene en cuenta la inclusión de otras variables como los aditivos. En consecuencia, puede predecir valores distintos a los experimentales en hormigones modernos. Sin embargo, es un punto de partida interesante debido a la comparabilidad que provee entre modelos predictivos basados en variables influyentes y el diseño por desempeño. El modelo de Tuutti puede ser más adecuado para estructuras en servicio, siempre y cuando se utilicen factores de seguridad adecuados basados en la porosidad. En la Tabla 7 se presentan los resultados de la profundidad de carbonatación para una vida útil de 50 años estimada con la ecuación (1) y los coeficientes de carbonatación determinados en campo. Puede verse que los hormigones N35 y P35 podrían considerarse ultra durables en términos de la carbonatación, siempre que se prevenga la fisuración del recubrimiento por razones estructurales, de servicio o de durabilidad. Además, se puede comprobar que el modelo simplificado de Papadakis tiene una correlación limitada con la carbonatación natural de los hormigones estudiados. El modelo provee un enfoque más liberal para P40 y P60 que el determinado por desempeño y un enfoque más conservador para N35 y P35. Es sorprendente que, a pesar de la excesiva sobreestimación de ε_p en el modelo de Papadakis, la estimación del espesor carbonatado para P60 resulta menor que la determinada según el modelo de Tuutti. Por lo tanto, la relación entre la porosidad y difusividad de CO₂ necesitaría ser reconsiderada para mejorar estas predicciones y su aplicación en hormigones con MCS.

Tabla 7. Profundidad de carbonatación para vida útil supuesta de 50 años según EHE-08.

Tipo de Hormigón	N35	P35	P40	P60
Profundidad de carbonatación proyectada para vida útil supuesta de 50 años, x_c (mm)	1,7	1,7	7,4	18,1

Las profundidades de carbonatación determinadas a partir de estimaciones de desempeño y las velocidades de succión capilar presentadas en la Figura 6 pueden correlacionarse. Se observa que todas las velocidades de succión capilar son menores al límite de 4,0 g/(m²·s^{1/2}), sugerido en el Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2005). Este límite procura la durabilidad para estructuras de hormigón armado a 50 años, por lo que deberá verificarse que la carbonatación natural no supere espesores de recubrimiento típicos.

$\geq 0,60$ podría ser propuesta.

4. CONCLUSIONES

Se presentan resultados de carbonatación natural a 17 años para hormigones con CPN y CPP.

Para las mezclas con relación a/c de 0,35 y aditivo los valores de profundidad de carbonatación luego de 17 años fueron de aproximadamente 1 mm, similar medición a la realizada a 14 años. Los espesores carbonatados obtenidos para estos hormigones son demasiado bajos como para tener una determinación precisa de la velocidad de carbonatación, por lo que deben seguirse evaluando. Aun así, dichos hormigones pueden ser considerados ultra durables frente a la carbonatación. El factor químico no resultó de gran incidencia en estos hormigones, ya que la carbonatación se vio limitada por la muy reducida estructura de poros. Para los hormigones P40 y P60 la carbonatación se hace más notoria conforme se incrementa a/c.

La velocidad de carbonatación natural calculada con la profundidad sobre la raíz cuadrada del tiempo a 17 años presentó correlación lineal con la velocidad de succión capilar calculada a 28 días de edad. La velocidad de succión capilar se presenta como uno de los índices más adecuados para predecir la carbonatación. La linealidad presentada en este trabajo entre velocidad de carbonatación natural y velocidad de succión capilar a 28 días puede contribuir a evaluaciones futuras sobre esta correlación. En caso de comprobarse, y respecto al énfasis prescriptivo, las velocidades de carbonatación críticas podrían determinar los límites del coeficiente de succión capilar para estructuras sometidas a carbonatación, sobre todo para hormigones con relaciones a/c mayores o iguales a 0,60.

La predicción de profundidad de carbonatación a través del modelo simplificado de Papadakis provee idea del comportamiento del hormigón a partir de sus constituyentes. Esta es una ventaja desde el punto de vista práctico. Sin embargo, el modelo parece requerir algunas revisiones en cuanto a la estimación de la porosidad, la difusividad de CO₂ y la consideración del efecto de MCS, entre otras variables.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica de la República Argentina a través del PICT-2017 0091. Yury Villagrán-Zaccardi agradece a Research Foundation-Flanders (FWO-Vlaanderen) por el financiamiento a través del Proyecto 12ZZD21N Marie Skłodowska-Curie Actions - Seal of Excellence.

6. REFERENCIAS

- Chen, Y., Liu, P. and Yu, Z. (2018). Effects of environmental factors on concrete carbonation depth and compressive strength. *Materials*. 11(2167):1–11.
<https://doi.org/10.3390/ma11112167>
- Comisión Permanente del Hormigón, EHE (2008), “*Instrucción de Hormigón Estructural. Ministerio de obras públicas e urbanismo*”. Madrid, España.
- Ekolu, S. O. (2018). Model for practical prediction of natural carbonation in reinforced concrete: Part 1-formulation. *Cement and Concrete Composites*. 86:40-56.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.10.006>
- Galán, I. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación de CO₂ con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*, Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de

- Madrid, 202 p. <https://core.ac.uk/download/pdf/19716738.pdf>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2005). *CIRSOC-201 Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón Armado*, Buenos Aires, Argentina.
- Kurda, R., De Brito, J. and Silvestre, J. D. (2019). Carbonation of concrete made with high amount of fly ash and recycled concrete aggregates for utilization of CO₂. *Journal of CO₂ Utilization*. 29:12-19. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2018.11.004>
- Leemann, A., Nygaard, P., Kaufmann, J. and Loser, R. (2015). Relation between carbonation resistance, mix design and exposure of mortar and concrete. *Cement and Concrete Composites*. 62:33-43. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.04.020>
- Lollini, F. and Redaelli, E. (2021). Carbonation of blended cement concretes after 12 years of natural exposure. *Construction and Building Materials*. 276:122-131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122122>
- Loo, Y. H., Chin, M. S., Tam, C. T. and Ong, K. C. G. (1994). A carbonation prediction model for accelerated carbonation testing of concrete. *Magazine of Concrete Research*. 46 (168):191-200. <https://doi.org/10.1680/mac.1994.46.168.191>
- Moreno, Eric I. (2013). Carbonation coefficients from concrete made with high-absorption limestone aggregate. *Advances in Materials Science and Engineering*. 734031:1-4 <https://doi.org/10.1155/2013/734031>
- Moreno, Eric Ivan, Torres-Acosta, A., Pérez-Quiroz, J. T., Martínez-Madrid, M., Martínez-Molina, W., Alonso-Guzmán, E., Castro-Borges, P., Genescá-Llongueras, J., Valdez-Salas, B., Ariza-Aguilar, L. E., Baltazar, M., Nieves, D., Almeraya-Calderón, F., Gaona-Tiburcio, C., Pérez-López, T., López-Vázquez, E., Rodríguez, J., Rebolledo, N., Andrade, C. and Troconis-Rincón, O. (2016). Concrete carbonation in Mexico and Spain: Duracon project, four year evaluation. *Key Engineering Materials*. 711:12-20. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.711.12>
- Nagataki, S., Ohga, H. and Kim, E. K. (1986). Effect of curing conditions on the carbonation of concrete with fly ash and the corrosion of reinforcement in long-term tests. *Publication - American Concrete Institute*. SP 91-24:521-539
- Neves, R., Branco, F. and De Brito, J. (2013). Field assessment of the relationship between natural and accelerated concrete carbonation resistance. *Cement and Concrete Composites*. 41:9-15. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.04.006>
- Papadakis, V. G., Fardis, M. N. and Vayenas, C. G. (1992). Effect of composition, environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation. *Materials and Structures*. 25:293-304 <https://doi.org/10.1007/BF02472670>
- Parrott, L. . (1994). Design for avoiding damage due to carbonation-induced corrosion. *International Congress on Durability of Concrete ACI*. SP 145-15:283-298.
- Parrott, L. J. and Killoh, D. C. (1989). Carbonation in a 36 year old, in-situ concrete. *Cement and Concrete Research*. 19:649-656 [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(89\)90017-3](https://doi.org/10.1016/0008-8846(89)90017-3)
- Possan, E., Andrade, J. J. O., Dal Molin, D. C. C. and Ribeiro, J. L. D. (2021). *Model to Estimate Concrete Carbonation Depth and Service Life Prediction*. In: "Hygrothermal Behaviour and Building Pathologies". Springer, Porto, Portugal, pp. 67-97. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50998-9_4
- Rabehi, M., Mezghiche, B. and Guettala, S. (2013). Correlation between initial absorption of the cover concrete, the compressive strength and carbonation depth. *Construction and Building Materials*. 45:123-129. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.074>
- Ribeiro, A. B., Santos, T. and Gonçalves, A. (2018). Performance of concrete exposed to natural carbonation: Use of the k-value concept. *Construction and Building Materials*. 175:360-370. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.206>
- Sanjuán, M. A., Andrade, C. and Cheyrezy, M. (2003). Concrete carbonation tests in natural and

- accelerated conditions. *Advances in Cement Research*. 15(4):171-180.
<https://doi.org/10.1680/adcr.2003.15.4.171>
- Tuutti, K. (1982). *Corrosion of steel in concrete, Report 4.82*. Swedish Cement and Concrete Research Institute (CBI). Estocolmo, Suecia, p.35.
- Van Den Heede, P. and De Belie, N. (2014). A service life based global warming potential for high-volume fly ash concrete exposed to carbonation. *Construction and Building Materials*. 55:173-183. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.033>
- Visser, J. H. M. (2014). Influence of the carbon dioxide concentration on the resistance to carbonation of concrete. *Construction and Building Materials*. 67A:8-13
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.005>
- von Greve-Dierfeld, S., Lothenbach, B., Vollpracht, A., Wu, B., Huet, B., Andrade, C., Medina, C., Thiel, C., Gruyaert, E., Vanoutrive, H., Saéz del Bosque, I. F., Ignjatovic, I., Elsen, J., Provis, J. L., Scrivener, K., Thienel, K. C., Sideris, K., Zajac, M., Alderete, N., ... De Belie, N. (2020). Understanding the carbonation of concrete with supplementary cementitious materials: a critical review by RILEM TC 281-CCC. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*. 53:136 <https://doi.org/10.1617/s11527-020-01558-w>
- Wierig, H. (1984). Longtime studies on the carbonation of concrete under normal outdoor exposure. *Proceedings of the RILEM, Hannover University*, pp. 239-249.
- Yoon, I. S., Çopuroğlu, O. and Park, K. B. (2007). Effect of global climatic change on carbonation progress of concrete. *Atmospheric Environment*. 41:7274–7285
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.05.028>
- Zega, C. J., Etcheverry, J. M. and Villagrán-Zaccardi, Y. A. (2019). Natural Carbonation of Multiplely Recycled Aggregate Concrete. *Proceedings of the International Workshop CO2 Storage in Concrete CO2STO2019*, pp. 117–123.

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS DE PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS *in loco*

F. M. Padilha¹, L. R. S. Carneiro^{1*}, J. C. Santos¹, F. S. J. Poggiali¹

*Autor para Contato: carneirola@hotmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Av. Amazonas, 7675 – Nova Gameleira, Belo Horizonte – MG, Brasil, 30510-000

RESUMO

Este trabalho analisou as manifestações patológicas de duas obras em sistema construtivo de paredes de concreto. Por se tratar de um sistema construtivo ainda incipiente no Brasil, o conhecimento prévio de possíveis falhas pode ajudar novos construtores na prevenção de patologias em obras futuras. Após identificação das anomalias, foi feito o levantamento das causas, diagnóstico e proposição de tratamento. O estudo identificou descolamento cerâmico, fissuras nos elementos estruturais, segregação do concreto, vazios de concretagem e cobertura insuficiente das armaduras. A principal origem das anomalias foi a etapa de execução, sendo necessária a implantação de um rigoroso treinamento da mão-de-obra, aliado à contínua fiscalização dos serviços. A concretagem também deve ser previamente planejada, sendo fundamental a participação síncrona dos diferentes agentes envolvidos. O estudo enfatiza a importância da realização de fiscalizações contínuas, que proporcionem aprendizado e melhorias, a fim de que erros cometidos no passado não se repitam no futuro.

Palavras-chave: patologia das construções; manifestações patológicas; paredes de concreto; estudo de caso.

ABSTRACT

This work analyzed the pathological manifestations of two different constructions, made with concrete wall systems. Considering that this system is not well known in Brazil yet, prior knowledge of possible failures may help new builders on preventing pathologies in future buildings. A survey of the causes was made, followed by diagnosis and treatment proposals. Ceramic detachment, cracks in structural elements, concrete segregation, concrete voids and insufficient reinforcement cover were identified. The main cause of the anomalies was the execution stage, highlighting the importance of a rigorous training of the workforce, combined with continuous service inspection. The concreting stage must also be previously planned, and the synchronous participation of the different agents involved is essential. Continuous inspections are encouraged in order to provide learning and improvements, so that mistakes made in the past are not repeated in the future.

Keywords: building pathologies; pathological manifestaciones; concrete walls system; case study.

RESUMEN

Este trabajo analizó las manifestaciones patológicas de dos obras en sistema constructivo de paredes de hormigón. Por se tratar de um sistema construtivo ainda incipiente no Brasil, o conhecimento prévio de possíveis falhas pode ajudar novos construtores na prevenção de patologias em obras futuras. Tras la identificación de las anomalías, se hizo un estudio de las causas, diagnóstico y proposición de tratamiento. El estudio identificó desprendimiento cerámico, fisuras en los elementos estructurales, segregación del hormigón, vacíos de hormigonado y cubrimiento insuficiente de las armaduras. El principal origen de las anomalías fue a la etapa de ejecución, siendo necesario implantar riguroso entrenamiento de la mano de obra, aliado a la continua fiscalización de los servicios. El hormigonado debe ser previamente planificado, siendo fundamental la participación sincrónica de los diferentes agentes involucrados. Se fomenta la realización de controles que proporcionen aprendizaje y mejoras, a fin de que errores cometidos en el pasado no se repitan en el futuro.

Palabras clave: patología de las construcciones; manifestaciones patológicas; paredes de hormigón; estudio de caso.

1. INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento da urbanização brasileira no começo do século XXI gerou muitas oportunidades para o setor da construção civil, o qual se viu estimulado a otimizar seus sistemas construtivos, a fim de reduzir custos e diminuir o prazo das construções (ABCP, 2008). O sistema construtivo de paredes de concreto surgiu nas décadas de 1970 e 1980, mas só ganhou relevância a partir dos anos 2000 (Misurelli e Massuda, 2009). No ano de 2007, verificou-se um aumento significativo de edificações construídas pelo sistema parede de concreto, motivados pelo surgimento dos programas sociais, como o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), quando se observou uma crescente demanda por edificações de teor social (Braguim e Bittencourt, 2014).

Em 2012, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR 16.055 – Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações – Requisitos e Procedimentos, cujo objetivo é estabelecer os requisitos para a construção de edificações com o sistema parede de concreto moldado *in loco*. Ela define parede de concreto como um elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento dez vezes maior que sua espessura, capaz de suportar cargas no mesmo plano da parede. O sistema consiste, inicialmente, na montagem das armações e instalações elétricas e hidráulicas, seguidas da montagem das fôrmas e da concretagem (Dornelles e Oliveira, 2012). Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2008), as fôrmas utilizadas podem ser metálicas, metálicas com compensado e plásticas, ficando a escolha a cargo da necessidade da obra e disponibilidade de recursos e materiais. A escolha do concreto, por sua vez, determina a qualidade e a efetividade do sistema monolítico. De certa maneira, todos os concretos empregados neste subsistema são especiais, uma vez que necessitam de aditivos para atender a diferentes requisitos, como o tempo de desforma, por exemplo (Monge, 2013).

O sistema construtivo de paredes de concreto não visa diretamente a economia em materiais, mas a redução do tempo de construção e consequentes gastos com mão-de-obra, aluguel de máquinas e equipamentos, além de custos com instalações provisórias (Dornelles e Oliveira, 2012). Contudo, este sistema apresenta vantagens em relação aos sistemas convencionais de construção. Dentre estas, pode-se citar maior produtividade, maior controle tecnológico dos insumos, racionalização e industrialização dos processos, baixa geração de resíduo, dentre outras. Porém, devido ao custo da fôrma e a necessidade de uma mão-de-obra especializada, este tipo de construção é viabilizada para projetos padronizados e com repetições (Côrrea, 2012). Ressalta-se, ainda, a importância de se realizar inspeções contínuas dos serviços, a fim de se evitar retrabalhos e possíveis patologias devido a procedimentos mal executados.

O presente artigo visa analisar as manifestações patológicas de duas obras que fizeram uso do sistema construtivo paredes de concreto moldadas *in loco*. Além disso, foi feito o levantamento das causas das anomalias, com os diagnósticos e a proposição de possíveis tratamentos.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram realizados estudos de caso em duas obras, denominadas Obra A e Obra B, ambas pertencentes ao Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV). Os empreendimentos consistem em condomínios residenciais multifamiliares com 4 pavimentos e 4 apartamentos por andar cada. A Obra B teve início após o término da Obra A, tendo grande parte da mão-de-obra sido mobilizada de uma para a outra. O Quadro 1 resume as principais características das obras analisadas.

Quadro 1. Características gerais das Obras A e B.

Detalhes Técnicos	Obra A	Obra B
Número de Unidades	288	144
Método Construtivo	Parede de Concreto	Parede de Concreto
Prazo de Obra	15 meses	16 meses
Status da Obra (Janeiro/2021)	Finalizada	80%
Área Construída	28.948 m ²	23.115 m ²
Área por Unidade	42,48 m ²	45,46 m ²
Forma Utilizada	Forma monolítica tipo vagão (produtividade de 2 apartamentos por dia). Forma utilizada pela primeira vez.	Forma monolítica tipo vagão (produtividade de 2 apartamentos por dia). Uma parte era forma utilizada pela primeira vez e a outra parte foi reaproveitada da Obra A.

O concreto especificado para ambas as obras apresenta resistência à compressão (f_{ck}) igual a 25MPa, *Slump* de 22 ± 3 cm, fator água/cimento ≤ 60 e adição de fibras ≥ 300 gramas/m³. Os traços do concreto das Obras A e B são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Traço do concreto utilizado na Obra A.

Componentes	Insumos	Peso/m ³
Cimento	CPV ARI RS	320 kg
Agregado Miúdo I	Areia Natural Rio Fina	305 kg
Agregado Miúdo II	Areia Artificial Calcário Média	742 kg
Agregado Graúdo	Brita 0 Gnaisse	800 kg
Aditivo I	Polifuncional	1,20 kg
Aditivo II	Mid Range	1,5 kg
Aditivo III	Inibidor de Hidratação	0,350 kg
Água	-	190 l

Tabela 2. Traço do concreto utilizado na Obra B.

Componentes	Insumos	Peso/m ³
Cimento	CPV ARI	330 kg
Agregado Miúdo I	Areia Natural Rio Fina	548 kg
Agregado Miúdo II	Areia Artificial Calcário Média	548 kg
Agregado Graúdo	Brita 0 Gnaisse	748 kg
Aditivo	Viscoflow 35 SIKA Superplastificante	4,28 kg
Água	-	198 l

2.1 Coleta e Análise dos Dados

Os dados foram coletados *in loco* durante o período de execução das obras. Diversos documentos como fotos, vídeos e documentos técnicos (fichas de Verificação de Serviço, laudos de Rompimento de Concreto e Instrução de Serviços) foram analisados para coleta de informações. Em seguida, aplicou-se a metodologia apresentada no fluxograma da Figura 1 para o desenvolvimento do trabalho.

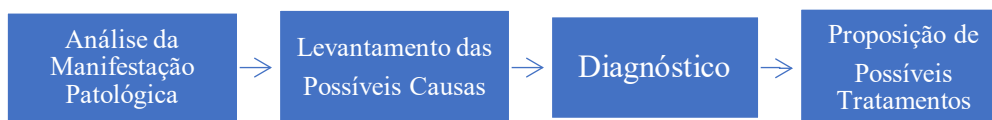


Figura 1. Metodologia de Análise das Manifestações Patológicas verificadas nos sistemas de paredes de concreto moldadas *in loco* nas Obras A e B.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após análise detalhada das duas obras, foram identificadas as seguintes anomalias: descolamento de peças cerâmicas, fissuras no concreto das paredes e lajes, segregação do concreto e vazios de concretagem e espessura insuficiente do cobrimento das armaduras. Cada uma delas será detalhada nos subtópicos seguintes.

3.1 Descolamento de Revestimento Cerâmico

Durante a etapa de *check list* foram observados descolamento do revestimento cerâmico dos pisos e de paredes na Obra A. Foram realizados ensaios de percussão nos pisos e nas paredes revestidos de sete blocos aleatórios desta Obra, cujos resultados são apresentados nas Figuras 2 e 3. Nota-se que o Bloco 3 apresentou um maior número de peças cerâmicas soltas. Neste sentido, é importante comentar que este Bloco possuía estrutura diferente dos demais, sendo formado por apartamentos para pessoas com deficiência (PCD). Portanto, neste Bloco os ciclos de concretagem atrasaram e os serviços de acabamento foram realizados considerando-se um tempo de cura menor (cerca de 3 dias), tanto do concreto dos elementos estruturais, como da impermeabilização.

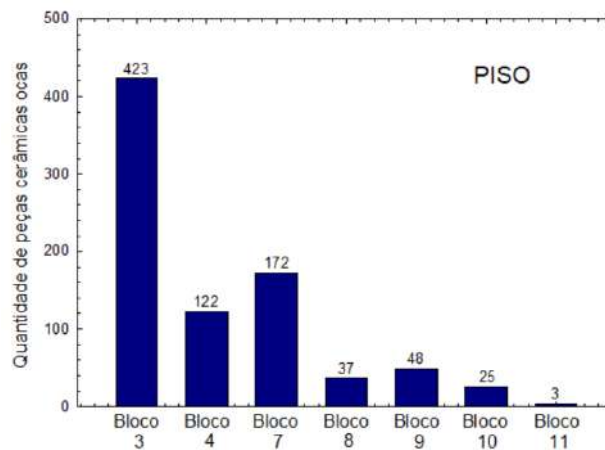


Figura 2. Total de peças cerâmicas descoladas em áreas de piso de sete blocos diferentes e aleatórios da Obra A.

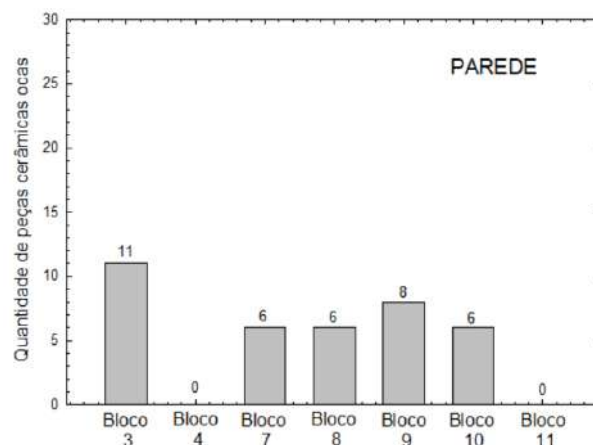


Figura 3. Total de peças cerâmicas descoladas em áreas de parede de sete blocos diferentes e aleatórios da Obra A.

A partir da análise visual das peças cerâmicas soltas, concluiu-se que grande parte dos descolamentos se deu entre a argamassa polimérica (impermeabilização) e a laje, ou entre a argamassa polimérica e a argamassa colante ACII. O último caso é ilustrado pela Figura 4. Fica

evidente que a espessura da argamassa colante encontrada na obra é superior àquela especificada pela NBR 13753 (ABNT, 1996), a qual se limita entre 0,3 a 0,4mm.



Figura 4. Descolamento entre a argamassa colante ACII e a argamassa polimérica em um piso de banheiro da Obra A.

A fim de corroborar com a análise visual, foram realizados ensaios de arrancamento nas peças cerâmicas de piso e de parede da Obra A, conforme preconizado pela NBR 13528 (ABNT, 1995). Os resultados revelaram que houve ruptura entre a argamassa colante ACII e o substrato, o qual era a laje ou parede de concreto, no caso das salas; a argamassa polimérica, no caso dos banheiros e áreas de serviço; e a emulsão acústica emborrachada, no caso dos quartos. O gráfico da Figura 5 mostra os valores de resistência à tração dos ensaios de arrancamento realizados nos diferentes substratos. Nota-se que apenas o revestimento cerâmico assentado sobre o substrato de concreto, localizado nas paredes e pisos das salas, apresentou resistência à tração acima da mínima prevista pela NBR 14081 (ABNT, 2005), a qual é de 0,50 MPa e está representada no gráfico pela linha vermelha. Neste caso, o revestimento em questão alcançou resistência de 0,57 MPa, contra 0,19 MPa do revestimento assentado sobre argamassa polimérica, localizado nos banheiros e áreas de serviço, e 0,22 MPa daquele assentado sobre emulsão acústica emborrachada, localizado nos quartos.

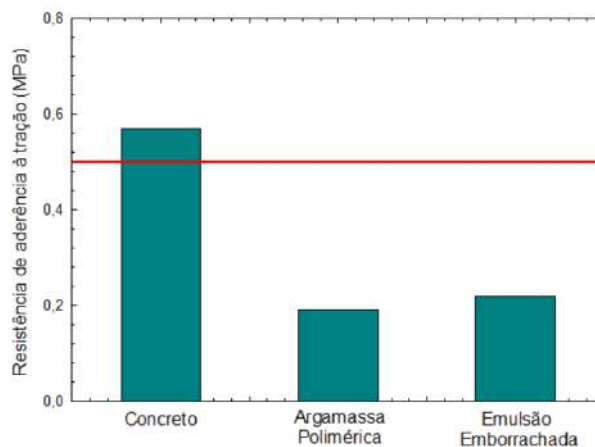


Figura 5. Resistência média de aderência à tração entre a argamassa colante AC-II e os três substratos distintos.

3.1.1 Causas

As prováveis causas do descolamento das peças cerâmicas na Obra A são: o excesso de argamassa colante utilizado no assentamento, com a equivocada finalidade de regularizar a superfície do substrato; a cura insuficiente do concreto e da argamassa polimérica, esta última no caso de áreas molháveis; e a limpeza inadequada do substrato que receberia o revestimento, neste caso, a impermeabilização e a proteção acústica. A presença de sujeira, constatada nas superfícies de ambos os substratos, prejudicou a aderência da argamassa colante.

3.1.2 Diagnóstico

O descolamento cerâmico é considerado uma anomalia de grau crítico, pois oferece risco à segurança dos usuários, além de interferir na estética do meio ambiente. A ausência da placa cerâmica comprometerá, ainda, a estanqueidade dos ambientes molháveis.

3.1.3 Tratamento

O tratamento indicado para a Obra A inclui a realização de ensaios de percussão em todos os blocos do empreendimento, a fim de mapear as cerâmicas ocas. Uma vez identificadas, tais peças devem ser removidas, prosseguindo-se à correta limpeza do substrato. A limpeza consiste em dois processos: remoção e lavagem. Para remover as impurezas, pulverulência, eflorescências e mofo usam-se uma broxa ou escova de fio de aço e em seguida faz-se a lavagem com água pressurizada ou mangueira. Posteriormente, deve ser feito o assentamento da peça cerâmica, respeitando-se a espessura de argamassa colante prevista por norma, entre 0,3 e 0,4 mm e realizando-se a dupla colagem, quando do caso de peças com dimensões superiores a 30x30 cm. Por ter sido executada posteriormente à Obra A, a Obra B contou com um rigoroso controle de execução, com cura adequada do substrato e regularização de sua superfície, além de limpeza profunda deste substrato e controle da espessura de assentamento. Transcorridos 28 dias de cura da argamassa colante, realizou-se o ensaio de percussão em três blocos da obra B. Constatou-se que nenhuma peça cerâmica se encontrava solta.

3.2 Fissuras no Concreto das Paredes e Lajes

Em ambas as obras, os elementos estruturais paredes e lajes apresentaram fissuras superficiais. As anomalias apresentavam abertura inferior a 0,4 mm, sendo observadas em cantos de parede, em cantos de janelas e em grandes panos de parede, sobretudo nos apartamentos do 1º pavimento. A Figura 6 apresenta exemplos de fissuras encontradas nas paredes da Obra A.

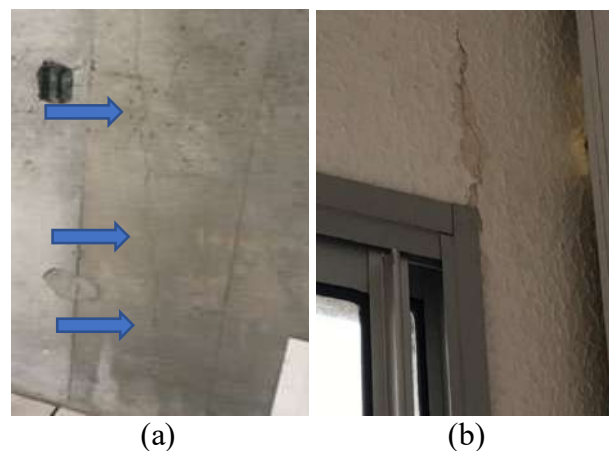


Figura 6. Fissura ao longo da extensão de parede de concreto (a) e fissura no canto superior de janela de parede de concreto (b), ambas na Obra A.

Além das fissuras citadas na Figura 6, foram observadas, ainda, fissuras com o formato de mapas em algumas lajes de ambas as obras, de maneira especial em lajes concretadas em dias muito quentes. A Figura 7 ilustra tal anomalia verificada na Obra B.



Figura 7. Fissuração mapeada verificada em lajes da Obra B.

3.2.1 Causas

As prováveis causas da fissuração de paredes e lajes são a retração térmica e hidráulica. A retração térmica assume valores elevados nas primeiras idades do concreto, o que explica o fato destas fissuras terem sido observadas nos primeiros dias após a concretagem (Gonçalves, 2015). A retração hidráulica se dá devido à redução do volume do concreto, à medida em que o processo de hidratação avança e parte da água evapora (Recena e Antônio, 2014). As fissuras assim formadas apresentam aspecto característico de “mapas”, conforme observado na Figura 7. Verificou-se que, em ambas as obras analisadas, tal retração e fissuração foram mais acentuadas, devido à cura insuficiente dos elementos estruturais. Além disso, a parede de concreto trabalha como um sistema monolítico, de modo que as forças de tração atuam de maneira desigual no elemento quando da presença de vãos (portas e janelas), o que comumente leva à formação de fissuras nas regiões de cantos, os quais concentram boa parte das tensões (Carmona, 2013).

A análise detalhada do projeto estrutural da Obra B revelou a inexistência de armaduras de reforço nos cantos de janela, sendo este um fator crítico para o aparecimento das fissuras. Deste modo, o projeto não observou o prescrito na NBR 16055 (ABNT, 2012), a respeito do uso de armaduras de reforço em aberturas e quinas. Por outro lado, o projeto estrutural da Obra A, que contemplava reforços nos cantos de janelas, também apresentou fissuras nestes locais, porém em menor quantidade que a obra B. Neste último caso, o posicionamento incorreto desses reforços foi o ponto crítico para o aparecimento das fissuras.

A causa das fissuras verticais ao longo da extensão de algumas paredes foram causados por eletrodutos instalados em seu interior e o fato destes elementos estruturais terem sido executados com cobrimento insuficiente.

3.2.2 Diagnóstico

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), o limite máximo de abertura de fissura em estruturas de concreto expostas a ambiente agressivo Urbano (classe II), é 0,3 mm. Deste modo, as fissuras verticais nas paredes, de cantos de janela ou lajes devem ser tratadas superficialmente, a fim de

garantir a manutenção da vida útil dos elementos de concreto, protegendo as armaduras de processos corrosivos.

3.2.3 Tratamento

As fissuras devem ser abertas a uma largura e profundidade de 5 mm, com o uso de serra circular ou equipamento similar; em seguida, devem ser preenchidas com selante, o qual é injetado com bico próprio; aplica-se, então, uma demão cheia de impermeabilizante, com o auxílio de um pincel 4", sem diluições; coloca-se, então, uma tela de poliéster com largura de 10 cm, a qual deve ser bem esticada sobre a fissura; após a secagem do produto, aplica-se a segunda demão de impermeabilizante, de modo que a tela seja completamente envolvida por ele. A Figura 8 apresenta o aspecto de uma fissura tratada.



Figura 8. Tratamento de fissura de parede de concreto na Obra A com aplicação de selante, impermeabilizante e tela de poliéster.

3.3 Segregação do Concreto e Vazios de Concretagem

Tanto na Obra A quanto na Obra B foi verificada segregação do concreto em diferentes pontos dos elementos de paredes de concreto, conforme observado na Figura 9. Além destas, evidenciou-se, em ambas as obras, a presença de vazios de concretagem, sobretudo na região inferior das janelas, com nichos no formato de V (Figura 10a). A situação mais crítica ocorreu na Obra B, na qual, durante a desforma de uma parede de divisa, notou-se que grande parte do elemento não havia sido concretada, originando um grande nicho de concretagem (Figura 10b).



(a) (b)
 Figura 9. Segregação do concreto de parede na região do vão de porta (a) e no topo de parede (b) na Obra B.



(a) (b)
 Figura 10. Nicho de concretagem em formato V sob vão de janela em parede de concreto na Obra A (a) e grande falha de concretagem na parte superior de parede na Obra B (b).

3.3.1 Causas

As causas da segregação e dos vazios de concretagem estão relacionadas ao transporte e lançamento do concreto (Bellei, 2015; Careli e Tcath, 2017). Tanto na Obra A quanto na Obra B foi necessário, em algumas situações, posicionar a bomba lança a uma altura superior a 2 m, o que aumentou as chances de segregação. Esta altura de lançamento foi utilizada devido às dificuldades de acesso a alguns locais no momento da concretagem. De acordo com Aoki (2007), a altura de concretagem influencia no surgimento de vazios, uma vez que os materiais que compõem o concreto possuem diferentes massas específicas e tendem a se separar quando em queda livre. Deste modo, Fonseca Jr. (2008) complementa que não se deve lançar o concreto a uma altura superior a 2 m.

Outro ponto diz respeito ao *Slump* do concreto no momento de seu lançamento. As especificações de projeto previam um concreto com *Slump* de 22 ± 3 cm. Para melhorar a trabalhabilidade, foi acordado, entre projetistas e executores, realizar o aumento do *Slump* para 25 ± 3 cm. Porém, em alguns casos, ocorreram erros de dosagem, de modo que o concreto chegou à obra com *Slump* de 22 cm. Em outros casos, verificou-se que o *Slump* de 25 cm era reduzido pouco tempo após o início da concretagem. Um exemplo disto foi um concreto cujo *Slump* inicial era de 27 cm, tendo sido reduzido para 23 cm após 5 min do começo da concretagem. Por este motivo, tais concretos foram equivocadamente vibrados, o que culminou no surgimento de nichos de concretagem. Somando-se a isso, verificou-se a ocorrência de problemas mecânicos na bomba de lançamento. Assim, a frequente interrupção da concretagem para realização de manutenção na bomba modificava o *Slump* inicial, reduzindo-o e comprometendo a trabalhabilidade da mistura.

3.3.2 Diagnóstico

As manifestações patológicas de segregação do concreto e vazios de concretagem podem ser consideradas críticas, uma vez que, dependendo da profundidade da segregação e da extensão do vazio, há evidente redução da resistência mecânica do elemento estrutural. Além disso, conforme observado na Figura 10, há clara exposição das armaduras, o que levará a um processo de

corrosão precoce, comprometendo a resistência e a durabilidade da parede. Por isso, faz-se corrigir estas anomalias o quanto antes.

3.3.3 Tratamento

Para tratar os vazios de concretagem e a segregação do concreto, faz-se necessário avaliar, primeiro, sua gravidade. Vazios com cavidades até 3 cm são considerados pequenos. Nestes casos, procede-se à escarificação do local e remoção do concreto segregado, seguida de recomposição do local com o mesmo concreto utilizado na concretagem das paredes ou com graute de mesma resistência. No caso de grandes vazios de concretagem, como o da parede da Figura 10b, cuja resistência mecânica foi gravemente prejudicada, faz-se necessário demolir e refazer a peça.

3.4 Espessura Insuficiente de Cobrimento das Armaduras

Em ambas as obras foram constatadas falha na espessura de cobertura das armaduras, sobretudo no que diz respeito à tela utilizada na laje e nas paredes, nos pontos de travamento das instalações elétricas e hidráulicas. Tais falhas se tornaram evidentes, podendo ser observadas na parte externa dos elementos estruturais, conforme observado na Figura 11.

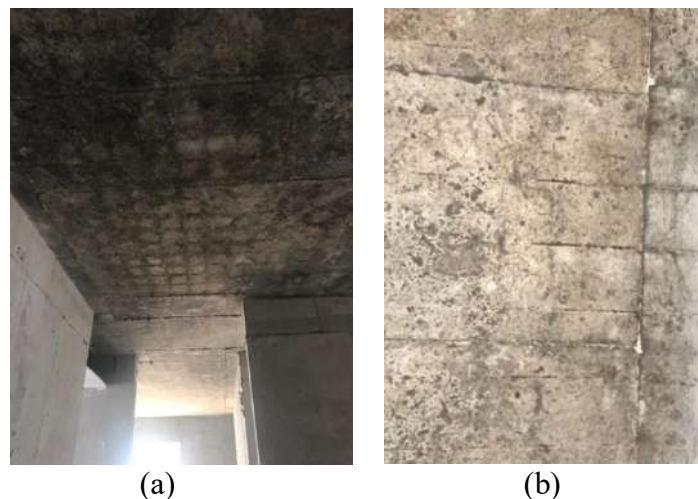


Figura 11. Cobrimento insuficiente das armaduras no fundo de laje (a) e em parede (b) da Obra A.

3.4.1 Causas

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define os cobrimentos mínimos das armaduras de acordo com a classe de agressividade do meio em que elas se encontram. Ambos os empreendimentos se enquadram na classe de agressividade II, ambiente urbano, cujo cobrimento mínimo dos elementos estruturais é 2 cm.

Nas lajes de ambas as obras foram utilizados espaçadores de 2 cm de altura para armação positiva e de 8 cm para a armação negativa. Para o cobrimento das paredes, considerando que a estrutura faz uso de telas, foram introduzidos espaçadores circulares nos eixos das paredes, com diâmetro igual à largura da parede, isto é, 10 cm.

Entretanto, a análise *in loco* revelou que, nas duas obras, a quantidade de espaçadores definida nem sempre foi atendida, criando pontos de contato entre a armação e a forma da laje. Além

disso, o processo de montagem da armação da laje foi feito simultaneamente à instalação dos eletrodutos e dos passantes na laje, a partir da seguinte ordem: instalação da armação negativa, instalação dos eletrodutos e caixas embutidas, posicionamento dos passantes, e instalação da armação positiva. Devido ao processo de montagem, o fluxo de pessoas sobre a armação positiva causou o deslocamento e a quebra de vários espaçadores, os quais não foram substituídos. Além disso, durante o processo de concretagem, o mesmo aconteceu com os espaçadores da armação negativa, uma vez que havia circulação da equipe de concretagem sobre a armação concluída. A armação utilizada para travamento das caixas elétricas não respeitou o cobrimento mínimo definido, uma vez que foram posicionadas próximas à superfície da parede.

3.4.2 Diagnóstico

O cobrimento é a proteção física da armadura e, quando executado com espessura insuficiente, pode comprometer a durabilidade das peças estruturais, expondo as armaduras a um processo de corrosão precoce. Com o tempo, a corrosão das armaduras comprometerá a resistência mecânica dos elementos. Deste modo, a manifestação patológica é considerada crítica, devendo ser reparada.

3.4.3 Tratamento

Para o tratamento, propõem-se retirar o concreto de cobrimento, verificando a existência de possíveis pontos de corrosão das armaduras. Naquelas em que já for possível observar um processo precoce de corrosão, prosseguir à completa limpeza das barras com lixa ou escova de aço, removendo-se, para isto, cerca de 2 cm do concreto situado ao redor delas. Em seguida, realizar a passivação das armaduras, por meio da aplicação de produtos à base de zinco e/ou cimentícios. Fazer, então, ponte de aderência cimentícia ou epoxídica e fechar o elemento com graute, utilizando-se fôrmas, a fim de garantir uma espessura adequada de cobrimento (SOUZA e RIPPER, 1998; MARQUES, 2015).

3.5 Análise dos Resultados

A Tabela 3 apresenta um resumo das manifestações patológicas encontradas nas Obras A e B, tal como sua fonte originária. Nota-se que a principal origem das anomalias foi à etapa de execução, seguida por falhas nos materiais utilizados e no projeto.

Tabela 3. Análise das Principais Manifestações Patológicas nas Obras A e B.

Manifestação Patológica	Ocorrência na Obra A	Ocorrência na Obra B	Causas
Descolamento Cerâmico			Execução
Fissuras em Cantos de Janelas, na Extensão das Paredes e nas Lajes			Projeto e Execução
Segregação de Concreto			Execução e Material
Vazios de Concretagem			Execução e Material
Falha no Cobrimento da Armadura			Execução



Dentre as manifestações patológicas identificadas e analisadas no estudo, somente o descolamento cerâmico foi mitigado na Obra B. Neste sentido, a avaliação dos serviços preliminares, o treinamento da equipe de obra e a fiscalização do serviço foram fundamentais para prevenir as anomalias.

Com respeito à fissuração, constatou-se que a ausência de previsão de reforço nos cantos das paredes no projeto da Obra B culminou num maior número de fissuras que na Obra A. Neste sentido, conclui-se que houve um erro de projeto na Obra B, o qual não foi questionado pela equipe executora. Por sua vez, na Obra A foram constatadas falhas no treinamento da equipe de obra e na fiscalização do serviço, uma vez que, em alguns casos, a armadura de reforço foi posicionada de maneira incorreta. As fissuras verticais, observadas de maneira especial na Obra A, levantam questões a respeito da necessidade de compatibilidade entre os projetos estruturais, arquitetônicos e de instalações, de maneira a prever reforços em paredes de grande comprimento que possuam muitos eletrodutos embutidos. Tais reforços se mostram particularmente importantes nos pavimentos inferiores, nos quais a intensidade das cargas de compressão atuantes é maior (Machado e Filho, 2015). Por fim, as fissuras verificadas nas lajes ressaltam a importância de se realizar um processo de cura adequado, sobretudo em concretagens realizadas em dias muito quentes.

A segregação do concreto e os vazios de concretagem são falhas conjuntas da execução e do material utilizado. Os erros de dosagem do concreto, combinados às interrupções da concretagem devido a problemas com a bomba, e equivocadamente contornados pela adição de água, denunciam uma grande falta de controle tecnológico na etapa de concretagem. O lançamento do concreto a alturas superiores a 2m também contribui para a segregação do material e com a formação de nichos de concretagem. Deste modo, reforça-se a necessidade de se aplicar programas de treinamento mais rigorosos à equipe de obra, dos quais pode depender a qualidade final dos elementos concretados.

A espessura insuficiente do cobrimento das armaduras também é resultado de falhas na execução. Neste caso, muitos espaçadores foram quebrados ou deslocados pela mão-de-obra durante a realização dos demais serviços, não tendo sido repostos. Novamente, o treinamento rigoroso da mão-de-obra de mostra fundamental para evitar futuras manifestações patológicas.

Entende-se que, mesmo manifestações patológicas com baixo risco à segurança estrutural causam retrabalhos e prejuízos financeiros à empresa. Dessa forma, em obras com o sistema de paredes de concreto, se faz necessária uma melhor gestão de projetos do empreendimento previamente à execução dos serviços, escolhendo de forma mais assertiva os fornecedores e compatibilizando os projetos. Por fim, o treinamento da mão de obra, tanto da equipe de montagem quanto dos responsáveis pela conferência do serviço, é de suma importância para a diminuição da incidência dessas manifestações patológicas.

4. CONCLUSÕES

O sistema construtivo de paredes de concreto proporciona alta produtividade à obra, otimizando tempo e custos na construção civil. Entretanto, com base nos estudos de caso realizados nas Obras

A e B, percebe-se que o método pode estar sujeito a gargalos, os quais podem comprometer a qualidade do produto final.

Grande parte das falhas construtivas está relacionada à etapa de execução, o que evidencia a necessidade que tal sistema apresenta de um treinamento rigoroso e eficaz da mão-de-obra, aliado a uma contínua fiscalização dos serviços. Outro ponto importante diz respeito à logística da concretagem, cujas etapas devem ser previamente planejadas e interconectadas, sendo necessária a participação síncrona dos diferentes agentes, desde os fornecedores das concreteiras à equipe de recebimento do concreto e à equipe de concretagem.

Por fim, tal como foi feito com o descolamento cerâmico, presente na Obra A e mitigado na Obra B, estimula-se a realização de fiscalizações que visem proporcionar aprendizado e melhorias, a fim de que os erros cometidos no passado não se repitam no futuro.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e das agências de fomento CNPq, CAPES e FAPEMIG.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Cimento Portland. (2008), “*Parede de Concreto - Coletânea de Ativos*”. São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *NBR 16055: Paredes de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações – Requisitos e Procedimentos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). *NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1996). *NBR 13753. Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). *NBR 13528. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 14081. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Requisitos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro.

Aoki, J. *Proteja o seu concreto*. Massa Cinzenta, Curitiba. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/proteja-seu-concreto-3/>>. Acesso em: 22 mai. 2021.

Bellei, E. (2015), “*Influência do uso de adição do fino de areia de descarte de fundição (ADF) no controle de exsudação e segregação de concretos autoadensáveis*”, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 108 f.

Braguim, T. C., Bittencourt, T. N. (2014), Dimensionamento de paredes de concreto armado moldadas no local para a máxima tensão normal de compressão. *IBRACON de Estruturas e Materiais*. 7(3):498-533.

- Carelli, J., Tcatch, R. (2017). “*Avaliação da influência da altura de lançamento do concreto na sua resistência à compressão*”, Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Joaçaba, v. 2. ISSN 2625-4665.
- Carmona, T. G., Carmona, A. F. (2013). “*Fissuração nas estruturas de concreto*”, Boletín Técnico, Congreso ALCONPAT Internacional, Mérida: CDMX (MÉXICO), p. 18.
- Corrêa, J. M. (2012) “*Considerações sobre projeto e execução de edifícios em paredes de concreto moldados in loco*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos.
- Dornelles, K. A., Oliveira, L. S. (2012) “*Sistema construtivo em paredes de concreto moldadas no local*” Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- Fonseca Júnior, A. (2008) “*Paredes de concreto no cenário atual da construção civil*”, Concrete Show 2009, São Paulo.
- Gonçalves, E. A. B. (2015), “*Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações*”, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 174.
- Marques, V. S. (2015), “*Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo*”, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 104.
- Missurelli H., Massuda C. (2009), “*Como construir Paredes de Concreto*”, *Revista Técnica*. 147, (17):74-80.
- Monge, R. (coord.) (2013) “*Coletânea de Ativos Parede de Concreto 2011/2013*”. Disponível em: https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2020/08/Coletanea_PC2013.pdf
- Recena, P., Antonio, F. (2014), “*Retração do Concreto*”. 1 ed. Porto Alegre: Editora Universitária da PUCRS.
- Souza, V. C. M., Ripper, T. (1998), “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*”. 1 ed. São Paulo: Pini.

Pathological manifestations from the presence of moisture in buildings: Maintenance proposal

Rita de Cássia Teixeira Assis^{1*}; Julie Catherine Siqueira Santana²; Kariny Ferreira Moreira²;
Richard de Paula Silva²

*Contact author: rita.assis@engenharia.uff.br

¹ Civil Engineer, Teacher at Faculdade Vértix Trirriense, Master's student in Built Environment at the Federal University of Juiz Fora, Juiz de Fora, Brazil.

² Graduating in Civil Engineering from Faculdade Vértix Trirriense, Três Rios, Brazil.

ABSTRACT

In view of the lack of attention given to maintenance activities, this article aims to analyze the pathological manifestations arising from the presence of moisture in buildings, as well as presenting maintenance procedures that can be adopted, to minimize the anomalies presented in housing developments. For this, a literature review was carried out, associated with a case study in the city of Três Rios / RJ, which through a photographic report, allowed to map the most frequent occurrences, especially in concrete structures, sealing masonry, and coatings. The results showed that most of the pathological manifestations identified are due to the lack of an adequate waterproofing design or poor maintenance. Proper planning of maintenance activities is essential to ensure the durability and fulfillment of the building's useful life. It is expected, with this study, to highlight the importance of projects, technical monitoring during the execution of works, and even regular inspections, which is fundamental for the safety and quality of life of users.

Key words: Pathology, Building maintenance, Moisture

RESUMO

Tendo em vista a falta de atenção dada às atividades de manutenção, esse artigo tem como objetivo analisar as manifestações patológicas provenientes da presença de umidade em edificações, bem como apresentar procedimentos de manutenção que podem ser adotados, para minimizar as anomalias apresentadas nos empreendimentos habitacionais. Para isso, uma revisão de literatura foi realizada, associada a um estudo de caso na cidade de Três Rios/RJ, que através de um relatório fotográfico, permitiu mapear as ocorrências mais frequentes, especialmente em estruturas de concreto, alvenaria de vedação e revestimentos. Os resultados mostraram que a maioria das manifestações patológicas identificadas são oriundas da falta de um projeto adequado de impermeabilização ou manutenções deficientes. O planejamento adequado das atividades de manutenção é essencial para garantir a durabilidade e o cumprimento da vida útil das edificações. Espera-se, com esse estudo, destacar a importância dos projetos, do acompanhamento técnico

durante a execução de obras e ainda das inspeções regulares, fundamental para a segurança e qualidade de vida dos usuários.

Palavras-chave: Patologia; Manutenção predial; Umidade.

RESUMEN

Ante la falta de atención a las actividades de mantenimiento, este artículo tiene como objetivo analizar las manifestaciones patológicas derivadas de la presencia de humedad en las edificaciones, así como presentar los procedimientos de mantenimiento que se pueden adoptar, para minimizar las anomalías que se presentan en los desarrollos habitacionales. Para ello, se realizó una revisión de la literatura, asociada a un estudio de caso en la ciudad de Três Rios / RJ, que, a través de un reportaje fotográfico, permitió mapear las ocurrencias más frecuentes, especialmente en estructuras de hormigón, mampostería de sellado y revestimientos. Los resultados mostraron que la mayoría de las manifestaciones patológicas identificadas se deben a la falta de un diseño de impermeabilización adecuado o al mal mantenimiento. Una adecuada planificación de las actividades de mantenimiento es fundamental para garantizar la durabilidad y el cumplimiento de la vida útil del edificio. Se espera, con este estudio, resaltar la importancia de los proyectos, el seguimiento técnico durante la ejecución de las obras e incluso las inspecciones periódicas, lo cual es fundamental para la seguridad y calidad de vida de los usuarios.

Palabras clave: Patología, Mantenimiento del edificio, Humedad

1. INTRODUCTION

The action of water has a significant effect, often negative, when analyzing the durability of buildings, as it can cause damage or trigger many of the existing traditional pathological manifestations (ROCHA *et al.*, 2018).

The study of constructive failures, defined as the pathology of constructions, is an experimental science of a multidisciplinary character, not limited to cases of quality problems of the materials used or the quality of construction performance, but they are also consequences of deficiency or absence of documentation involved, such as design flaws and omissions in engineering projects, descriptive memorials, and user manuals (SANTOS e PENTEADO NETO, 2020).

Tales studies, Oliveira and Ruppenthal (2017) They emphasize that investments in the construction phase of a building are essential so that in the future the costs in maintenance and habitability are lower.

Throughout the useful life of buildings, it is expected that they will suffer some type of degradation. According to Danco, Haddad, and Evangelista (2016), through the use of good quality materials during the work, it is possible to avoid losses of materials due to defects, avoid repairs and early maintenance. With this, in addition to increasing the useful life, the environmental impacts generated are reduced, since it is not necessary to produce new materials for their replacement.

Although there are several benefits from preventive maintenance, according to Amorim *et al.* (2013), corrective maintenance still prevails, occurring due to absence or deficiency in the schedules of other maintenance and generating higher functional and financial costs. In addition, to ensure the efficiency of maintenance, it is important to have teams with qualified professionals

to carry out these activities. A possible and efficient solution for this is to deliver these tasks to third-party companies specialized in the subject.

Thus, this work seeks to investigate the pathological manifestations resulting from the presence of humidity, in residential buildings analyzed in the city of Três Rios / RJ. Specific objectives include: (a) Mapping recurrent anomalies; (b) Identify the design and/or execution deficiencies that caused such pathological manifestations, and (c) Suggest maintenance alternatives solve the problems raised.

It is intended, with this research, to contribute to the quality of housing buildings, in addition to highlighting the importance of carrying out maintenance activities for the conservation of buildings and their systems.

2. THEORETICAL FOUNDATION

2.1. The origin of the studies of pathology

According to Vieira (2016), the anticipated set of deterioration in which a building is exposed causes different damages to buildings. Caused by several reasons, such as natural aging, irresponsibility, and occupational accidents that use questionable materials, among others. With this previous deterioration of buildings, the need arose to create a new field within engineering — building pathology, in order to study this problem scientifically, portraying its behavior, its origins, its symptoms, and its causative agents.

Pathological problems are common within the life of a civil engineer, especially those related to humidity. Moisture in buildings is one of the most difficult aspects to be resolved or treated within civil construction. Not only because of the complexity of the phenomena but also because of all the construction flaws, such as waterproofing. It is common for this problem to be associated with others, which makes treatment even more difficult. The presence of any type of moisture described above can cause various pathological manifestations in the structures.

2.2. Pathological manifestations and their consequences

The episode of pathological problems in buildings causes a reduction in their useful life, which is directly linked to the performance of the materials and components present in the building. Pathological problems exhibit external manifestations with certain peculiarities, and through this characteristic, it is possible to deduce which origin, nature, and mechanisms of the phenomena involved, in the same way, that its possible consequences can be estimated. Problems such as those mentioned are of an evolutionary nature, that is, they tend to worsen over time. (HELENE, 1992). According to the text by Souza and Rieper (1998), the difficulty in recovering from failures even in the initial period of the work makes the work considerably more expensive. Thus, when taking costs into account, the greater the evolution of the work, the closer to the end the greater the costs of repairing and recovering from failures. With this, Helene (1992) also states that: “the corrections will be more durable, more effective, easier to perform and much cheaper the sooner they are performed”.

In general, pathological problems are of an evolutionary nature and tend to increase their degree of complexity, which may end up causing other problems arising from the initial situation. With that, it can be said that the corrections will be more durable, easy to execute, and cheaper the sooner they are executed. This thinking has as its segment the “Law of Sitter”, which

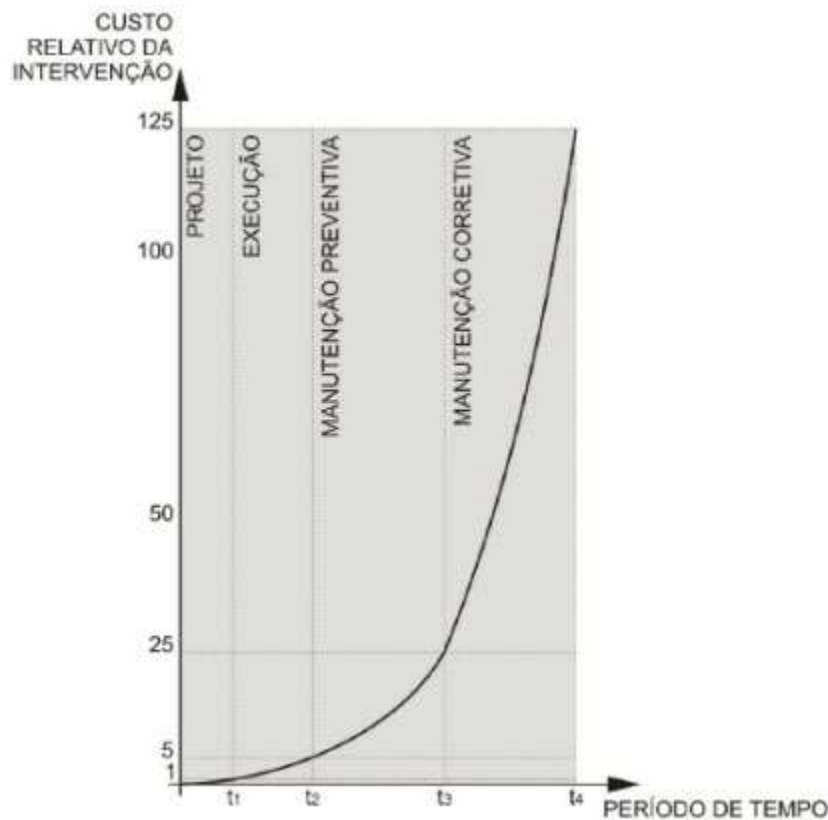


Figure 1- Cost evolution law (Sitter,1984)
Source: CEB RILEM (adapted Helene, 2003, p. 27)

Figure 1 shows through the graph that there is an exponential increase in cost in relation to the solution time. When observing the axes and phases of the work, it is clear what HACKBARTH (2006) states, that the later the correction is made, the higher the cost. Thus, demonstrating the importance of perceiving problems at the project stage.

However, the problems are not only limited to costs, these defects generate serious problems and complicated solutions. Examples of this situation: Damage to the building's functional character, users' discomfort, and in extreme cases they can affect the health of residents with respiratory diseases. Damage to property that is present inside buildings.

Following Verçosa's (1991) thought, humidity is not only a cause of pathology, it acts as a trigger for other pathologies to occur in buildings. It is a prime fuse for the appearance of rust, mold, mold, efflorescence, mold, loss of plaster, damage to the finish, as in painting, and even the cause of structural accidents.

According to Macedo (2017), the lack of maintenance or inadequate maintenance, causes the appearance of pathologies, causing undesirable performance, high recovery costs, and can generate risk to the lives of the inhabitants.

2.3. The maintenance of situation as a form of prevention

The quality of human life suffers a great influence when related to the built space where it is inserted. Thus, it is important that all buildings have conditions suitable for the use for which it is

intended, resisting the use and the weather itself. However, maintenance activities are still seen as a financial problem and do not have a priority when it comes to execution, while the correct thing would be to adapt it as a type of investment since it is possible to delay aging and add value to the final product (CREA-DF, 2014).

Building maintenance goes beyond aesthetics. Social, economic, legal, environmental, and technical issues are variables involved in the process itself. In first-world countries, keeping the built space in good condition is a cultural issue. Building inspection services, for example, are carried out naturally, which clearly shows the consolidation and importance of this activity in countries (NEVES e BRANCO,2009).

With all this, innumerable questions are asked in Brazil and put, in theory, our culture regarding building maintenance. Many studies claim that we are still a long way from the reality of the “first world” and that there is a huge gap when it comes to preventive maintenance.

The practice of Brazilian Maintenance, currently, is focused on repairing what is broken, without the availability of resources necessary for the implementation of a specific activity plan for each enterprise, which should consider some fundamental points for the success of the maintenance program, which are: elapsed life of the facilities, types, and frequencies of use, hours of operation of machines and equipment, 14 operational and performance losses (PUJADAS, 2006).

Thus, the importance of maintenance for the different types of assets is undeniable. It is not feasible to maintain a building without maintenance interventions for a fixed period. The guarantee of longer useful life and with a considerable level of satisfaction can only be dealt with mainly taking into account functional and structural performance if it is subjected to adequate maintenance, which is done with efficient management.

Thus, it is the responsibility of the Brazilian standards to define the concept of Maintainability as:

Maintainability is the degree of ease of a system, element, or component to be maintained or returned to the state in which it can perform its required functions, under specified conditions of use, when maintenance is performed under specified conditions, procedures and prescribed means (NBR 15575/2013).

The ABNT NBR 5.674/2012 divides maintenance actions into three types: routine, preventive and corrective.

Routine maintenance: Characterized by a constant flow of services, standardized and cyclical, which can be scheduled daily, weekly, or even monthly, without affecting the users' routine. It is usually related to the conservation of the building, for which only equipment and permanent staff are needed.

Preventive maintenance: It includes services whose realization is scheduled in advance, according to the specific periodicity for each system, in order to minimize its chances of failure or degradation. It is essential, for the success of preventive maintenance, that specifications about the facilities and equipment existing in the building are available.

Corrective maintenance: Defined by services that require immediate action or intervention to allow the continued use of building systems, elements, and components, or to avoid serious risks and personal or property damage to its users. Usually, maintenance activities require the greatest technical and administrative efforts, as they are more complex.

Therefore, according to what has been exposed, it is necessary to have a broad view on the concept, definition, and execution of maintenance, the break of paradigm where that maintenance is an item that is only considered in the post-occupation or after the appearance of the consequences of not maintaining it in a technical way. It is vital that maintenance is still considered in the design phase,

as these are the steps that make it possible to change and evaluate which maintenance, reducing the need for maintenance in the post-work and reducing costs.

3. METHODOLOGY

To make it possible to add value to work and contribute to society, we first sought to contextualize work with problems that bother users from different homes. It was necessary to characterize the problem and bring real examples to it, in order to provide an applied basis with real day-to-day situations, so that later a solution could be created based on the degree of pathology, safety, and costs.

The present study is a study applied to the bibliographic review procedure, where articles researched on the platforms were used: Periodicals Capes, Scielo, and other bases referenced in this study. The Bibliographic Review is part of a research project, which explicitly reveals the universe of scientific contributions by authors on a specific topic (SANTOS e CANDELORO, 2006, p. 43).

For the elaboration of the review, existing bibliographies on the subject in question and studies related to the areas covered were used. Taking into account the studies found systems and mechanisms that aim to solve the pathologies that were found in the case studies were scored.

Theoretical references were also adopted, the Technical Norms referring to the theme, graduation work, graduate and master's theses. The use of presentations at congresses and finally, technical information materials from the civil construction area such as CREA. Through the bibliographic review, information can be obtained about the humidity in the buildings and what changes they can make to the building elements and the materials that constitute them.

As the second stage of this research, a case study was carried out in the city of Três Rios (RJ), where several homes with pathological problems due to humidity were analyzed, with the objective of carrying out an assessment and pointing out solutions for such cases. The study information was collected from interviews and technical visits with the monitoring of an engineering company in the city of Três Rios. With the separate information, with the photographs were taken on the spot, an action plan for the maintenance of the aforementioned locations was drawn up, with proposals for improvements, using the bibliographic review to which we had access as a basis.

During the inspection, we sought to identify only the pathological manifestations caused by moisture, especially in concrete structures, sealing masonry, and coatings.

4. RESULTS AND ANALYSIS

4.1 Pathologies in Concrete Structures

As the object of analysis and study, a structure was selected where the infiltration of the structure and the corrosion of the reinforcement were found, as shown in the figure below:



Figure 2: Structure with infiltration and corrosion of armature
Source: Authors' Collection (2021).

The average relative humidity of the city of Três Rios is normally above 70% (CLIMATE, 2021), making the environment more conducive to the carbonation of concrete and facilitating electrochemical corrosion in the reinforcement, coupled with low rainfall in the city, which increases the residence time of the electrolyte film in the structures (ALBUQUERQUE AND OTOCH, 2005), it becomes consistent that the corrosion of armatures was the most prevalent pathological manifestation in the city's buildings.

Carbonation is one of the main physical-chemical phenomena that can limit the useful life of reinforced concrete structures. By reducing the alkalinity of the concrete, it changes the chemical stability conditions of the passive reinforcement film, creating favorable conditions for the start of the corrosive process. This reduction results from the reactions between the carbon dioxide (CO₂) of the atmosphere and the cement hydration products, in the presence of moisture. As a result, there is a reduction in the pH of the concrete, originally greater than 12.5, to values around 8.5 (BAKKER, 1988, MEHTA and MONTEIRO, (2008).

Infiltration, according to Nince (1996), is mainly associated with design problems (architectural design and installations) and the lack or deficiency of maintenance.

4.2 Pathologies in sealing masonry

According to Godoy (2019), the changes generated in the construction process end up generating a greater number of construction failures and overload of the structures. The increasing demand for fast delivery means that the shoring is not used in its minimum necessary time and the wedging does not receive due attention. What generates tensions and deformations above the allowed, causing cracks and cracks in the coatings. In sealing masonry, the function of the treatment is to prevent the entry of agents that potentiate the pathological manifestations in the environment, humidity, and the aesthetic part that generates great discomfort.



Figure 3: Crack in sealing masonry
Source: Collection of authors (2021).

Cracks can occur in different ways, motives, and phases of a building, as listed by engineer Paulo Grandiski, from Ibape-SP (Brazilian Institute of Engineering Assessments and Expertise of São Paulo):

In a simplified overview, the origins of the cracks in a building can arise in the phase of architectural, structural, foundation, installations, masonry execution, the various finishing systems, and, even, in the use phase, for example. Misuse of the unit.

4.3 Pathologies in coatings

According to Jonov, Nascimento, Paula, and Silva (2013), humidity and infiltration, protagonists in these types of pathology, represent a problem that is difficult to solve and very frequent in buildings. Factors such as the age of the building, climate, materials, construction practices used, and the degree of quality control during its execution influence how much this type of anomaly occurs. Moisture can manifest itself in several ways, such as stains, mold or mildew, cracks, among others, as shown in the case below:



Figure 4: Coated wall showing moisture and seepage.
Source: Collection of authors (2021).

4.4 Maintenance proposals

As regulated by ABNT NBR 5,674 / 2012, the management of the maintenance program must consider the main characteristics of the building such as the typology, the use, its extension, among others. This maintenance is guided by guidelines that have as one of its focuses to ensure the performance expected in the project over time, mainly in order to avoid depreciation of the building.

The maintenance program mainly determines what activities will be performed, documentation, labor, among others. For the cases mentioned above, maintenance proposals based on this program will be presented below.

4.4.1 Concrete Structures

A process to be carried out before maintenance, according to Da Silva (2006), is the preparation and cleaning of the surface to be treated. The procedures to be performed according to the problem are:

- Polish;
- Washing and cleaning the surface;
- Removal of residues with the use of acidic or alkaline solutions;
- Removal of waste using water, steam, sand or compressed air;
- Manual brushing;
- Chipping;
- Saturation;
- Concrete Cutting.

Prepared the surface and with the reinforcement cleaned or replaced if necessary, the recovered area must be recomposed using the materials found on the market, such as:

- Mortar;
- Grout;
- Concrete.

4.4.2 Sealing masonry

As in the case of concrete structures, the sealing masonry must undergo cleaning and preparation of the surface, after this step the maintenance of the masonry stands out, as the materials listed below:

- Waterproof liquid blanket;
- Geotextile VP 40;
- Polyester fabric;
- Fiberglass screen.

4.4.3 Coatings

For the maintenance of coatings, you must first find out the source of the problem as it can have several sources, the main ones being:

- Slabs with poor waterproofing;
- Infiltration from rain;
- Infiltration from bucket beams and shallow foundations;
- Pipe leakage.

Once the source of the problem has been found, it is recommended to remove the infiltrated and non-infiltrated material up to 30 cm in height from the infiltration line verified on the wall, and then apply the most suitable waterproofing material for the surface to be recovered, be it:

- Ceramics;
- Porcelain;
- Cement;
- Wood;
- Stone;
- Tiles.

4. CONCLUSIONS

The implementation of the maintenance program is an extremely effective tool in reducing anomalies and pathological failures. Problems related to pathological action are present in all phases of the life of a building, it is up to the technician to conclude which prevention is the best solution for the case. Correcting errors even during the project is paramount.

Of the failures and anomalies found during the inspections carried out, about 85% are caused by the lack of an adequate waterproofing project or originated from maintenance carried out in an erroneous manner. The implementation of a waterproofing system or technical monitoring in the design stage prevents expenses and above all manages to adapt the type of maintenance of the problems presented. It is also notorious, the connection between the failures and anomalies

presented. The degree of anomalies varies between critical and regular, where maintenance can be adequate in long and medium-term interventions.

A complete maintenance plan is recommended due to the degree of risk of anomalies and failures found. The detection of these anomalies brings with it the importance of regular inspections, which are essential for the safety and quality of life of users. With the inspection carried out, we can present a maintenance proposal, facilitating a therapy and maintenance plan.

It is necessary to have a debate between technicians and users to prepare an inspection schedule and an owner's manual, a document that contains guidelines about the care that must be taken with the affected building, following technical priorities, and application of resources that aim to improve safety. And the quality of life for residents or end-users.

REFERENCE S

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5.674: Manutenção de Edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção*. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho*. Rio de Janeiro, 2013.

ALBUQUERQUE, A. T. OTOCH, S. *Proposta de classificação da agressividade do ambiente na cidade de Fortaleza*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Olinda. Anais... Olinda: IBRACON, 2005. p. 743-748.

AMORIM, G. M.; QUINTÃO, E. C. V.; MARTELLI JUNIOR, H.; BONAN, P. R. F. *Prestação de serviços de manutenção predial em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde*. *Ciência coletiva* [online]. 2013, vol.18, n.1, pp.145-158. doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013000100016>.

BAKKER, R. F. M. Initiation period. In: Schiessl, P., ed. *Corrosion of steel in concrete*. London, Chapman and Hall, 1988, cap. 3, p.22- 55.

CLIMATE. *Temperatura, tempo e dados climatológicos*. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/tres-rios-33689/>. Acesso em 13/05/2021

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (Crea-DF). *Cartilhas dos síndicos: obras e serviços de Engenharia e Agronomia: o que é preciso saber*. 2014.

CONTO, V.; OLIVEIRA, M. L.; RUPPENTHAL, J. E. *Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil*. *Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, [S.l.], v. 12, n. 4, p. 100, nov. 2017. DOI: [10.15675/gepros.v12i4.1749](https://doi.org/10.15675/gepros.v12i4.1749).

DINAMARCO, C. P. G.; HADDAD, A.; EVANGELISTA, A. *Selo Casa Azul Certificação ambiental estudo de caso: Condomínio Neo Niterói*. *Revista Sustinere*, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 82 - 104, jul. 2016. ISSN 2359-0424. doi: <http://dx.doi.org/10.12957/10.12957/sustinere.2016.24632>.

GODOY, A. C. B. S. *Tratamento de fissuras em alvenaria de vedação: áreas internas*. Instituto CEUB de pesquisa e desenvolvimento - ICPD. Brasília, 2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO - IBAPE. *Norma de vistoria de vizinhança. Procedimentos básicos executivos*. São Paulo, 2013.

HACKBARTH, F. B. *Avaliação de problemas estruturais de uma edificação em concreto armado in loco com propostas de soluções*. Florianópolis: UDESC, 2006.

HELENE, P. R. L. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. 2. ed. São Paulo: PINI, 1992.

JONOV, C. M. P. NASCIMENTO, N. DE O. PAULA E SILVA, A. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, v.13, n.1, p. 75 - 94, jan./mar. 2013.

MACEDO, E. A. V. B. *Patologias em obras recentes de construção civil: análise crítica das causas e consequências*. Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2008, 674p.

NEVES, D. R. R., BRANCO, L. A. M. N. *Estratégia de Inspeção Predial*. Belo Horizonte: Construindo, v.1, n.2, p. 12-19, jul./dez. 2009.

NINCE, A.A. *Levantamento de dados sobre causas de deterioração de estruturas na região Centro-Oeste. Dissertação (Mestrado)*. Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

PUJADAS, F. Z. A. XIV COBREAP, “*INSPEÇÃO PREDIAL – Ferramenta de Avaliação da Manutenção*”, 2007.

ROCHA, J. H. A. et al. *Detecção de infiltração em áreas internas de edificações com termografia infravermelha: estudo de caso. Ambiente constr.*, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 329-340, Out. 2018. doi: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400308>.

SANTOS, C. E. R. PENTEADO NETO, R. de A. *Análise de frequência de vícios construtivos em habitações de interesse social: Região de Curitiba, PR. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 11, p. e 020025, 2020. doi: 10.20396/parc.v11i0.8656047.

SANTOS, V. D.; CANDELORO, R. J. *Trabalhos Acadêmicos: Uma orientação para a pesquisa e normas técnicas*. Porto Alegre/RS: AGE Ltda, 2006. 149 p. Acesso em: 11 de maio de 2021

SITTER, W. R. Costs for service life optimization. The Law of fives. In: International CEB-RILEM workshop on durability of concrete structures. Proceedings... Copenhagen: CEBRILEM, 1984, p. 18-20.

SOUZA, V. C. M. e RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: PINI, 1998.

VERÇOZA, E. J. *Patologia das Edificações*. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. 172p.

VIEIRA, M. A. *Patologias Construtivas: Conceito, Origens e Método de Tratamento. Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - 12ª Edição nº 012 Vol.01/2016 Dezembro/2016.*

Diagnóstico de manifestações patológicas de estruturas de concreto armado em edificação residencial – estudo de caso

C. A. Monteiro Penha Júnior
Contato engcarlosaacio@gmail.com

Centro Universitário Fanor Wyden, Fortaleza, Brasil

RESUMO

Haja vista a importância dos cuidados com a degradação de uma edificação para evitar acidentes, este artigo visa analisar e diagnosticar as manifestações patológicas da estrutura de concreto armado do condomínio residencial através da vistoria, inspeção predial e do método GUT para avaliar a prioridade da correção com base no estado do elemento estrutural deteriorado deste estudo de caso. O objeto de estudo apresenta elementos estruturais com degradações graves que necessitam de reparos e correções o mais breve possível. Concluiu-se que a corrosão da armadura de aço é o principal mecanismo de deterioração do concreto sendo causada em alguns locais pela infiltração de água e gases agressivos provenientes de fumaça presente semanalmente.

Palavras chaves: Manifestações patológicas do concreto armado; Manutenção periódica; Inspeção predial; Método GUT.

ABSTRACT

Bearing in mind the importance of taking care of the degradation of a building to avoid accidents, this article aims to analyze and diagnose the pathological manifestations of the reinforced concrete structure of the residential condominium through inspection, building inspection and the GUT method to assess the priority correction based on the state of the deteriorated structural element in this case study. The object of study presents structural elements with serious degradations that need repairs and corrections as soon as possible. It was concluded that the corrosion of the steel reinforcement is the main mechanism of deterioration of the concrete being caused in some places by the infiltration of water and aggressive smoke gases present weekly.

Keywords: Pathological manifestations of reinforced concrete; Periodic maintenance; Building inspection; GUT method.

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, uma edificação deve ser segura, durável e confortável para a sua devida função residencial, comercial ou institucional. De acordo com a ABNT NBR 15575-1 (2013), a

durabilidade é a capacidade da edificação ou de suas partes de desempenhar suas finalidades que lhe foram atribuídas na concepção dos projetos durante a sua vida útil estabelecida, levando em consideração o uso e a manutenção da construção. O período de tempo em que uma edificação começou a ser usada ou operada até o momento em que o seu desempenho se torna inviável para atender as diretrizes de projeto é chamado de vida útil. Cada sistema, como a estrutura de concreto armado, que compõe o edifício tem a sua vida útil de projeto mínima estabelecida pelas normas brasileiras (ABNT NBR 15575-1, 2013).

A patologia das edificações estuda as deteriorações, os mecanismos e as causas das degradações do edifício. Watt (2007, apud AEEBC, 1994) relata que há três áreas distintas, embora estejam interrelacionadas, da definição de patologia da construção que devem ter atenção que são as áreas de preocupação da identificação, investigação e diagnóstico de defeitos existentes, do prognóstico dos defeitos diagnosticados e da elaboração e implementação programa de obras corretivas. Uma deterioração de grau pequeno pode tornar-se um problema mais grave com a ação dos agentes degradantes quando não é analisada, solucionada e recuperada a partir do uso da manutenção e da engenharia diagnóstica.

A manutenção da edificação é o conjunto de atividades com diretrizes que visam a conservação ou a recuperação dos sistemas prediais que são necessárias para atender os critérios de desempenho respeitando ou prolongando a sua vida útil (SOUZA; RIPPER, 1998). A manutenção é composta pela manutenção preventiva que objetiva a conservação dos elementos que constituem o edifício dificultando ou impedindo que ocorra falha de desempenho a partir de um programa de atividades de controle e monitoramento e relatórios técnicos e pela manutenção corretiva que visa uma intervenção e correção imediata após a ocorrência da degradação.

Os empreendimentos antigos com idade superior a 30 anos tendem a possuir muitas degradações em seus sistemas prediais, pois apesar da sua concepção e execução da construção terem respeitados as normas regulamentadoras e serem realizados com qualidade obtendo um desempenho dentro das diretrizes para ter durabilidade e respeitar a vida útil de projeto, a falta de manutenção, o mau uso da edificação por parte dos usuários e o tempo ocasionam manifestações patológicas que quando agravados podem inviabilizar a utilização da edificação e a sua recuperação terá um custo mais elevado. Geralmente, os edifícios antigos que apresentam os casos mais sérios são os de padrões populares devido, principalmente, à dificuldade financeira.

O trabalho tem como objetivo analisar, inspecionar e diagnosticar as manifestações patológicas da estrutura de concreto armado de um condomínio residencial localizado em Fortaleza.

2. PROCEDIMENTO

2.1 Objeto do estudo de caso

O objeto definido para este estudo de caso é um condomínio residencial composto por blocos de quatro pavimentos, sem subsolos, com idade de 37 anos, até a data de realização do estudo, construído pelo sistema estrutural de concreto armado de acordo com as normas regularizadoras vigentes do ano de 1983, porém o seu telhado é formado por terças e telhas de outros materiais construtivos. A sua estrutura é formada por lajes que são apoiadas nas vigas, estas são apoiadas nos pilares e estes na fundação. Para ter um nome referencial dos blocos do condomínio para fins privativo, ético e metodológico, adotou-se uma numeração fictícia de B1 a B6 para nomeá-los. Esses blocos são despostos em pares no terreno sendo B1 e B2, B3 e B4 e, por fim, B5 e B6 e foram construídos distante de cada par de blocos.

O local do condomínio está distante em média de 3,52 quilômetros do mar no bairro Praia do Futuro II e de 765 metros do rio Cocó e, sendo assim, está na zona de classe de agressividade ambiental II (CAA II) de acordo com o mapeamento da zona de agressividade realizado pelo PEC/UFC,

Inovacon, Coopercon-CE, Sinduscon-CE e Cimento Apodi. A ABNT NBR 6118 (2014), explica que a CAA II tem uma agressividade moderada, uma classificação de ambiente urbana e um pequeno risco de deterioração da estrutura de concreto armado.

2.2 Procedimento metodológico

Realizou-se a busca por projetos e documentos da edificação e a vistoria visual utilizando meio fotográfico no local para o levantamento de subsídios. Cada pavimento da edificação foi vistoriado observando os problemas das suas áreas comuns que são os pilotis, as escadas e as partes estruturais externas dos apartamentos. Em seguida, a inspeção predial foi executada por meio de ensaio não-destrutível que consistiu em inspeção visual coletando os dados com o uso do fissurômetro para medir as aberturas das fissuras, identificando a manifestação patológica com detalhes das suas características e o possível mecanismo de deterioração organizando os dados obtidos conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Manifestações patológicas e mecanismo de deterioração.

Problema	Manifestação patológica	Diagnóstico
01	Imagem	
N	Imagem	

Posteriormente, utilizou-se o método GUT em que consiste analisar a gravidade do problema considerando a intensidade dos danos, a urgência para que haja resolução do problema e a tendência da situação do problema considerando o seu desenvolvimento na ausência da correção. Meireles (2001) relata que no método GUT, os problemas serão avaliados com nota no valor de 1 a 5 para cada critério para fins de classificação de prioridade apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Critérios GUT e suas notas.

Critério	Nota				
	1	2	3	4	5
Gravidade	Dano mínimo	Dano leve	Dano regular	Grande dano	Dano grave
Urgência	Longuíssimo prazo	Longo prazo	Prazo médio	Curto prazo	Imediatamente
Tendência	Desaparece	Reduz-se	Permanece	Aumenta	Piora muito

Fonte: Meireles (2001).

As notas obtidas em cada critério do método GUT para cada problema são multiplicadas para obter a resultante de GUT e, assim, identificar os problemas que deverão ser priorizados conforme a equação (1).

$$W = X \times Y \times Z \quad (1)$$

Onde

W é a resultante de GUT;

X é a nota da gravidade;

Y é a nota da urgência;

Z é a nota da tendência.

Os problemas foram classificados por ordem numérica decrescente a partir do maior valor da resultante de GUT. Meireles (2001) sugere a Tabela 3 apresentada abaixo para a aplicação do método GUT.

Tabela 3. Análise e resultado da manifestação patológica pelo método GUT com exemplificação.

Problema	Gravidade	Urgência	Tendência	Resultante de GUT	Prioridade GUT
01	3	3	1	9	1º
N	X	Y	Z	W	Pº

Fonte: Meireles (2001).

3. RESULTADOS

3.1 Documentação

O condomínio não possui os projetos de estrutura, arquitetura e instalações prediais da edificação guardados. Também não possui o manual de uso, operação e manutenção da edificação. Não há documentos técnicos das manutenções que possam ter sido realizadas durante todo o seu tempo de uso.

3.2 Vistoria visual


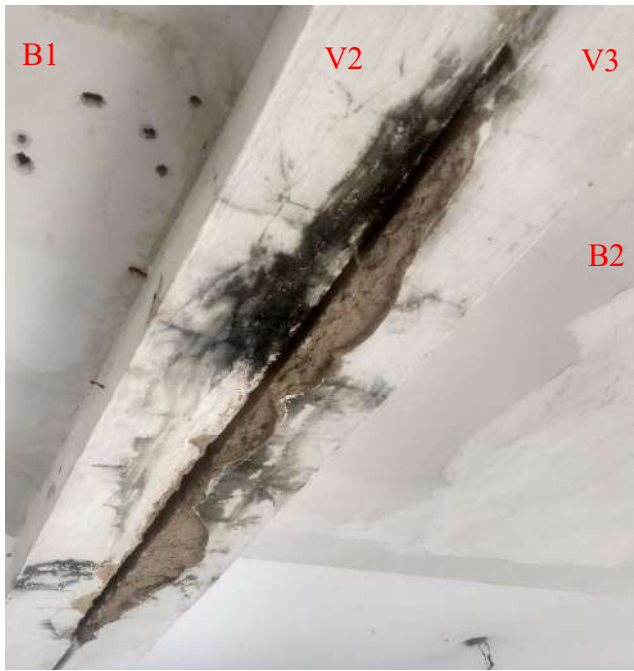
Observou-se que todos os blocos apresentam estado físico desgastado e sujo devido à falta de manutenção e ao mau uso. Houveram reformas recentes que foram feitas na tentativa de corrigir os problemas, porém alguns já possuem degradações aparentes provavelmente causadas pelos procedimentos inadequados para a situação. Alguns moradores relataram que há ocorrência de fissuras em seus apartamentos, parte interna, que não foram vistoriadas e incluídas neste artigo por motivo de privacidade.

Durante as vistorias, observou-se a presença de fumaça gerada por queimadas desconhecidas na vizinhança do condomínio semanalmente e em horário específico sendo entre 16:00 as 17:30. Uma dessas queimadas foi tão intensa que o ambiente ficou com tonalidade cinza e pôde-se ver algumas cinzas flutuando no ar dos ambientes do condomínio. Segundo os moradores, essas queimadas ocorrem há anos.

3.3 Inspeção visual

Os resultados obtidos das manifestações patológicas incluindo as aberturas das fissuras localizadas em elementos estruturais durante a inspeção visual são apresentados com os possíveis mecanismos de deterioração na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4. Problemas de manifestação patológica do estudo de caso.

Problema	Manifestação patológica	Diagnóstico
01	 <p>Figura 1. Viga V1 no pilotis do B1.</p>	<p>Manifestação patológica: Desagregação do concreto, corrosão da armadura de aço e fissuras no inferior da viga V1.</p> <p>Possível mecanismo de deterioração: Fissuras devido à corrosão da armadura de aço.</p>
02	 <p>Figura 2. Vigas V2 e V3 com junta de dilatação no pilotis do B1 e B2.</p>	<p>Manifestação patológica: Desagregação da camada de cobertura do concreto e fissuras.</p> <p>Possível mecanismo de deterioração: Corrosão da armadura de aço devido à infiltração de água nas vigas com proliferação de mofo (Espécie de fungo).</p>
Problema	Manifestação patológica	Diagnóstico
03		<p>Manifestação patológica: Desagregação e fissuras horizontais inferior com abertura máxima de 5,0 mm</p>

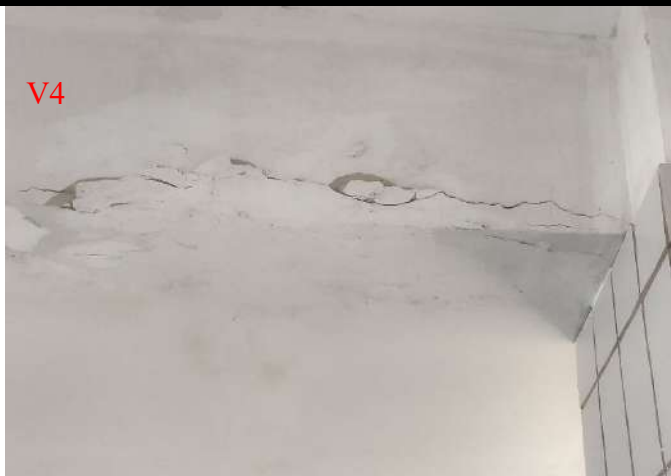



		<p>no concreto ao longo da direção da armadura.</p> <p>Possível mecanismo de deterioração: Corrosão da armadura de aço devido à infiltração de água.</p>
04		<p>Manifestação patológica: Desagregação da camada de cobrimento do concreto, corrosão da armadura de aço e fissuras com abertura máxima de 2,5 mm.</p> <p>Possível mecanismo de deterioração: Reforma inadequada e corrosão da armadura de aço já existente antes da reforma.</p>



Figura 3. Viga V4 no pilotis do B2.



Figura 4. Pilar P1 externo do B2.

Problema	Manifestação patológica	Diagnóstico
----------	-------------------------	-------------

05	 <p data-bbox="516 940 967 978">Figura 5. Pilar P2 no pilotis do B4.</p>	<p data-bbox="1101 285 1458 323">Manifestação patológica:</p> <p data-bbox="1101 323 1458 537">Desagregação do concreto, corrosão da armadura de aço e fissura com abertura máxima de 1,6 mm no concreto ao longo da armadura.</p> <p data-bbox="1101 579 1458 831">Possível mecanismo de deterioração: Corrosão da armadura de aço devido à infiltração de água. Observa-se o crescimento de vegetação na base do pilar.</p>
06	 <p data-bbox="451 1629 1029 1665">Figura 6. Pilar P3 e viga V5 no pilotis do B4.</p>	<p data-bbox="1101 1016 1458 1054">Manifestação patológica:</p> <p data-bbox="1101 1054 1458 1268">Fissuras com abertura máxima de 2,0 mm no pilar P3 se prolongando ao longo do rejunte e revestimento cerâmico e fissura vertical na viga V5</p> <p data-bbox="1101 1310 1458 1377">Possível mecanismo de deterioração:</p> <p data-bbox="1101 1377 1458 1629">Falha por cisalhamento da viga e corrosão da armadura de aço devido à infiltração de água do apartamento superior que possui histórico do problema.</p>

Problema	Manifestação patológica	Diagnóstico
----------	-------------------------	-------------

07	 <p data-bbox="516 842 971 877">Figura 7. Viga V5 no pilotis do B4.</p>	<p data-bbox="1101 254 1446 289">Manifestação patológica:</p> <p data-bbox="1101 291 1458 470">Fissuras horizontais no inferior da viga V5 com abertura máxima de 1,8 mm no concreto ao longo da armadura.</p> <p data-bbox="1101 510 1458 579">Possível mecanismo de deterioração:</p> <p data-bbox="1101 581 1458 760">Corrosão da armadura de aço devido à infiltração de água do apartamento superior que possui histórico do problema.</p>
08	 <p data-bbox="472 1549 1008 1581">Figura 8. Vigas V6 e V7 no pilotis do B4.</p>	<p data-bbox="1101 997 1446 1033">Manifestação patológica:</p> <p data-bbox="1101 1035 1458 1213">Fissuras horizontais inferior com abertura máxima de 2,0 mm no concreto ao longo da armadura.</p> <p data-bbox="1101 1253 1458 1323">Possível mecanismo de deterioração:</p> <p data-bbox="1101 1325 1458 1472">Corrosão da armadura de aço proveniente da infiltração de água com proliferação de fungo.</p>

Problema	Manifestação patológica	Diagnóstico
09	 <p data-bbox="516 1205 964 1236">Figura 9. Pilar P4 no pilotis do B4.</p>	<p data-bbox="1101 474 1446 506">Manifestação patológica:</p> <p data-bbox="1101 512 1458 762">Desagregação do concreto, corrosão avançada da armadura de aço e fissuras. Observou-se um desprendimento de concreto durante a inspeção.</p> <p data-bbox="1101 804 1458 873">Possível mecanismo de deterioração:</p> <p data-bbox="1101 879 1458 949">Corrosão da armadura de aço.</p>
10	 <p data-bbox="509 1866 971 1898">Figura 10. Pilar P5 no pilotis do B5.</p>	<p data-bbox="1101 1356 1446 1388">Manifestação patológica:</p> <p data-bbox="1101 1394 1458 1493">Fissuras com abertura máxima de 25 mm no concreto armado.</p> <p data-bbox="1101 1535 1458 1604">Possível mecanismo de deterioração:</p> <p data-bbox="1101 1610 1458 1680">Corrosão da armadura de aço do pilar.</p> <p data-bbox="1101 1686 1458 1785">Anteriormente, os pilares do B5 foram reformados, pois estavam deteriorados.</p>
Problema	Manifestação patológica	Diagnóstico






11		<p>Manifestação patológica: Fissuras com abertura máxima de 1,8 mm no concreto armado.</p> <p>Possível mecanismo de deterioração: Corrosão da armadura de aço do pilar. Anteriormente, os pilares do B5 foram reformados, pois estavam deteriorados.</p>
12		<p>Manifestação patológica: Desagregação do concreto e corrosão da armadura de aço.</p> <p>Possível mecanismo de deterioração: Fissuras no concreto devido à corrosão da armadura e ausência do encunhamento na reforma inadequada.</p>

Figura 11. Pilar P6 no pilotis do B5.

Problema	Manifestação patológica	Diagnóstico
13	 <p data-bbox="509 680 974 716">Figura 13. Pilar P7 no pilotis do B6.</p>	<p data-bbox="1101 226 1446 262">Manifestação patológica:</p> <p data-bbox="1101 264 1458 373">Fissuras com abertura máxima de 1,8 mm no concreto armado.</p> <p data-bbox="1101 415 1458 485">Possível mecanismo de deterioração:</p> <p data-bbox="1101 487 1458 556">Corrosão da armadura de aço do pilar.</p> <p data-bbox="1101 558 1458 667">Anteriormente, os pilares do B6 foram reformados, pois estavam deteriorados.</p>
14	 <p data-bbox="509 1213 974 1249">Figura 14. Pilar P8 no pilotis do B6.</p>	<p data-bbox="1101 751 1446 787">Manifestação patológica:</p> <p data-bbox="1101 789 1458 932">Fissuras com abertura máxima de 2,0 mm no concreto e desagregação do concreto.</p> <p data-bbox="1101 974 1458 1043">Possível mecanismo de deterioração:</p> <p data-bbox="1101 1045 1458 1115">Corrosão da armadura de aço do pilar.</p> <p data-bbox="1101 1117 1458 1226">Anteriormente, os pilares do B6 foram reformados, pois estavam deteriorados.</p>
15	 <p data-bbox="521 1801 959 1837">Figura 15. Pilar P9 externo do B6.</p>	<p data-bbox="1101 1352 1446 1388">Manifestação patológica:</p> <p data-bbox="1101 1390 1458 1459">Desagregação do reboco no pilar de concreto.</p> <p data-bbox="1101 1501 1458 1570">Possível mecanismo de deterioração:</p> <p data-bbox="1101 1572 1458 1751">Corrosão da armadura de aço devido à infiltração de água na estrutura visto que há o crescimento de vegetação.</p>

3.4 Avaliação com o método GUT

A partir da aplicação da metodologia de GUT nas manifestações patológicas dos dados da Tabela 4, pôde-se obter as resultantes e as prioridades de GUT para cada problema que são organizadas e apresentadas na Tabela 5 para corrigir cada problema estrutural considerando a ordem decrescente da resultante de GUT.

Tabela 5. Análise e resultado das manifestações patológicas pelo método GUT.

Problema	Gravidade	Urgência	Tendência	Resultante de GUT	Prioridade GUT
01	5	5	5	125	1°
02	5	5	5	125	1°
03	4	5	4	80	2°
04	5	5	5	125	1°
05	5	5	5	125	1°
06	5	5	5	125	1°
07	4	4	4	64	3°
08	5	5	5	125	1°
09	5	5	5	125	1°
10	4	4	4	64	3°
11	4	4	4	64	3°
12	5	5	5	125	1°
13	4	4	4	64	3°
14	4	4	4	64	3°
15	4	4	4	64	3°

4. CONCLUSÕES

Observou-se que os diagnósticos apresentaram um possível mecanismo de deterioração mais frequente que foi a corrosão da armadura de aço do concreto armado nos problemas identificados e principalmente no pilotis. Pode-se afirmar que a ação conjunta da fumaça de queimadas semanalmente incidindo no condomínio durante anos, da infiltração de água dos vazamentos da instalação hidráulica, da chuva e do aguamento de plantas para um dos blocos na estrutura e a ocorrência de reformas sem obedecer as diretrizes das normas técnicas contribuíram para o processo da corrosão da armadura de aço provavelmente através do fenômeno da carbonatação ou da ação de cloretos que causam a despassivação do aço deixando-o desprotegido aos agentes agressivos.

A partir das inspeções e da utilização do método GUT, pôde-se avaliar e classificar os riscos dos problemas patológicos identificados e concluiu-se que os blocos B4 por possuir ocorrências de infiltração de água com proliferação de fungo, de concreto se desagregando, armadura exposta e corroída em dois pilares com um terceiro pilar que foi, recentemente, reformado escondendo a corrosão do aço e vigas fissuradas, B1 por possuir ocorrência de infiltração de água com proliferação de fungo e de concreto se desagregando e armadura corroída em suas vigas, e B2 por possuir ocorrência de infiltração de água com proliferação de fungo, de fissuras em suas vigas e pilar com armadura exposta e corroída são os blocos que estão com a estrutura mais debilitada necessitando urgentemente de correção devendo ser escorados o mais breve possível. Os blocos

B5 e B6 possuem quase todos os pilares no pilotis fissurados apesar de terem sido reformados a pouco tempo. O bloco B3 foi o que apresentou menos danos visuais à sua estrutura. Neste artigo, a importância da existência e da utilização do manual de uso, operação e manutenção da edificação é evidente e comprovada visto que a sua ausência resultou na falta da manutenção preventiva e corretiva e em reformas inadequadas que, em conjunto com os agentes agressores do ambiente, ocasionaram danos que comprometeram o desempenho, durabilidade e a vida útil da estrutura do condomínio.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: **Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

INOVACON (Ceará), COOPERCON (Ceará), SINDUSCON (Ceará), Cimento Apodi, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará. **Cartilha estudo da agressividade do ar em Fortaleza/CE**. Fortaleza, 2016.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente**. 1. ed. São Paulo: Art & Ciência, 2001. 144 p.

PENHA JÚNIOR, Carlos Aécio Monteiro. Diagnóstico de manifestações patológicas de estruturas de concreto armado em edificação residencial – estudo de caso. In: congresso brasileiro de patologia das construções, 4. 2020. 4. ed. **Anais [...]**. Associação Brasileira de Patologias das Construções, 2020. 3731-3741 p.

SOUZA, V. C; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

WATT, D. S. **Building pathology: principles and practice**. 2nd. Singapura: Blackwell Publishing Ltd, 2007. 320 p.

Degradation of mortar render façades: case study in residential buildings

R. Dias^{1*}, D. Benjamin^{1,2}, N. Tsutsumoto³, J. Martins⁴, C. Fioriti⁵

*Contact Author: rdias07@live.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista – FEIS/UNESP, Ilha Solteira, Brasil.

² Instituto Superior Politécnico do Huambo, Universidade José Eduardo dos Santos, Huambo, Angola.

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Avançado Ilha Solteira, SP, Brasil

⁴ Universidade Estácio de Sá, Ribeirão Preto, Brasil.

⁵ Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Presidente Prudente, Brasil

ABSTRACT

This study aims to evaluate the degradation of façades with mortar coating as a finish, inspecting 22 residential buildings in Fernandópolis-SP, Brazil. The building defects (BD) were quantified considering the solar orientation of the façades and an evaluation of five typified façade regions: continuous walls (1-OCW); around openings (2-OOP); top of the parapets/eaves (3-TOP); below balconies, soffits or ledges (4-BCP); and on corners and edges (5-OCE). In addition, for the degradation assessment, five levels of degradation were considered, ranging from 0 (no degradation) to 4 (highest degradation). The highest number of BDs was observed for façades with an east solar orientation, and the general degradation levels observed were 1-OCW (3.21/3.00), 2-OOP (2.88/2.82), 3-TOP (2.97/2.89), 4-BCP (3.04/2.78) and 5-OCE (2.56/2.54).

Keywords: Mortar Render; Anomalies; Degradation of Facades; Building Pathology; Degradation level.

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a degradação das fachadas com revestimento argamassado como acabamento, inspecionando 22 edifícios residenciais em Fernandópolis-SP, Brasil. Para avaliação da degradação foi considerado 5 níveis de degradação, variando de 0 (nenhuma degradação) a 4 (degradação muito acentuada), a quantificação de manifestações patológicas (MP) por 2 métodos distintos, a orientação solar das fachadas, bem como a avaliação de 5 regiões tipificadas de fachada: 1-paredes contínuas (OCW), 2-entorno de aberturas (OOP), 3-topo de parapeitos e beirais (TOP), 4-abaixo de varandas/sacadas/ressaltos (BCP) e 5-cantos/bordos (OCE). A maior quantidade de MP foi observada para as fachadas com orientação solar Leste, sendo que os níveis de degradação gerais observado foram: 1-OCW (3,21/3,00), 2-OOP (2,88/2,82), 3-TOP (2,97/2,89), 4-BCP (3,04/2,78) e 5-OCE (2,56/2,54).

Palavras chave: Revestimentos de Argamassa; Anomalias; Degradação das Fachadas; Patologia das Edificações; Nível de Degradação.

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la degradación de fachadas con revestimiento de mortero como acabado, inspeccionando 22 edificios residenciales en Fernandópolis-SP, Brasil. Para evaluar la degradación se consideraron 5 niveles de degradación, que van desde 0 (sin degradación) a 4 (degradación muy severa), la cuantificación de manifestaciones patológicas (PM) por 2 métodos diferentes, la orientación solar de las fachadas, así como la evaluación de 5 regiones típicas de fachadas: 1-muros continuos (OCW), entorno de 2 aberturas (OOP), 3-top de parapetos y aleros (TOP), 4-debajo de balcones / balcones / proyecciones (BCP) y 5-esquinas / bordes (OCE). La mayor cantidad de PM se observó para las fachadas con orientación solar este, y los niveles generales de degradación observados fueron: 1-OCW (3.21 / 3.00), 2-OOP (2.88 / 2.82), 3-TOP (2.97 / 2.89) , 4-BCP (3.04 / 2.78) y 5-OCE (2.56 / 2.54).

Palabras clave: Recubrimientos de mortero; Anomalías; Degradación de Fachadas; Patología de la edificación; Nivel de degradación.

1. INTRODUCTION

The external mortar render (EMR) represents the first layer for protection against environmental agents; it must therefore be an element that meets the minimum or basic requirements aimed at an acceptable level of performance and fulfillment of a useful life (SILVA et al., 2013).

The various factors that affect the durability of buildings and their subsystems, such as the EMR, can be subdivided into two categories: The first is related to the durability of the system, and the second is related to the aggressiveness of the environment (SOUZA et al., 2018). Lee (2021) emphasized that the building facade is affected throughout its useful life, highlighting the environmental effects and physical performance of the materials that make up the render system.

In Brazil, there is a preponderance in the use of a mortar rendering façade as a finish for building façades, which is easily justified by the low cost when compared to other types of cladding, as well as by the existing culture, which is clearly based on the Portuguese tradition (SILVA, 2007). Despite the preponderance of EMR as a final lining, little attention has been paid to technological control, which is associated with the lack of adequate technical knowledge in the manufacture of mortars, often causing the appearance of building defects (BDs) that compromise the function of the coating (STOLZ and MASUERO, 2015).

Thus, VANDERMARK et. al (2021) mentioned that it is necessary to coordinate several issues between professionals so that the design and construction achieve the goals. This coordination must, in fact, represent a compatibility between performance, quality, durability and aesthetics in the facade, placing the same weight for each item. The presence of BDs causes a decline in the functional performance of the EMR, frustrating the protection with environmental agents and adding, as a rule, additional damage to the user of symbolic and esthetic origin, motivated by the degradation of the building and its components (DORFMAN and PETRUCCI, 1989).

The BDs that affect the EMR often have several origins, highlighting the causes for design failures, owing to a lack of adequate knowledge regarding the characteristics of the materials used and/or the use of inappropriate materials, resulting from execution errors resulting from the absence of effective or proper maintenance. Although it is a minor problem if treated in isolation, once it acts at the limit, it becomes a preponderant and generates a pathological case (BAUER, 2017).

Therefore, the lack of knowledge of professionals in the production chain also causes failures, and projects often specify solutions that do not provide adequate results in practice (FREITAS, 2012). Although the topic is of great complexity in view of the numerous problems that affect the EMR, there is insufficient information about cases and problems available to help designers and builders in decision making (VANDEMARK et. al, 2021).

In this context, the absence of concise data on the origin of pathological problems, the most common forms of such manifestation, and the lack of registration and dissemination of data, delay the development and improvement of the techniques of design and construction, potentially harming younger professionals in the building construction chain, and thus do not prevent repeated errors that have already occurred in the past (THOMAZ, 2020).

In the last several studies have been developed for the creation of methodologies to predict the useful life, performance and repair techniques of the EMR, but for its application field information about the available problems is required (VIEIRA et al., 2015; CARVALHO et al., 2016; SILVA et al., 2018; CHARISI et al., 2018; SOUZA et al., 2018; FERREIRA et al., 2019; ANSAH et al., 2020; SAVIZ et al., 2020; PEREIRA et al., 2021; KHAN and BHATTACHARJEE, 2021).

Thus, Maciel and Carvalho (2019) cited that external cladding construction systems need to be evaluated in different regions because the climate is quite varied. Fabbri et al. (2020) highlighted the effects of solar radiation on the vertical and horizontal surfaces of a building and reported a greater focus on esthetic aspects, neglecting the issues related to the required performance.

In addition to climatic actions, the types of action of degradation agents, as well as the cycles of action, solar orientation, peculiarities of design and execution, and the conditions of the neighborhood can result in different performances for façades of the same building (CERQUEIRA,

2018). Given the significant relevance of the theme, it is important to study the degradation of the façades of buildings and the pathological manifestations that will act throughout their lifetime, which tend to be minimized when duly foreseen during the design or execution of the coating (POSTINGHER et al., 2019).

Thus, this study aims to assess the degradation of the façades of residential buildings in Fernandópolis-SP, Brazil, using qualitative parameters, in addition to observing the main manifestations that affect these buildings.

2. Case study

2.1 Sampling

A total of 22 residential buildings with more than 5 floors located in the city of Fernandópolis-SP were studied. No statistical method was applied for the choice of buildings because all buildings that fit this prerequisite (more than five floors and residential use) were studied. These buildings have a predominantly rectangular floor plan, with no important internal façades. A total of 88 façades were applied.

2.2 Inspection / Data collection

For data collection, an inspection procedure was adopted as reported by Antunes (2010), with the inspection conducted from right to left, from top to bottom, and floor by floor. The adoption of standardized procedures aims to ensure that all field data are duly noted and standardized. The collected data refer exclusively to the EMR. In the presence of decorative elements and/or coatings other than the EMR, even in the presence of pathological manifestations, these were not considered. Field information was recorded on an inspection form developed for this research, as highlighted in Figure 1.

2.3 Observed BDs

In this study, the main BDs affecting multi-story residential buildings in the municipality were addressed. The BDs evaluated were horizontal crack (HC), vertical crack (VC), leaning crack (LC), mapped crack (MC), detachment with blistering (BD), detachment in plates (PD), powderiness detachment (WD), vesicles (VS), light stains (LS), dark stains (DS), and fantomes (FA). When other types of BD were found in the EMR, they were assigned a designation (OT).

2.4 BDs Location

To define the location of the BDs, they were considered in five typified regions of the façade: (1) on continuous walls (OCW), (2) around openings (OOP), (3) on top of parapets and eaves (TOP), (4) below balconies or ledges (BCP), and (5) in the corners and edges (OCE), as shown in Figure 2.

2.5 BDs quantification

Quantification of the BDs was conducted by considering two different methods of quantification: incidence and intensity. In the intensity method (M-INT), the objective is to evaluate the frequency of the BDs, and thus all MPs are quantified, regardless of the number of repetitions. In the incidence method (M-INC), the objective is to assess the recurrence of problems, and each BD is quantified only once per façade and location. The importance of evaluating the quantity in two methods of quantification occurs because, in terms of intensity, problems can be increased because of their repetitions, where the recurrence is more significant. Otherwise, it also matters because the potentialization of problems (number of repetitions) usually indicates localized problems, which also deserve attention.

INSPECTION FORM					
BUILDING "A1" 4 years (July-2016)	no intervention	Ground floor + 1E	FERNANDÓPOLIS-SP	01	Page
<small>Full name</small>	<small>Building name/ Construction date</small>	<small>Local facade intervention date</small>	<small>Number of floors</small>	<small>City/State/ Country</small>	<small>Page</small>

NORTH FAÇADE MAPPING

SOUTH FAÇADE MAPPING

EAST FAÇADE MAPPING

WEST FAÇADE MAPPING

BUILDING DEFECTS LEGEND

Detachment with plastering (BD)	Leaking crack (LC)
Detachment in plates (FD)	Maped crack (MP)
Powderness detachment (WD)	Light stains (LS)
Vehicles (VS)	Dark stains (DS)
Horizontal crack (HC)	Paintloss (FA)
Vertical crack (VC)	Other types (OT)

OBSERVATIONS OF INSPECTION:

Inspector: Renan Dias
Inspection Date: 07-05-2020

Figure 1. Inspection Form

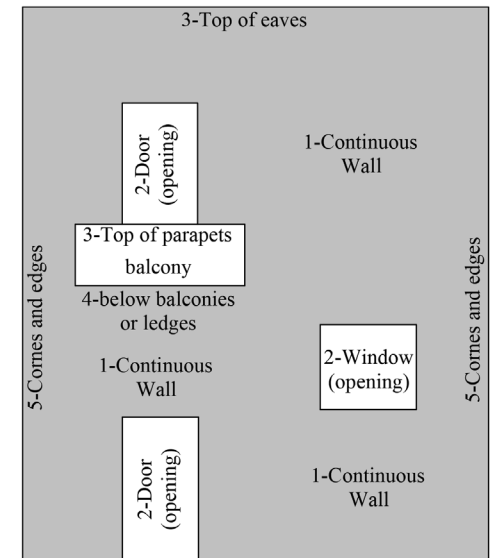


Figure 2. Typified regions of the facade

Source: Gaspar and Brito (2005) - modified by the Author

3. FAÇADE DEGRADATION

3.1 Degradation level

The degradation level (DL) is commonly defined based on qualitative parameters, which implies a sensory analysis of the conservation status of the property. In the present case study, the levels of degradation were subdivided into five levels, ranging from level 0 (no degradation) to level 4 (highest degradation), as shown in Table 1.

3.2 General degradation level

With the DL for each defined BD, it is possible to determine the level of general degradation for each typified region of the facade. For this purpose, the expression determined by Equation (1) is used, which basically consists of the arithmetic mean of multiplying the amount of MP by its corresponding level of degradation, by facade and location.

$$DL_{(R,IT)} = \frac{\sum BD_{R,IT} \cdot DL_{BD,R,IT}}{\sum BD_{G,IT}} \text{ ou } DL_{(R,IC)} = \frac{\sum BD_{R,IC} \cdot DL_{BD,R,IC}}{\sum BD_{G,IC}} \quad (1)$$

where $DL_{(R)}$ denotes each typified region DL (ranging from 0 = no degradation to 4 = the highest degradation);

BD_R denotes the amount of BD that occurs in region R for each quantification method;

$DL_{BD, R}$ corresponds to the specific DL of BD;

MP_G represents all BDs able to represent the sum of each specific orientation or the total solar

orientation, as the case may be;
and IC and IT correspond to the methods of quantifying BD, that is, M-INC and M-INT,
respectively.

Table 1. Degradation Levels

Degradation Level	Visual defects observed	Strategic action
Level 0 - No degradation (desirable situation)	➤ No visual degradation was observed	Does not require attention
Level 1 - Very mild degradation signals (suitable condition)	➤ Leve Light superficial staining, without the presence of efflorescences	Periodic visual assessment
Level 2 - Mild degradation signals (acceptable condition)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Linear cracks (vertical, horizontal or linear) isolated or widely spaced, with few repetitions along the facade ➤ Accentuated surface staining, with mild signs of efflorescence or presence of moisture ➤ Localized presence of mold or mildew 	Surface cleaning by brushing and washing
Level 3 - Wide degradation (minimum acceptable condition)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Intense linear cracks (vertical, horizontal or inclined), occurring in several parts, but spaced apart ➤ Isolated mapped cracks ➤ Damaged corners or edges ➤ Localized infiltrations ➤ Light stains (efflorescences) ➤ Faint spots ➤ Alteration of tonality and surface texture 	Repair and protection
Level 4 - Very severe degradation (worst condition / not acceptable)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Linear cracks very intense and not widely spaced (agglomerated) ➤ Mapped cracks agglomerated or with many repetitions ➤ Detachments ➤ Vesicles 	Partial or complete replacement of the damaged element

Source: Gaspar and Brito (2005) - modified by the Author

4. RESULTS

4.1 Local climate

In addition to the survey of BDs and their degradation, the local climate was assessed according to the events that occurred from January 2015 to January 2020, based on a consultation with the database of the Integrated Center for Agrometeorological Information (CIIAGRO) and the Brazilian Agency of Meteorology (CLIMATEMPO). Figures 3–4 show the local climatic conditions.

Based on the events of the analyzed period, a typical seasonality can be established, featuring a period with a hot and humid climate and a cold and dry climate. This statement confirms the classification of type Aw (savanna climate) according to the global system of Köppen–Geiger climate types. In addition, another factor that stands out is related to the local winds, which are perceived regardless of the speed, with full predominance in the directions combined with the cardinal direction East (E) and practical nonexistence in the other directions.

4.2 Predominance of BDs by solar orientation

Regarding the M-INC, the East and North façades were those with the most problems, followed by the South and West façades with practically the same quantity and percentage. In the study carried out by Mazer et al. (2013), the problems were predominant in the north and west façades, followed by the east and south façades. As for M-INT, the east and west façades were the most significant, followed by the north and south façades with practically the same quantity and percentage. In the study carried out by Antunes (2010), the distribution of the problems occurred in decreasing order

on the north, south, west, and east façades, whereas Consoli (2006) observed a greater occurrence on the south façade, followed by the east, west, and north façades. Next, Table 2 presents the results and comparisons between different studies.

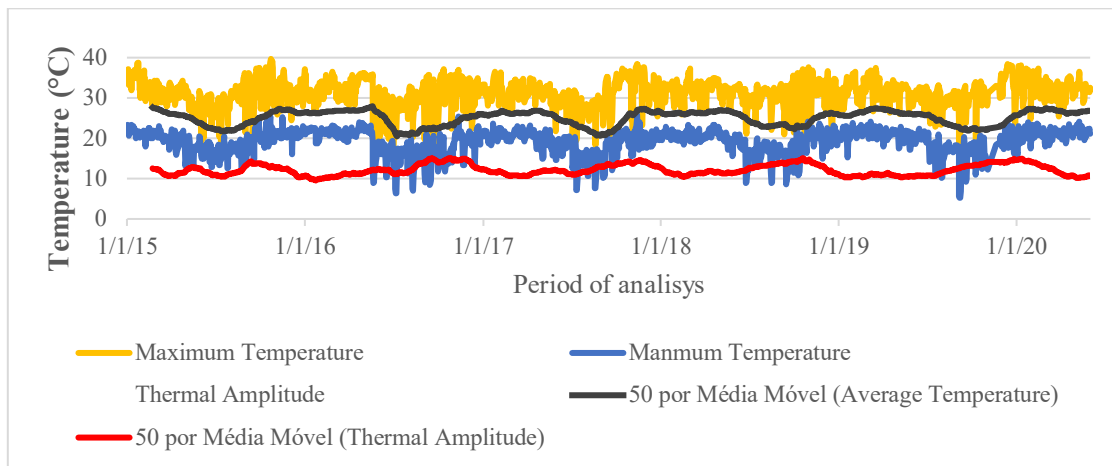


Figure 3. Thermal amplitude and temperature variation
Source: CIIAGRO - adapted by the Author

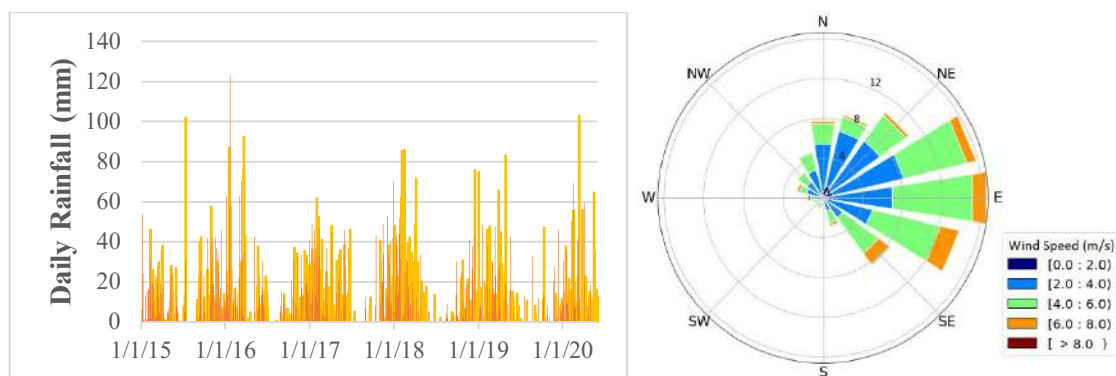


Figure 4. Left-Precipitation / Right-Predominant winds and speeds
Source: CIIAGRO / CLIMATEMPO - adapted by the Author

4.3 Typified regions degradation

Figures 5–23 show the occurrence or frequency of each type of BD based on solar orientation and region, as well as the DLs of each region and solar orientation, for M-INC and M-INT. In the aforementioned figures, it is possible to observe for each type of BD its percentage of occurrence, as well as its corresponding average DL. The general percentage of occurrence of BD and the level of degradation of each region and method are shown in Table 3, in which the levels of degradation mentioned are the most frequent, in decreasing order. In addition, Table 4 presents the DL for each typified region by BD and the quantification method.

In Region 1, with continuous walls (Figures 5–8), although there is less repetition of pathological problems compared to Region 2, these anomalies are much more important because their level of degradation is greater, which was also verified by Gaspar and Brito (2005), Antunes (2010), and Souza et al. (2019). This occurs because there was a predominance of cracks and detachments in this region, which represent the BDs with the greatest aggressive potential, notably represented by higher levels of degradation (level 4). It is possible to notice even greater degradation potential in M-INT than in M-INC, given the fact of considering the frequency and recurrence of BDs,

respectively. It is also recorded that all types of cracks were found, with a higher occurrence of horizontal cracks, followed by the mapped cracks, which give Region 1 the highest level of degradation for both methods of quantification.

Table 2. Results comparison

M-INC							
Autor (Year)	Local or Region	Climate	Characteristic	N (%)	S (%)	E (%)	W (%)
Dias et al. (2021)	Fernandópolis-SP, Brazil	Savanna climate - Aw	Dryer season in winter and wetter in summer	24,74%	23,28%	28,90%	23,08%
Mazer et al. (2013)	Curitiba-PR, Brazil	Temperate oceanic climate - Cfb	No dry season and cool summer	36,76%	17,65%	23,53%	27,94%
M-INT							
Author (Year)	Local or Region	Climate	Characteristic	N (%)	S (%)	E (%)	W (%)
Dias et al. (2021)	Fernandópolis-SP, Brazil	Savanna climate - Aw	Dryer season in winter and wetter in summer	21,12%	21,08%	32,06%	25,74%
Consoli (2006)	Pato Branco-PR, Brazil	Humid subtropical climate - Cfa	No dry season and hot summer	21,00%	29,00%	26,00%	24,00%
Antunes (2010)	Brasília-DF, Brazil	Savanna climate - Aw	Dryer season in winter and wetter in summer	35,87%	33,37%	13,80%	16,96%

Table 3. Percentage of BD occurrences by region and method

Region	BDs predominant	M-INC		M-INT	
		BDs Occurrence	Predominants DLs of BDs	Ocorrência de BDs	Predominants DLs of BDs
Region 1	Cracks and detachments	39,9%	2, 4 and 3	23,3%	4, 2 and 3
Region 2	Stains and cracks	16,6%	2 and 4	34,5%	2 and 4
Region 3	Stains, cracks and detachments	29,3%	2 and 1	18,2%	1 and 2
Region 4	Stains and cracks	6,4%	2 and 4=1	21,6%	2 and 4
Region 5	Cracks, stains and some detachments	7,7%	2, 3 and 1	2,4%	2, 1 and 3

Table 4. Average DL for each Region, MP and General by Method

Region	DL / M-INT				DL / M-INC			
	Cracks	Stains	Detachments	General	Cracks	Stains	Detachments	General
Region 1	2,94	2,50	4,00	3,21	2,44	2,41	4,00	3,00
Region 2	2,46	2,50	4,00	2,88	2,33	2,43	4,00	2,82
Region 3	2,25	2,32	4,00	2,97	2,17	2,09	4,00	2,89
Region 4	3,58	1,95	No deg. obs.	3,04	3,25	1,84	No deg. obs.	2,78
Region 5	2,12	2,00	4,00	2,56	2,09	2,00	4,00	2,54

Associating problems with mechanisms, in these places there is a predisposition for greater hygrothermal movements both in the mortar of the EMR and in the laying of the masonry. In addition, in the presence of cracks, the facilitated open path for percolation/infiltration of moisture potentiates the formation of cracks and detachments.

In addition, a predisposition to the formation of stains was noticed in the continuous walls of the eastern façade, which may be indicative of the effects of the associated wind and rain, in view of the predominance of winds in the cardinal regions combined with the east.

In Region 2, around the openings (Figures 9–12), high levels of stains were observed, followed by the formation of cracks. However, despite being the location with the highest frequency and recurrence of defects, most of them are level 2 defects, motivated by the large presence of stains, regardless of the quantification method used. Fissures were also found in several places, which stand out as the second most frequent PM in this region. In the presence of cracks, the level of degradation approached level 4 (the highest degradation), clearly noticeable in the figures cited, highlighting that although a high number of problems, the level of degradation is lower than in other regions, with the exception of Region 5, via M-INT. These observations were also made by Gaspar and Brito (2005).

Thus, it is clear that the architecture of the buildings studied and the windowsills of the openings do not faithfully fulfill their function, whether due to the probable deficiency in the installation and/or the probable absence of an appropriate drip pan. This condition may be a conditioning factor for the formation of runny dark spots in these regions. When observed, the cracks are predominantly linear (horizontal or inclined), commonly found in the openings owing to the concentration of effort and loads in the openings made possible by a probable deficiency (or even absence) of lintels and curves. In the presence of cracks, which are accompanied by moisture, the potential for damage in this region is high, and for this reason, some detachments and level 4 degradation are observed.

Also included in Region 2 are the openings for the installation of window-type air conditioners, in which the presence of many of these elements was observed on the studied façades, and in view of their relief on the façade cloth associated with the presence of the equipment itself, it is certainly a conditioning factor for the storage of atmospheric dust close to the wall (EMR). In addition, for psychometric reasons, these elements are water generators in a liquid state through condensation of water vapor from the atmospheric air, which must be drained into the rain network. The presence of too many stains below these elements indicates the insufficiency or even absence of drains for this equipment, which when splashing each other (because they are vertically aligned) forms a vertical wetting path from top to bottom by splashes or runoff water.

In Region 3, on top of parapets and eaves (Figures 13–16), there was a predominance of spots, followed by fissures and detachments. At least two of the three defects were at levels 1 and 2 of degradation, as observed by Gaspar and Brito (2005) and Freitas (2012), although diverging from the result obtained by Souza et al. (2019), where detachments are predominant. The level of degradation in this region is important as it tends to approach the minimum acceptable limit.

Commonly, the dark stains present in this region are manifested as a consequence of the directed rain and superficial water flow, which normally occurs owing to a failure or even absence of flashings or drips. The presence of moisture in this region owing to the aforementioned defects also contributes to the hygrothermal movement of the EMR and other components and may be the causative agent of cracks and detachments within this region.

Below the balconies, soffits, or ledges, that is, in Region 4 (Figures 17–20), stains and cracks prevailed, whose degradation patterns are extremely close to those in Region 2, as observed by Gaspar and Brito (2005), Antunes (2010), and Freitas (2012). However, referring to the level of degradation, Gaspar and Brito (2005) observed greater degradation of levels 1 and 2, and in the current study, level 2 and 4 degradations were observed more frequently.

In general, the stains are classified as level 1 or 2 degradations, whereas the cracks are classified as level 2–4. Thus, as in the case of the South façade, a high recurrence of BDs of degradation level 4 raised the general level of degradation of that region.

These façade regions have a particularity in relation to the others because they are usually reliefs or ridges, which contribute to the formation of a shaded region, even if it is a façade that is receiving incident sunlight. This condition generates, in a certain way, a protection of a certain area that, although it is the same base material and finish, has a temperature difference, and consequently there may be a differential movement of this element.

In addition, depending on the dimensions of these elements, the directed rain can reach the wall and form a superficial laminar flow of drained water, moistening the entire region slightly below the ridges. This factor associated with the protection of the area avoids a quick drying of the wall, and at this point, in addition to the differentiation of heating, there is also a difference in their moisture content, which is also a crack maker, notably observed with less incidence than the spots within this region.

In Region 5, the corners and edges of buildings (Figures 21–24), there was a predominance of cracks, followed by spots and detachments, as observed by Gaspar and Brito (2005) and with slight differentiation from Souza et al. (2019), who observed a predominance of detachments. It is the region with the lowest level of degradation, regardless of the method chosen.

In these regions, the joining of elements with different coefficients of thermal expansion is commonly observed, such as masonry and reinforced concrete structures. This combination of elements with different properties can be the motivators for the manifestation of fissures, as well as the concentration of efforts observed around the openings.

An easier path for the formation of stains is opened in the presence of cracks and moisture from the atmosphere. In addition, the structural and hygrothermal movements in the region can also contribute to cracking and detachment.

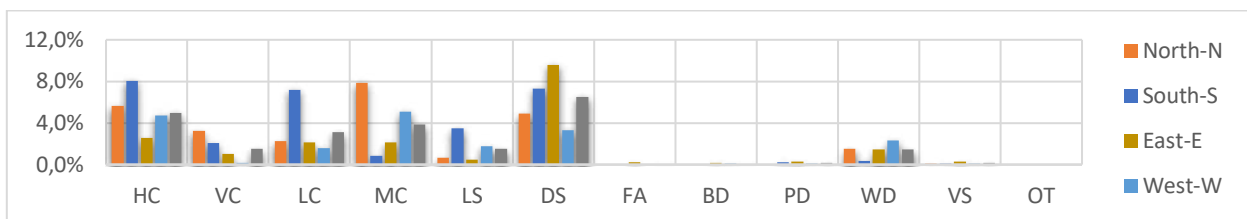


Figure 5. Frequency of BDs by solar and general orientation in Region 1 (OCW) - M-INT

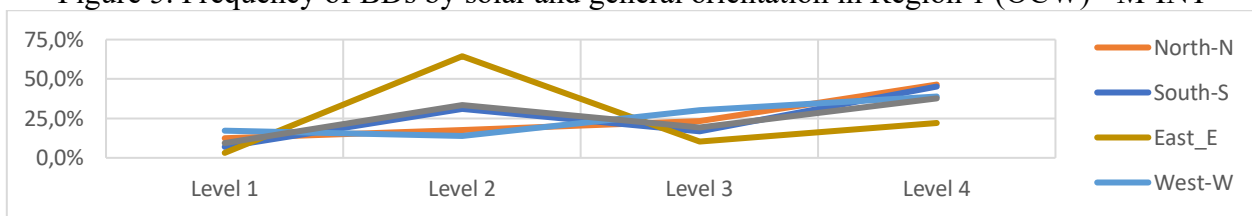


Figure 6. DL by solar and general orientation in Region 1 (OCW) - M-INT

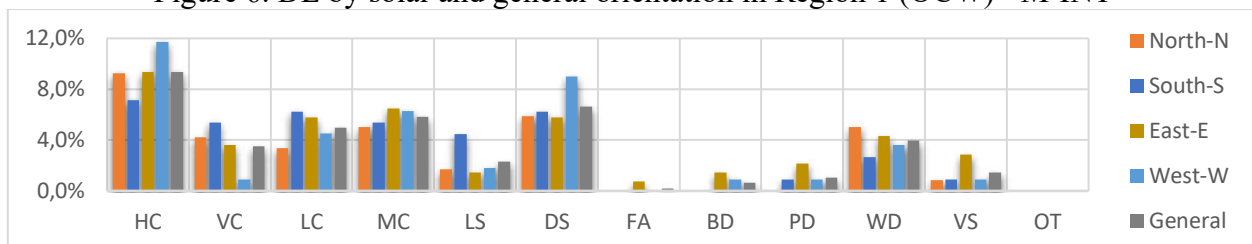


Figure 7. Occurrence of BDs by solar and general orientation in Region 1 (OCW) - M-INC

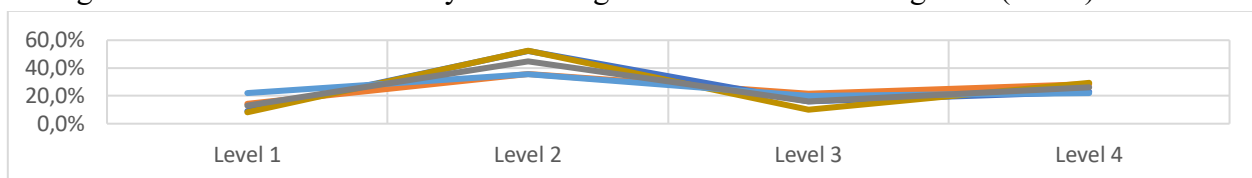


Figure 8. DL by solar and general orientation in Region 1 (OCW) - M-INC

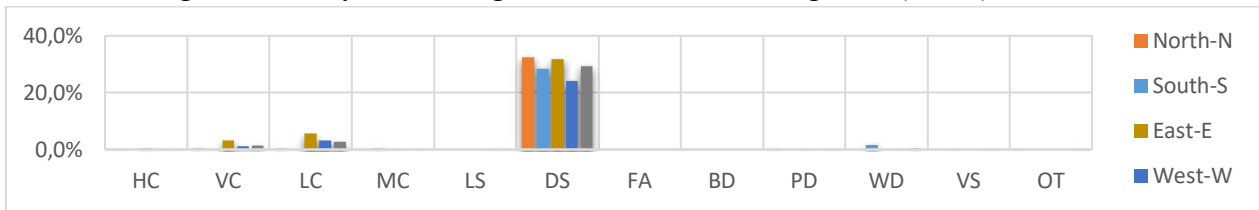


Figure 9. Frequency of BDs by solar and general orientation in Region 2 (OOP) - M-INT

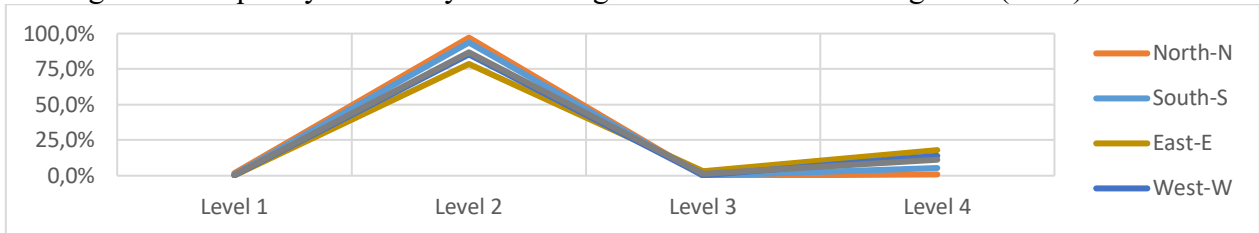


Figure 10. DL by solar and general orientation in Region 2 (OOP) - M-INT

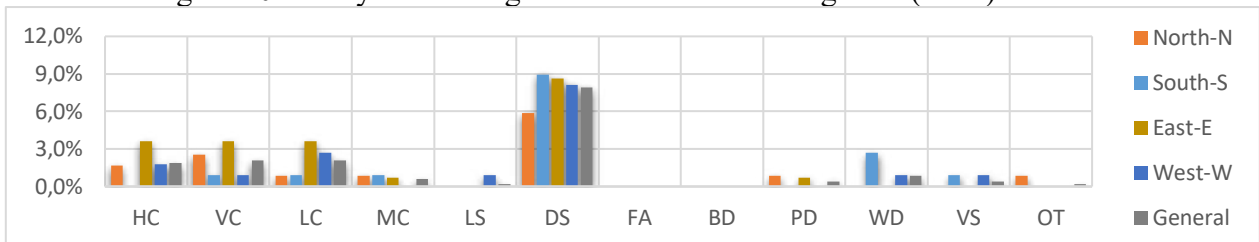


Figure 11. Occurrence of BDs by solar and general orientation in Region 2 (OOP) - M-INC

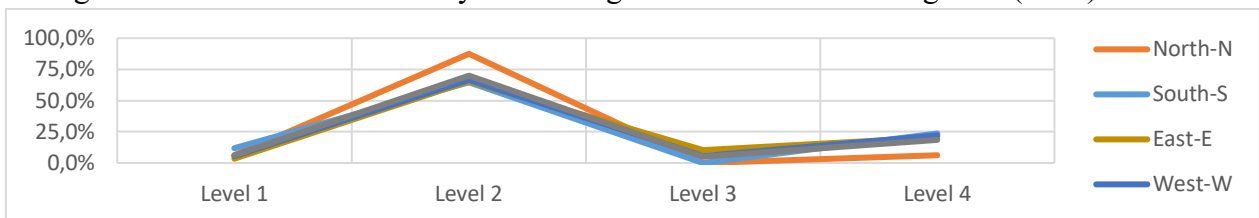


Figure 12. DL by solar and general orientation in Region 2 (OOP) - M-INC

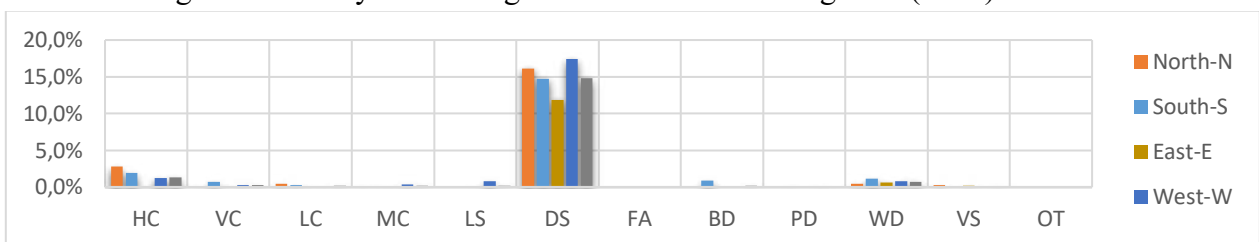


Figure 13. Frequency of BDs by solar and general orientation in Region 3 (TOP) - M-INT

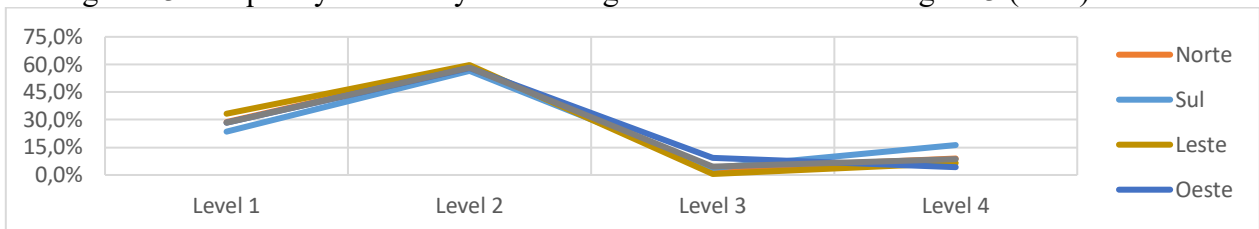


Figure 14. DL by solar and general orientation in Region 3 (TOP) - M-INT

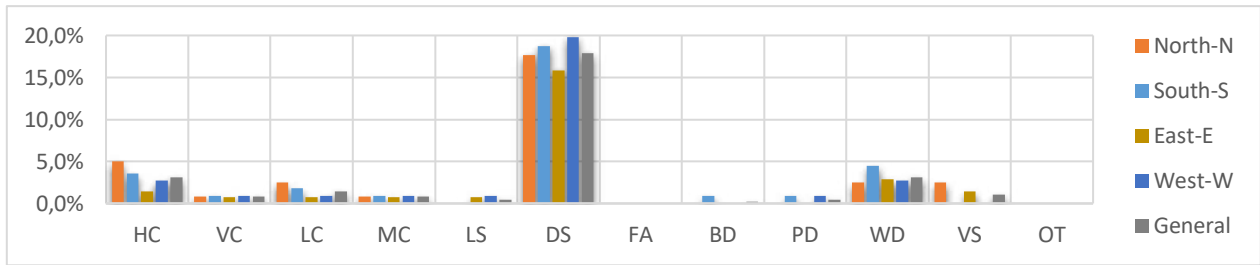


Figure 15. Occurrence of BDs by solar and general orientation in Region 3 (TOP) - M-INC

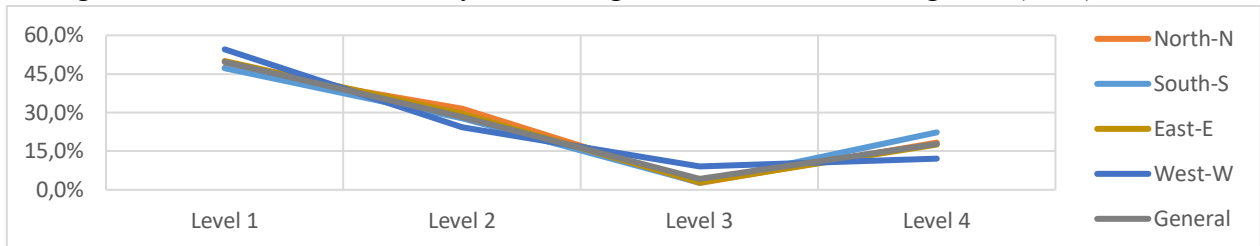


Figure 16. DL by solar and general orientation in Region 3 (TOP) - M-INC

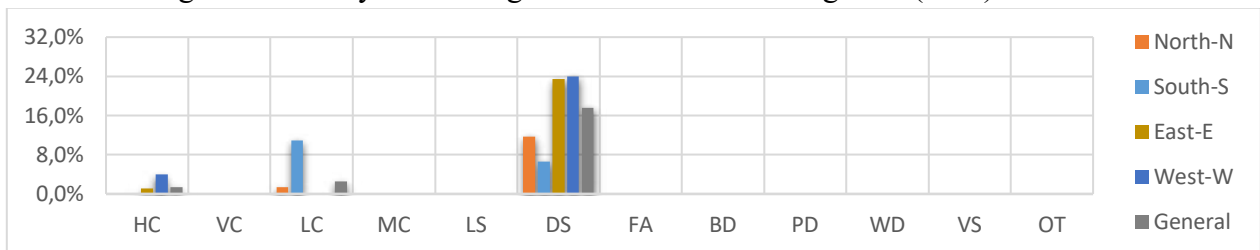


Figure 17. Frequency of BDs by solar and general orientation in Region 4 (BCP) - M-INT

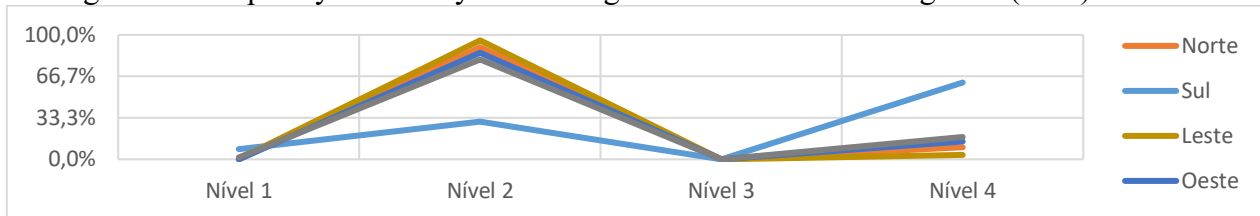


Figure 18. DL by solar and general orientation in Region 4 (BCP) - M-INT

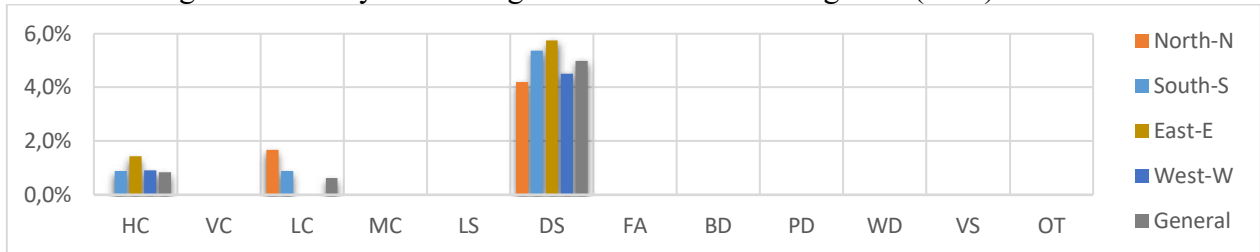


Figure 19. Occurrence of BDs by solar and general orientation in Region 4 (BCP) - M-INC

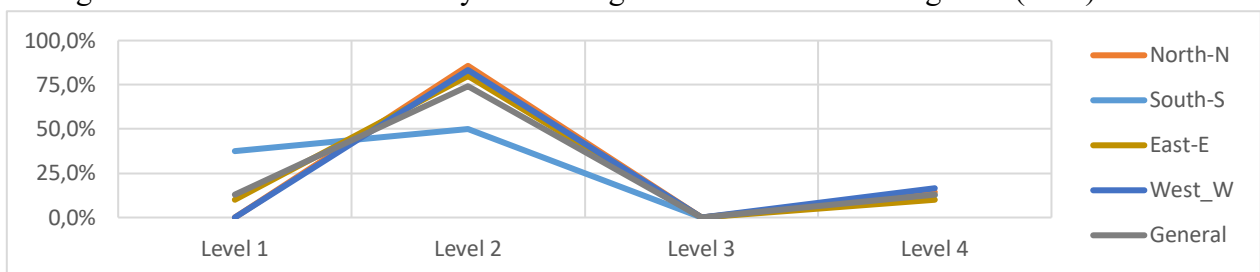


Figure 20. DL by solar and general orientation in Region 4 (BCP) - M-INC

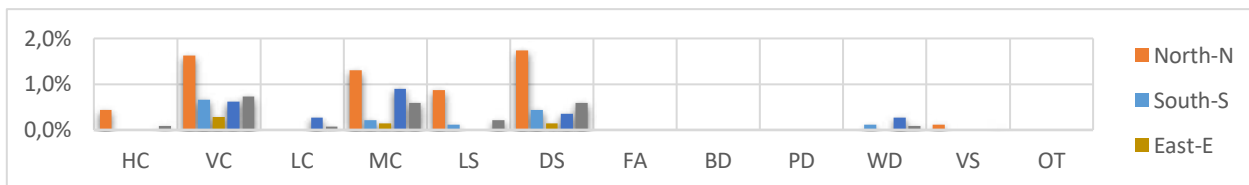


Figure 21. Frequency of BDs by solar and general orientation in Region 5 (OCE) - M-INT

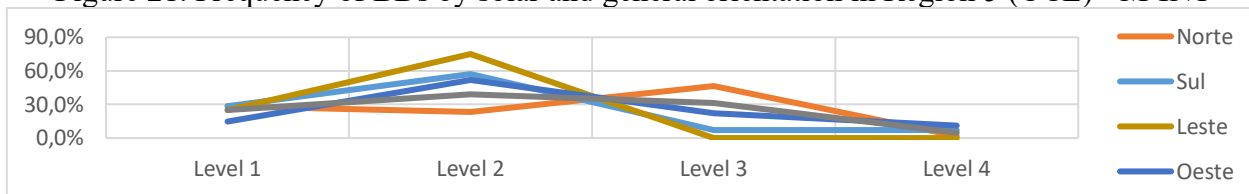


Figure 22. DL by solar and general orientation in Region 5 (OCE) - M-INT

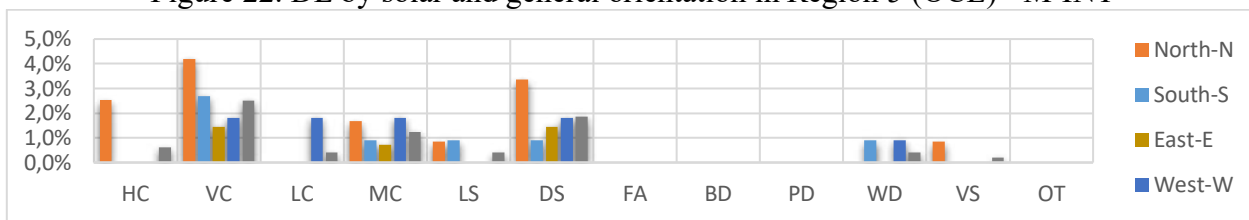


Figure 23. Occurrence of BDs by solar and general orientation in Region 5 (OCE) - M-INC

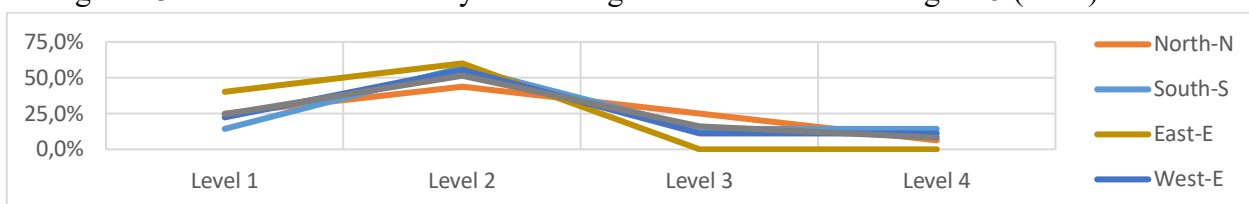


Figure 24. DL by solar and general orientation in Region 5 (OCE) - M-INC

5. CONCLUSIONS

Based on the results obtained, several conclusions could be verified, highlighting the parameters related to the local climate and the degradation of the façades. In addition, the way of quantifying and analyzing pathological problems considering recurrence and frequency allow a better reading of those MPs that occur with more repetitions.

It is also important to note that the more repetitions are considered, as these have specific DL, it is possible to notice a potentialization of the effects, clearly highlighting the points and regions with the greatest repetition of problems and/or the greatest level of degradation.

Regarding climate, this has two important peculiarities, namely, seasonality of the driest and rainiest periods, as well as the predominant wind direction for those combined with the eastern cardinal direction (E). Considering the recurrence and frequency of BDs observed by M-INC and M-INT, respectively, the following stand out:

- In Region 1, fissures and detachments were observed, with levels of degradation between 2 and 4, which were more recurrent than frequent.
- In Region 2, spots and fissures were observed, with levels of degradation between 2 and 4, which were more frequent than recurrent.
- In Region 3, spots, fissures, and detachments were observed, which were more recurrent than frequent.
- In Region 4, spots and fissures were observed, which were more frequent than recurrent.

- In Region 5, cracks, spots, and detachments were observed, with more recurrence than frequency.
- Considering the M-INC, the most significant degradations are in Regions 1 (3.00) and Region 3 (2.89), followed by Region 2 (2.82), Region 4 (2.78), and Region 5 (2, 54), emphasizing that without considering the repetition of the problems, all regions of the façades are supposed to be under the minimum acceptable condition.
- For M-INT, the most significant degradations are in Region 1 (3.21) and Region 4 (3.04), followed by Region 3 (2.97), Region 2 (2.88), and Region 5 (2, 56), which highlight that, considering the repetition of the problems, there are two regions with a DL of above 3.00; therefore, they are more degraded than the minimum acceptable level.

6. REFERENCES

- Ansah, M. K., Chen, X., Yang, H., Lu, L., Lam, P. T. I. (2020), *An integrated life cycle assessment of different façade systems for a typical residential building in Ghana*. Sustainable Cities and Society. 53:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101974>.
- Antunes, G. R. (2010), “*Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada de Brasília – Sistematização da incidência de casos*”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- Bauer, L. A. F. (2017), “*Materiais de Construção*”. Volume 2. 5ª ed. Revisada. LTC Editora. Rio de Janeiro. 538p.
- Carvalho, C. G., Flores-Colen, I. e Faria, P. (2015), *Rehabilitation of renders of old buildings in Portugal: Survey, supporting methodology proposal and case study*. Structural Survey. 33(4/5):337-353. <https://doi.org/10.1108/SS-04-2015-0024>.
- Cerqueira, M. B. S. (2018), “*Avaliação da Degradação de Fachadas - Estudo de Caso em Salvador-BA*”, Dissertação. Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- Charisi, S., Thiis, T. K., Stefansson, P., Burud, I. (2018), *Prediction model of microclimatic surface conditions on building façades*. Building and Environment. 128:46-54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.017>.
- Consoli, O. J. (2006), “*Análise da durabilidade dos componentes das fachadas de edifícios sob a ótica do projeto arquitetônico*”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Dorfman, G., Petrucci, H. M. C. (1989), “*Recomendações para fachadas com vistas a sua maior durabilidade e facilidade de manutenção*”, Simpósio Sobre Patologia das Edificações, CPGEC/UFRGS, Porto Alegre: RS(BR), pp. 251-261.
- Fabbri, K., Gaspari, J., Bartoletti, S., Antonini, E. (2020), *Effect of facade reflectance on outdoor microclimate: An Italian case study*. Sustainable Cities and Society. 54:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101984>.
- Ferreira, C., Canhoto, L., Silva, A., Brito, J. (2019), *Stochastic Petri-net models to predict the degradation of ceramic claddings*. Building Research & Information. 47(6):697-715. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1501873>.
- Freitas, J. G. (2012), “*A influência das condições climáticas na durabilidade dos revestimentos de fachada: estudo de caso na cidade de Goiânia-GO*”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.
- Gaspar, P, Brito, J. (2005), *Mapping defect sensitivity in external mortar renders*. Construction and Building Materials. 19(8):571-578. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.014>.

- Khan, N. A., Bhattacharjee, B. (2021), “*Methodology for Simultaneous Optimization of the Thermal, Visual, and Acoustic Performance of Building Envelope*”. Journal of Architectural Engineering. 27(3): 1-15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000474](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000474).
- Lee, J. (2021), “*Life Cycle Costing for Exterior Materials on Building Façade*”, Journal of Construction Engineering and Management. 147(7):1-11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002068](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002068).
- Maciel, A. C. F., Carvalho, M. T. (2019), *Operational energy of opaque ventilated façades in Brazil*. Journal of Building Engineering. 25:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100775>.
- Mazer, W., Silva, L. M. R., Lucas, E., Santos, F. M. C. (2016), *Evaluation of pathological manifestations in buildings in terms of geographical orientation*. Revista ALCONPAT. 6(2):145-156. <https://doi.org/10.21041/ra.v6i2.135>.
- Pereira, C., Brito, J., Silvestre, J. D. (2021), “*Harmonized Classification of Repair Techniques in a Global Inspection System: Proposed Methodology and Analysis of Fieldwork Data*”. Journal of Performance of Constructed Facilities. 35(1): 1-16. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001529](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001529).
- Postinger, C. M., Kremer, B. M., Rossatto, F. C., Pacheco, F., Christ, R. (2019), “*Avaliação das manifestações patológicas em revestimentos argamassados externos com VANT: estudo de caso em edificação multifamiliar do município de Garibaldi-RS*”, XV Congresso Latinoamericano de Patología de Construcción y XVII Congreso de Control de Calidad en la Construcción, CONPAT. 2:1-15. <https://doi.org/10.21041/CONPAT2019/V2PAT296>.
- Saviz, M., Luc E, C., Saeed, M. M. (2020), *Design strategies using multi-criteria decision-making tools to enhance the performance of building façades*. Journal of Building Engineering. 30:1-28. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101274>.
- Silva, A. F. (2007), “*Manifestações patológicas em fachada com revestimentos argamassados. Estudo de Caso em edifícios em Florianópolis*”, Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina.
- Silva, A. Dias, J. L., Gaspar, P. L., Brito, J. (2013), *Statistical models applied to service life prediction of rendered façades*. Automation in Construction. 30:151-160. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.028>.
- Silva, A., Brito, J., Gaspar, P. L. (2018), *A comparative multi-criteria decision analysis of service life prediction methodologies for rendered façades*. Journal of Building Engineering. 20:476-487. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.08.009>.
- Souza, J. Silva A., Brito, J. Bauer, E. (2018), *Service life prediction of ceramic tiling systems in Brasília-Brazil using the factor method*. Construction and Building Materials. 192:38-49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.084>.
- Souza, J. S., Piazzarollo, C. B., Bauer, E. (2019), “*Degradação nas diferentes zonas de fachadas em sistemas de revestimento*”, Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, XIII STBA, Goiania: GO(BR), pp. 136-144.
- Stolz, C. M., Masuero, A. B. (2015), *Analysis of main parameters affecting substrate-mortar contact area through tridimensional laser scanner*. Journal of Colloid and Interface Science. 455:16-23. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.05.028>.
- Thomaz, E. (2020), “*Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*”. 2. ed. 1ª reimp. São Paulo, Ed. Oficina de Textos.
- VanDemark, L., Clevenger, C. M., Click, M. (2021), “*Building Envelope Issues within Construction-Defect Litigation*”. Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction. 13(4): 1-20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000484](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000484).
- Vieira, S. M., Silva, A., Sousa, J. M. C., Brito, J., Gaspar, P. L. (2015), *Modelling the service life of rendered facades using fuzzy systems*. Automation in Construction. 51:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.12.011>.

Marco do Centenário: degradação, conservação e restauro de um painel modernista em mosaico

F. Costa ^{1*}, M.T. Barbosa ¹

*Autor de Contacto: fernando.costa@arquitetura.ufjf.br

¹ Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil.

RESUMO

A arte pública suscita o debate relativo as suas representações e inclui também as apropriações subjetivas através do convívio dos usuários com os espaços públicos. Nesse contexto, o presente trabalho aborda além da inserção do Marco do Centenário (1951), projetado pelo arquiteto Arthur Arcuri, com mosaicos de Di Cavalcanti, na Praça da República, Juiz de Fora (MG), o seu atual estado de conservação. Esta pesquisa de caráter qualitativo recorre à revisão bibliográfica para o desenvolvimento de questões próprias à arte pública e em mosaico, e para o diagnóstico do monumento, recorreu-se à análise *in loco* do seu estado de conservação e, em seguida, a aplicação da matriz de priorização GUT. Como resultados, nota-se, positivamente, a durabilidade dos materiais, no entanto ações urgentes são necessárias para o controle e reversão do intenso processo de degradação no qual encontra-se o Marco.

Palavra-Chave: Arte Pública; Mosaico; Manifestações Patológicas.

ABSTRACT

Public art raises the debate regarding its representations and also includes subjective appropriations through the coexistence of users with public spaces. In this context, the present research addresses the insertion of Marco do Centenário (1951), designed by architect Arthur Arcuri, with mosaics by Di Cavalcanti, in República square, Juiz de Fora (MG), and its current state of conservation. This qualitative research uses literature review for the development of issues specific to public and mosaic art, and for the diagnosis of the monument, the *in situ* analysis of its conservation status was used, and the application of the GUT prioritization matrix. As a result, the durability of the materials is positively noted, however urgent actions are needed to control and reverse the intense degradation process in which the Marco is found.

Keywords: Public Art; Mosaic; Pathological Manifestations.

RESUMEN

El arte público suscita el debate sobre sus representaciones y también incluye apropiaciones subjetivas a través de la interacción de los usuarios con los espacios públicos. En este contexto, el presente trabajo aborda, además de la inserción del Marco do Centenario (1951), diseñado por el arquitecto Arthur Arcuri, con mosaicos de Di Cavalcanti, en la Praça da República, Juiz de Fora (MG), su estado actual de conservación. Esta investigación cualitativa utiliza una revisión de la literatura para desarrollar temas específicos del arte público y del mosaico, y para el diagnóstico del monumento se utilizó un análisis *in situ* de su estado de conservación, seguido de la aplicación de la matriz de priorización GUT. Como resultado, la durabilidad de los materiales se nota positivamente, sin embargo, se necesitan acciones urgentes para controlar y revertir el intenso proceso de degradación en el que se encuentra el Marco.

Palabras Clave: Arte Publico; Mosaico; Manifestaciones Patológicas.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da arte pública acompanha as transformações ocorridas nos espaços públicos urbanos, sobretudo a partir do século XIX. Como destaca Abreu (2015, p. 15), localiza-se ao final daquele século o primeiro movimento de promoção explícita de arte pública (Bélgica e Estados Unidos) “devendo por isso situar-se aí as origens do ciclo da Arte Pública moderna: aquele em que a Arte Pública se opõe ao sistema de coleções mercantilizadas e/ou institucionalizadas de obras de arte”. Já no século XX, com o advento do movimento moderno e sua consolidação em países como os Estados Unidos - e por extensão o Brasil - a arte abstrata ganha destaque e propaga-se nos espaços públicos a partir de leis de incentivo fiscal e como meio para criação de “símbolos de uma nova identidade urbana” (FINKELPEARL, 2001, p.21).

Em Juiz de Fora (MG) o modernismo se destacou através da produção de arquitetos renomados como Oscar Niemeyer e Francisco Bolonha, além do arquiteto-engenheiro juiz-forano Arthur Arcuri. Conhecido por inúmeros projetos residenciais e institucionais, em 1949 Arcuri foi

designado a projetar um marco de comemoração ao centenário da cidade juntamente ao artista Di Cavalcanti, cujos detalhes serão explicitados adiante.

Ao longo do tempo, relatos do processo de deterioração do monumento foram identificados por veículos de imprensa da cidade e do estado. Em 2011, uma reportagem do Estado de Minas relatou: “onde havia um espelho d’água, o lixo se acumula – revistas velhas, garrafas pet, plásticos etc – e fezes garantem o mau cheiro”, além da “destruição das pastilhas de vidro, marcas de fogo na parede, pichação, quinas quebradas, além de sujeira e lixo espalhado” (WERNECK, 2011). Finalmente, em Junho de 2020 o Marco sofreu um grave incêndio, derretendo pastilhas de vidros que formam um mosaico ao centro da estrutura. Alguns dias depois, em vista de protegê-lo de novos danos, foi colocado um tapume em seu entorno.

Dessa maneira, é latente a discussão a respeito da arte pública, sua inserção na cidade contemporânea, seus processos de degradação natural e antrópica e, sobretudo, a recomendação de medidas para a conservação e restauro destes elementos significativos para a qualidade dos espaços públicos e presentes na imaginária urbana da comunidade na qual se inserem. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é efetuar o levantamento das anomalias no Marco do Centenário e, posteriormente, por meio da matriz de priorização GUT, elaborar estratégias de intervenção em favor da salvaguarda do monumento. Em síntese, este estudo produz uma análise do estado de conservação atual e indica métodos e meios para o restabelecimento da integridade do monumento e sua futura preservação.

2. ARTE PÚBLICA

A conceituação de arte pública avançou muito desde meados da década de 1990, abarcando, cada vez mais, linguagens contemporâneas pautadas no ativismo sociopolítico e cultural e na efemeridade. Contudo, para o recorte do presente artigo, ressalta-se seu aspecto enquanto monumento, ou seja, estrutura material erigida em comemoração com intuito de preservar feitos ou personalidades de uma determinada sociedade.

Como indica Novais (2010), "por muitos séculos o monumento escultórico tradicional, demarcou os espaços da cidade, testemunhando o que aí se fez e o que ali ocorreu. Atos ou acontecimentos que marcantes na vida de uma cidade eram impressos para sempre em figuras feitas de pedra ou bronze". Prossegue afirmando que, na maioria das vezes, era fruto de propostas estatais, visavam à comemoração de feitos ou marcos, e "geralmente eram concebidas de acordo com as condições do espaço determinado para sua construção". Cabe ressaltar que este processo de inscrição de feitos e personagens históricos como marcos paisagísticos e morais para a posteridade são amplamente debatidos e questionados na atualidade.

Com o desenvolvimento do movimento moderno, a nova cidade idealizada “anula completamente o espaço público, e este se dilui em avenidas de trânsito e grandes zonas verdes sem personalidade e sem qualidade”. Com essa afirmação, Novais questiona a relação que escultura desenvolverá nestes espaços, uma vez que as obras são dispostas “sem estudo prévio, sem expressividade, demonstrando uma total incompatibilidade com as formas arquitetônicas modernas”, já que os critérios modernistas como “a liberdade do artista, o espírito instintivo ou a unidade e exclusividade da obra não contemplam nem o lugar nem os interesses do público, ignorando os conteúdos a audiência e o processo de aquisição de especificidade do ambiente” (NOVAIS, 2010, p.43).

No entanto, neste período destaca-se um método particular altamente empregado pelos arquitetos modernistas brasileiros e cuja aplicação junto ao projeto arquitetônico e paisagístico promoveu uma “comunhão das artes”. Os mosaicos criados a partir de pastilhas vítreas e conjuntos monumentais formados em azulejo são encontrados em grande número por cidades como Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Cataguases e, especialmente, Brasília. Alguns nomes proeminentes dessa manifestação artística são: Cândido Portinari, Athos Bulcão e Paulo Werneck.

O monumento apresentado por este estudo, o Marco do Centenário (vide Figura 1), insere-se neste contexto. Projeto modernista em concreto armado da metade do século XX, promoveu o encontro de um importante arquiteto juiz-forano, Arthur Arcuri, ao artista plástico carioca Di Cavalcanti.



Figura 1. Marco centenário de Juiz de Fora. Fonte: Processo nº 1906, 1996. DIPAC. FUNALFA.

Cabe mencionar que os danos causados à arte pública poderão estar associados a pelo menos um dos fatores: intrínsecos, que são inerentes à construção (incluem as falhas humanas durante a construção, a utilização e as causas naturais) e/ ou extrínsecos (que possuem origem externa como, por exemplo, falhas humanas durante o projeto, sua utilização e as ações químicas, biológicas e mecânicas) (SOUZA; RIPPER, 1998).

Devem-se considerar, nesse caso, as ações antrópicas responsáveis por degradações à arte pública, sobretudo a partir de ações de vandalismo. Segundo Moser (1992, p.52) tais atos advêm dos mais variados estímulos, abrangendo comportamentos singulares cuja genérica definição enquanto “dilapidação ou destruição de um objeto ambiental” desconsidera qualquer referência à motivação do vândalo, ao aceitar, por exemplo, que este último não pode ser conhecido.

Nesse contexto, Abreu (2015) menciona que dentre os fatores responsáveis pelo vandalismo da arte pública destacam-se a localização que, por muitas vezes, fortalece a sua vulnerabilidade, principalmente se considerarmos a heterogeneidade do público, além do caráter político, religioso e cultural que poderá despertar sensações contraditórias na população.

3. A CIDADE DE JUIZ DE FORA/MG E O MARCO DO CENTENÁRIO

Juiz de Fora, principal centro urbano da Zona da Mata Mineira, detém uma economia diversificada e uma população de 573.285 habitantes segundo projeções para 2020 do censo do IBGE. Outrora conhecida por "Manchester Mineira", a cidade que foi grande polo têxtil, hoje se destaca por seu setor terciário e por suas instituições de ensino superior, com destaque para a Universidade Federal de Juiz de Fora. O Marco do Centenário, idealizado em 1949 como símbolo de desenvolvimento e prosperidade, situa-se no bairro Poço Rico, próximo ao centro da cidade, cuja conformação se deu a partir de uma zona pantanosa cortada pelo Rio Paraibuna (OLIVEIRA, 1966 apud VIANA, 2017).

A cidade que, desde muito cedo se inspirou nos ares modernizadores advindos da capital federal - à época o Rio de Janeiro - empreendeu "um sistemático processo de embelezamento de seu espaço público por meio de calçamento feito de paralelepípedos, novos projetos de praças, e também inserção de objetos urbanos". Viana (2017, p.24) prossegue, indicando que esses objetos seguiram uma lógica específica na cidade. Primeiramente o caráter utilitário, "com a construção de chafarizes (para garantir o abastecimento de água) e cruzeiros (para assegurar a ocupação e proteção divina de seus espaços urbanos)"; seguido pelo caráter estético, "por meio de monumentos, bustos,

estátuas que tinham função básica de rememoração e comemoração (a exemplo de tantos que estão presentes no Parque Halfeld, Largo do Riachuelo, etc.); e, mais recentemente pelo caráter efêmero, "por meio das inúmeras iniciativas de arte pública que podem ser observadas ao se transitar pela cidade (presente em muros, fachadas, canteiros das praças, ruas e avenidas)".

Viana (2017) menciona que o monumento (vide Figura 2) é constituído de alvenaria cerâmica, com espessura de 20 cm, sobre um baldrame de concreto armado (PJF, PROCESSO Nº 1906/1996); no sentido leste-oeste, a parede ascendente encerra-se em leve curvatura, bem como na lateral direita, também curvada, formando um semicírculo, onde no centro há uma haste de cimento em contraposição - em forma de poste (DAHER, 15 jul.1995) - com altura aproximada de 12 metros; a lateral esquerda se volta para frente, em curva pouco acentuada e possui uma altura, na região mais íngreme igual a 3,95m com uma inclinação regular, já a lateral direita, encerra-se numa altura de 0,50m ao final do semicírculo. Esse monumento foi concebido para ficar dentro de um espelho d'água de formato irregular revestido de cimento e com altura de 0,40m (PJF, PROCESSO no 1906/1996).

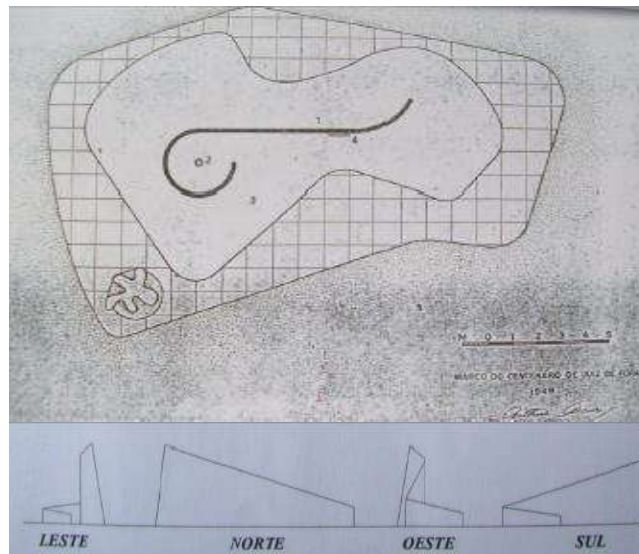


Figura 2. Planta Baixa e Vistas do Marco do Centenário. Fonte: PJF. DIPAC. Processo nº 1906, 1996.

Pastilhas vítreas de coloração azul revestem toda a extensão da fachada sul e brancas, bem como o mosaico de Di Cavalcanti na fachada norte. Segundo Lourenço (1995), o mural aplicado ao marco é a primeira realização abstrata em pastilhas vítreas dispostas em espaço público no país, marcado por ziguezagueantes e angulosas - que seriam exploradas pelo artista em outros trabalhos - e a figuração de três personagens representantes das etnias formadoras do povo brasileiro - indígenas, negros e portugueses - com os braços erguidos, similar a escultura "Guerreiros", realizada por Bruno Giorgi na Praça dos Três Poderes em Brasília (MOSAICOS, sem data).

Como destaca Viana (2017, p.108), o monumento foi descrito em 1956 na "Revista Lar Católico" como "a espiral do progresso na cidade industrial", o que segundo o autor reflete à forma inovadora pelo qual o monumento foi construído, diferenciando-se do conjunto escultórico da cidade, até então formado majoritariamente por bustos. "Trata-se do primeiro monumento sob os preceitos do modernismo na cidade" celebrando, portanto, "a comemoração dos cem anos de progresso da cidade".

Sobre seu estado de conservação, além do levantamento das notícias em periódicos mineiros (TRIBUNA DE MINAS; ESTADO DE MINAS) anunciando a gradativo processo de degradação do monumento, Viana (2017) também aborda essa problemática afirmando que, apesar de sua representatividade e daquele espaço público, estes aspectos não impediram o descaso e abandono.

4. METODOLOGIA

O presente trabalho divide-se em três etapas principais: (1) levantamento das manifestações patológicas; (2) apresentação ao diagnóstico; e (3) análise e discussões.

Na execução da primeira empregaram-se procedimentos não destrutivos, a saber:

- i) Análise visual identificando, inicialmente, as fissuras e com o emprego de fissurômetro, a avaliação da abertura das fissuras existentes que em muito comprometem a durabilidade da construção, já que permite o acesso de água e agentes agressivos ao interior no material acelerando o processo de degradação;
- ii) Ensaio de esclerometria (NBR 7584 (ABNT, 2012)) modelo Silver Schmit, da marca Proceq. Trata-se de um equipamento que possibilita a avaliação da dureza superficial do concreto endurecido e, conseqüentemente, sua qualidade.

Sendo assim, com os dados levantados em campo, foi possível uma análise de um plano de intervenção para manutenção do local. Para isso, tomou-se como base a metodologia de gerenciamento GUT. Essa metodologia de priorização de atividades surgiu nas indústrias americanas e japonesas, como uma forma de solucionar problemas complexos quando não era possível elucidar todos simultaneamente, então, desenvolve-se uma ferramenta que fosse capaz de avaliar o evento ocorrido com base em critérios de Gravidade, Urgência e Tendência (KEPNER; TREGOE, 1981).

Neste procedimento, são atribuídos valores em uma escala de 1 (um), sendo este a classificação de problemas menores, à 5 (cinco), considerado o nível de problemas mais desafiadores e complexos, para os critérios de Gravidade, Urgência e Tendência (vide quadro 1).

Tabela 1. Critérios da metodologia GUT.

Pontos	Gravidade	Urgência	Tendência
Definições	É a intensidade danos que podem ocorrer caso não ocorra intervenção	Tempo estimado para resolução de uma determinada situação.	Padrão evolutivo, quando ausente ações
5	Extremamente grave	Imediatamente	Piora muito, ou rapidamente
4	Muito grave	Curto prazo	Aumenta ou piora em pouco tempo
3	Grave	Prazo médio	Permanece igual ou piora em médio prazo
2	Pouco grave	Longo prazo	Reduz ou piora em longo prazo
1	Sem gravidade	Longuíssimo prazo	Desaparece ou não piora

Fonte: Adaptado de Sotille (2014).

Segundo Sotille (2014), o valor dado para cada um dos critérios, de acordo com cada demanda, é então multiplicado entre os mesmos, realizando-se o cálculo de GUT (= G x U x T). O produto

dessa multiplicação revelará qual será a primeira necessidade a ser suprimida, uma vez que esta terá o maior valor de produto em relação às demais solicitações.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Na vistoria inicial efetuada no objeto de estudo, constatou-se inúmeros pontos com ausência de pastilhas cerâmica; o completo abandono do local; os danos causados pelo incêndio ocorrido em 2020; a presença de umidade que propicia o desenvolvimento de micro-organismos; e a presença de vegetação nos pontos de infiltração de água que tendem a acelerar a degradação dos materiais, conforme identificado pela Figura 3.



Figuras 3. Vistoria do Marco centenário de Juiz de Fora. Fonte: Os autores, 2021.

Devido às inúmeras fissuras, procedeu à medição de sua abertura onde se constatou aberturas na ordem de 0,2 a 0,4 mm, caracterizadas, segundo sua configuração ortogonal à direção dos esforços de tração (vide Figura 4) que ocorre em uma parede de alvenaria homogênea, com boa aderência entre a junta de argamassa e os componentes da alvenaria (Thomaz, 1989).

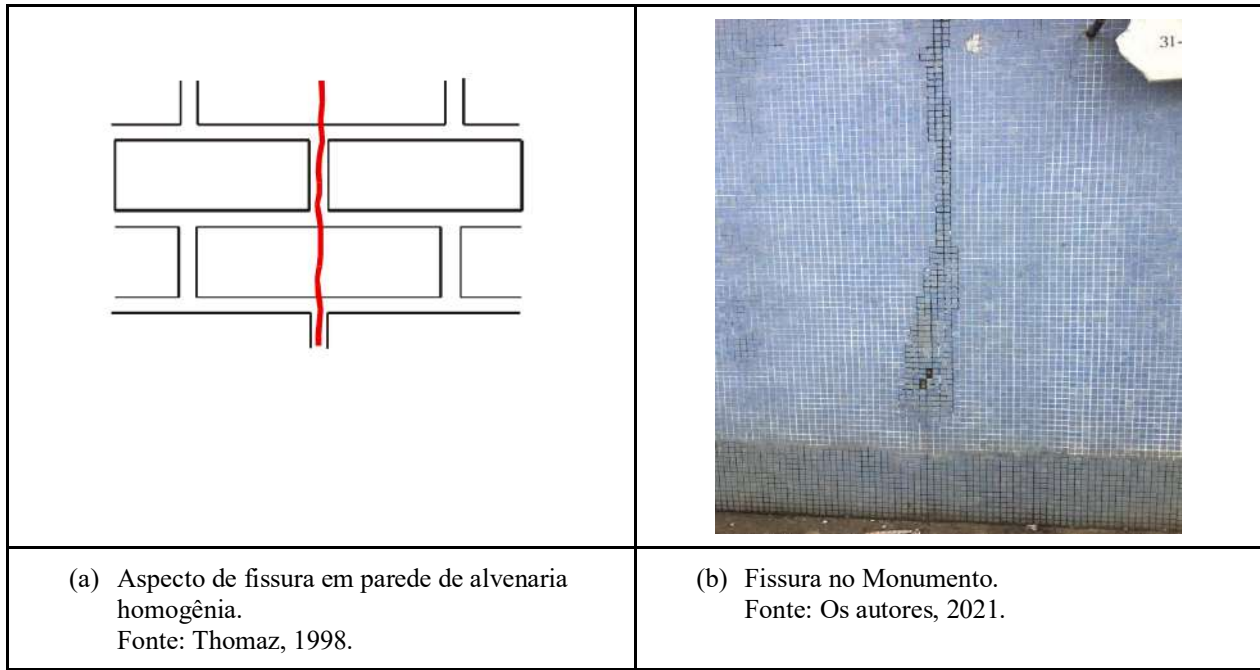


Figura 4. Aspectos das fissuras no Monumento.

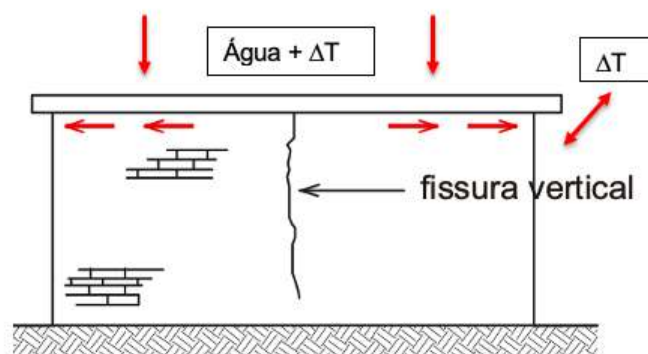


Figura 5. Movimentação higrotérmica dos materiais. Fonte: Adaptado de Duarte, 1998.

A presença dessas fissuras no momento são provocadas pela dilatação e contração do painel de alvenaria, que resulta em fissuras verticais regularmente espaçadas, sendo frequentemente

encontrados em paredes longas, muros, etc, como o objeto de estudo e decorrem da ausência de juntas de dilatação.

A fim de se complementar o estudo proposto, efetuou-se o ensaio de esclerometria na argamassa de revestimento do painel de alvenaria nos pontos onde não havia pastilha cerâmica. Foi possível constatar que as resistências mecânicas são: 36 MPa, 28,90 MPa e 22,50 MPa nas regiões P1, P2 e P3, respectivamente.

Cabe esclarecer que o P3 além de possuir a presença de fissura é uma região visivelmente úmida, sendo assim, sua resistência é comprometida em cerca 37%, o que tende a prejudicar a vida útil dos materiais. Outro indicativo da umidade presente na estrutura do marco é o acúmulo de fungos e musgos nas áreas que apresentam destacamento das pastilhas vítreas e coloração escura, além do aparecimento de vegetação parasitária em sua base (conforme se verifica na Figura 3).

Referente à reparação e preservação relacionada aos serviços de construção, também podem ser consideradas as condições de contorno que são resultantes de erros na qualidade do projeto e / ou na escolha do material utilizado no revestimento das fachadas, bem como as decorrentes do ambiente onde o edifício está inserido e suas alterações, pois comprometem a durabilidade e o ciclo de vida das edificações. Nesse sentido, é possível estimar o ciclo de vida da estanqueidade do monumento, conforme mostrado na Tabela 2 e na equação 1 (WALSH, 2012; PHILLIPSON, EMMANUEL, BAKER, 2016).

$$VU_{ESTIMADA} = VU.A.B.C \quad (1)$$

Onde: $VU_{ESTIMADA}$ - ciclo de vida estimado do monumento, em anos;

VU - vida útil mínima, geralmente prescrito na m normas, ou seja, 40 anos no que diz respeito à ABNT: NBR 15575 (ABNT, 2013);

A, B, C - indicador, vide Tabela 2.

Tabela 2. Os indicadores da estanqueidade do monumento pelas características de qualidade e ambiente (adaptado de BARBOSA *et al*, 2021).

Indicadores		Termos de uso		
		RUIM	REGULAR	BOM
A	PROJETO: detalhe construtivo	0,8	1,0	1,2
B	MATERIAL DE REVESTIMENTO: impermeabilidade	0,8	1,0	1,2
C	AMBIENTAL: resistência à chuva	0,8	1,0	1,2

No cálculo do ciclo de vida útil estimado, foi adotado o valor mínimo estimado pela padronização brasileira (40 anos) (NBR 15575 (ABNT, 2013)), sendo assim:

$$VU_{ESTIMADA} = 40. 0,8. 1,2. 0,8 = 30,72 \text{ anos}$$

Neste contexto, é possível verificar que, no que se refere ao monumento, onde há presença de águas pluviais incidentes, esta terá uma redução estimada em cerca de 20%. Neste sentido, os indicadores de estanqueidade do material de revestimento a ser empregado no reparo devem ser considerados na realização de serviços de reparação.

A partir deste levantamento, elaborou-se a matriz GUT (Tabela 3), ou seja, a avaliação da urgência na solução de cada manifestação patológica identificada no Marco do Centenário, de forma a possibilitar uma gestão nos serviços de reparo.

Tabela 3. Aplicação da Metodologia GUT.

Manifestações Patológicas	Causas Prováveis	Local	Grau G x U x T			Total
			G	U	T	
Destacamento de pastilhas	Ausência de reparos ao longo do tempo	Especialmente, fachada norte e lateral oeste	4	5	4	80
Umidade	Exposição devido ao destacamento de pastilhas	Aparentemente, por toda estrutura	3	4	4	48
Fissuras	Exposição devido ao destacamento de pastilhas	Fachada norte	3	4	3	36
Manifestação de agentes biológicos	Áreas úmidas devido ao destacamento de pastilhas	Fachada norte e lateral oeste	3	4	3	36

A partir do cálculo GUT presente na Tabela 3, através da qual são avaliadas a gravidade, urgência e a tendência dos danos sobre o monumento, pode-se traçar as estratégias de intervenção pontuais relativas ao estado atual de cada manifestação patológica.

Com **valor 80**, o destacamento de pastilhas é a manifestação patológica mais grave. Dessa maneira, é urgente realizar a remoção de todas as pastilhas ainda presentes no Marco ou protegê-las fisicamente das intempéries para a preservação e salvaguarda das originais. Além disso, recuperar e reparar aquelas que se encontram espalhadas pelo entorno e reconstituir as partes faltantes.

Em seguida, com **valor 48**, encontram-se os pontos de umidade. Isso quer dizer que tais manifestações são muito graves, sendo necessária sua correção em curto prazo, devido ao rápido agravamento. Superficialmente, a estrutura recebe bastante radiação solar mantendo-se seca, no entanto, a exposição através de zonas descobertas propicia a umidade que poderá atingir níveis mais elevados e profundos em seu interior.

Finalmente, com **valor 36** e representando um tipo grave estão, respectivamente, as fissuras e os agentes biológicos como fungos, musgos e vegetação parasitária. A piora nas fissuras propicia a entrada de mais umidade na estrutura além da possibilidade de se estender a zonas ainda preservadas facilitando novos destacamentos das pastilhas vítreas, e, apesar de serem elementos orgânicos - portanto, desenvolvem-se rapidamente agravando a situação-, ainda são bastante pontuais, concentrando-se em áreas cujas pastilhas vítreas estão destacadas.

Cabe ressaltar dois pontos que não caracterizam manifestações patológicas, no entanto, são responsáveis pelo estado de considerável degradação do monumento, sendo necessária a imediata correção, a saber: eliminação de todo o acúmulo de dejetos no interior da barreira física montada ao redor da estrutura, uma vez que tal problema aumenta e/ou pode piorar rapidamente, acentuando a insalubridade do local atraindo inclusive animais vetores de doenças, além da remodelação da estrutura e dos meios de protegê-la das intempéries.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A arte pública, independentemente de sua forma ou espacialização, é capaz de promover diversos debates e reflexões nos indivíduos. Como visto, as respostas emocionais dos sujeitos diante desses elementos podem ser plurais, acarretando, inclusive, danos à integridade do bem. Como ocorre com o monumento analisado por este estudo, o Marco do Centenário, localizado na cidade mineira de Juiz de Fora, a soma de fatores intrínsecos e extrínsecos provocou o estado de profunda e elevada degradação.

Controverso quando de sua inauguração devido à forma arrojada, o Marco parece alcançar o desejo de materializar o progresso e a modernidade daquela cidade industrial. No entanto, pouco resta do legado de tal celebração em pleno século XXI, muito devido ao descuido em sua preservação, somado à dinâmica de seu entorno, com circulação majoritariamente de passagem de veículos.

Desde 1996, data de sua restauração, até contar com um novo projeto em 2014, que não foi realizado, o Marco esteve sujeito à degradação causada por intempéries e pela ação antrópica - situação amplamente denunciada pela imprensa regional. A pouca circulação na Praça da República e o uso constante daquela “infraestrutura” por moradores em situação de rua acabou produzindo sucessivos danos ao Marco, sendo o mais grave deles um incêndio acidental em Julho de 2020 que danificou a integridade do mosaico de Di Cavalcanti.

A análise executada *in loco* indica um progressivo processo de deterioração da estrutura construída do monumento com destacamentos das pastilhas vítreas, proliferação de fungos, musgos e vegetação parasitária e elevação do índice de umidade, bem como seu entorno imediato, repleto de lixo e fezes, tornando aquele ponto um perigoso local para propagação de doenças.

Por fim, a situação encontrada no entorno do Marco do Centenário atualmente denuncia graves crises socioculturais, entre elas e descuido com um bem histórico de elevada importância para o movimento moderno brasileiro - pelo pioneirismo de sua forma e conteúdo - além da situação de vulnerabilidade social daqueles que, apesar do péssimo estado do local, continuam a frequentá-lo.

7. AGRADECIMENTOS

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

8. REFERÊNCIAS

Abreu, J. (2015). As Origens Históricas da Arte Pública. In: *Convocarte*. 1:14-27.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Desempenho de Edificações Habitacionais*. Rio de Janeiro.

Barbosa, M. T; Rosse, V. J.; Laurindo, N. (2021). Thermography evaluation strategy proposal due oisture damage on building facades. *J. Building Engineering*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102555>

- Correia, V. (2015). O Vandalismo da Arte Pública. In: *Convocarte*. 1:77-89.
- Duarte, R. B. (1998) Fissuras em alvenarias: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação. Porto Alegre: “CIENTEC”. (Boletim técnico, 25).
- Finkelppearl, T. (2001). “*Dialogues in Public Art*”. Cambridge, USA.
- Kepner, C.; Tregoe, B. (1981) “*O administrador racional*”. São Paulo: Atlas.
- Lourenço, M. (1995). “*Operários da Modernidade*”. São Paulo, Brasil.
- Marco do Centenário será revitalizado. Tribuna de Minas, Juiz de Fora, 21 out 2014. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/noticias/cultura/21-10-2014/marco-do-centenario-sera-revitalizado.html>. Acesso em: 01 jan 2021.
- Morais, M. Marco do Centenário, em Juiz de Fora, é incendiado. Tribuna de Minas, Juiz de Fora, 01 jul 2020. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/noticias/cultura/01-07-2020/marco-do-centenario-em-juiz-de-fora-e-incendiado.html>. Acesso em: 01 jan 2021.
- Mosaicos do Brasil. *Painéis de Di Cavalcanti de S. Paulo a Juiz de Fora*. Disponível em: <https://mosaicodobrasil.tripod.com/id88.html>. Acesso em: 01 jan 2021.
- Moser, G. (1992). What is Vandalism. In: ROOS, H-E. “*Vandalism as a Symbolic Act in Free Zones*”. Seattle, USA.
- Novais, N. (2010). Escultura e cidade: uma relação ampliada no âmbito da contemporaneidade. In: “*Cultura Visual*”. 14: 41-52.
- Phillipson, M. C.; Emmanuel R.; Baker P. H. (2016) The durability of building materials under a changing climate. *WIREs, Clim Change*. 590-599. DOI: [10.1002/wcc.398](https://doi.org/10.1002/wcc.398)
- Restauração do Marco do Centenário sem previsão. Tribuna de Minas, Juiz de Fora, 15 jan 2012. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/noticias/cultura/15-01-2012/restauracao-do-marco-do-centenario-sem-previsao.html>. Acesso em: 01 jan 2021.
- Sanglard, J. Abandono de obra modernista. Tribuna de Minas, Juiz de Fora, 12 jan 2012. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/opiniao/tribuna-livre/12-01-2012/abandono-de-obra-modernista.html>. Acesso em: 01 jan 2021.
- Sotille, M. GUT – Gravidade, Urgência e Tendência. PM Tech Capacitação em Projetos.
- Souza, V. C.; Ripper, T. (1998) “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*”. São Paulo: Pini.
- Thomaz, E. (1989) “*Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*”. São Paulo: Pini.
- Viana, F. (2017) “*Monumentos, esculturas e espaço público. A imaginária urbana em Juiz de Fora*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Walsh, J. P. (2012) Protection of humanity’s cultural and historic heritage in space. *Space Policy*. 28.4, 234-243. DOI: [10.1016/j.spacepol.2012.04.001](https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2012.04.001).

Manifestações Patológicas causadas por erros em concepção estrutural de edifícios altos: um estudo de caso

D.V.C. Teles¹, D.M. Santos¹, R.N. Cunha^{2*}, C.S. Vieira¹, D.L.N.F. Amorim^{1,2}

*Autor para contato: rafael.cunha@ctec.ufal.br

¹ Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil

Resumo

A concepção é a etapa inicial de um projeto estrutural onde busca-se posicionar os mais diversos elementos de um sistema, tais como as vigas, os pilares, as lajes e entre outros. Escolhas inadequadas nessa etapa podem causar grandes problemas futuros para as edificações, como a perda da estabilidade global, que acarreta o aumento dos esforços internos, que pode levar ao surgimento de manifestações patológicas. Neste sentido, este trabalho buscou, por meio de uma análise estrutural, verificar a influência da concepção estrutural de um edifício brasileiro nas manifestações patológicas que vieram a surgir na etapa de pós-ocupação.

Palavras chave: Concreto armado; Manifestações patológicas; Edifícios altos; Estabilidade estrutural.

Teles, D. V. D., Santos, D. M., Cunha, R. N., Vieira, C. S., Amorim, D. L. N. F. 2021, Manifestações patológicas causadas por erros em concepção estrutural de edifícios altos: um estudo de caso. Proceedings of XVI Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y VIII Congreso de Control de Calidad en la Construcción. v. X, pp. X-X.

Abstract

The conception is the initial stage of a structural design, which it seeks to position the most diverse elements of a system, such as beams, columns, slabs and others. Inadequate choices at this stage may cause major future problems for buildings, such as the loss of global stability, which leads to an increase in internal forces, that may lead to the emergence of pathological manifestations. In this sense, this paper searched, through a structural analysis, to verify the influence of the structural design of a Brazilian building in the pathological manifestations that came to appear in the post-occupation stage.

Keywords: Reinforced concrete; Pathological manifestations; Tall buildings; Structural stability.

Resumen

La concepción es la etapa inicial de un diseño estructural, que busca posicionar los más diversos elementos de un sistema, como vigas, pilares, losas y otros. Las elecciones inadecuadas en esta etapa pueden generar grandes problemas futuros para los edificios, como la pérdida de la estabilidad global, que conduce a un aumento de las fuerzas internas, que pueden conducir a la aparición de manifestaciones patológicas. En este sentido, este trabajo buscó, con el uso de análisis estructural, verificar la influencia del diseño estructural de un edificio brasileño en las manifestaciones patológicas que llegaron a aparecer en la etapa de post-ocupación.

Palabras clave: Concreto reforzado; Manifestaciones patológicas; Edificios altos; Estabilidad estructural.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os sistemas estruturais mais utilizados em edifícios de concreto armado de 15 a 20 pavimentos são formados somente por pórticos ou sistemas duais, ou seja, compostos por pórticos e pilares-parede ou um núcleo rígido. No primeiro caso, o sistema de contraventamento é composto apenas por pilares e vigas, onde por meio da rigidez à flexão do conjunto torna-se possível resistir a atuação das cargas laterais e verticais. Enquanto no modelo de pórticos com núcleo rígido, combate-se as ações adicionando a vigas e pilares um núcleo estrutural com alta rigidez, constituído por um ou mais pilares com seção transversal de dimensões muito superiores aos demais elementos. A escolha de um adequado sistema estrutural é de suma importância para a obtenção de uma estrutura que possua boas características de segurança e durabilidade. Erros de concepção podem levar à instabilidade global nas estruturas, que podem causar o surgimento de manifestações patológicas nas edificações durante a sua vida útil.

Em muitos casos, as manifestações patológicas estão associadas ao comportamento global da edificação, como recalques diferenciais das fundações e deslocabilidade lateral da construção. Métodos simplificados podem ser utilizados para avaliar a estabilidade global de estruturas. A NBR 6118 (2014) indica o uso dos parâmetros α e γ_z para esta avaliação. O primeiro foi desenvolvido por Beck e König (1966), enquanto que o segundo, por Franco e Vasconcelos (1991).

Foram realizados estudos relacionando ambos os parâmetros em diferentes estruturas (Carmo et al., 1995; Campoó et al., 2005; Menezes et al., 2020).

O coeficiente γ_z tem sido muito utilizado devido à sua fácil aplicação em programas comerciais de cálculo estrutural. Apesar de simplificado, o método possui boa capacidade de estimar os esforços de segunda ordem das estruturas (Feitosa; Alves, 2015; Bueno; Loriggio, 2016; Freitas et al., 2016). Ainda assim, devido à importância da análise de estabilidade global de estruturas, outros trabalhos têm sido realizados propondo critérios similares (Vieira et al., 2017; Elwanger, 2019; Cunha et al., 2020). Neste sentido, uma avaliação incorreta da estabilidade pode acarretar em diversas manifestações patológicas na estrutura ou até mesmo o colapso (Jesus et al., 2020).

Um caso real de manifestações patológicas associadas à instabilidade estrutural foi apresentado por Fusco (1996), em que tal correlação se confirma por meio de um cálculo manual. Em seguida, Jesus et al. (2020) mostram como o coeficiente γ_z ajuda a explicar as manifestações patológicas deste caso. Na verdade, Jesus et al. (2020) não se atêm às manifestações patológicas em si, pois se verificou por meio do coeficiente γ_z e de análises P- Δ que o edifício entraria em colapso mesmo sem a ação horizontal do vento, o que explica, em linhas gerais, as manifestações patológicas severas por toda a edificação. É importante notar que a estrutura não entrou em colapso porque foi feito um trabalho de recuperação com chapas metálicas e tirantes, conforme explica Fusco (1996), de modo a garantir a estabilidade global da edificação.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo apresentar o estudo de caso sobre a influência da concepção estrutural nas manifestações patológicas do edifício apresentado em Fusco (1996). Para isso, foram avaliados os esforços internos, obtidos via simulações numéricas utilizando o modelo de pórtico espacial combinado a metodologia de grelha equivalente. Algumas manifestações patológicas são analisadas separadamente, de modo que sua ocorrência seja justificada com base na teoria das estruturas e nas diretrizes da NBR 6118 (2014).

2. ESTUDO DE CASO: PADRÃO DE FISSURAÇÃO

O estudo de caso apresentado neste trabalho trata de quatro edifícios de concreto armado idênticos que apresentaram as mesmas manifestações patológicas, conforme relatado em Fusco (1996). Os edifícios foram construídos simultaneamente, possuindo 15 pavimentos acima do nível do baldrame, além da cobertura, e dimensões de aproximadamente 47 m de altura, 32 m de largura e 12 m de comprimento. Dados como nome do empreendimento, projeto arquitetônico, data do projeto, projeto de fundações, detalhamento do projeto estrutural e maiores detalhes construtivos não são informados em Fusco (1996). A planta de forma do pavimento tipo, adaptada do trabalho anteriormente citado, é apresentada na Figura 1.

Foram notadas fissuras iniciais (tipo 1) em todos os pavimentos dos quatro edifícios quando ainda estavam em fase de construção (Figura 2). Estas fissuras eram visíveis na face inferior das lajes, mas só causaram preocupação após o final da obra devido ao alto número de reclamações dos proprietários dos apartamentos. Após uma investigação, observou-se que as fissuras cortavam as lajes face a face.

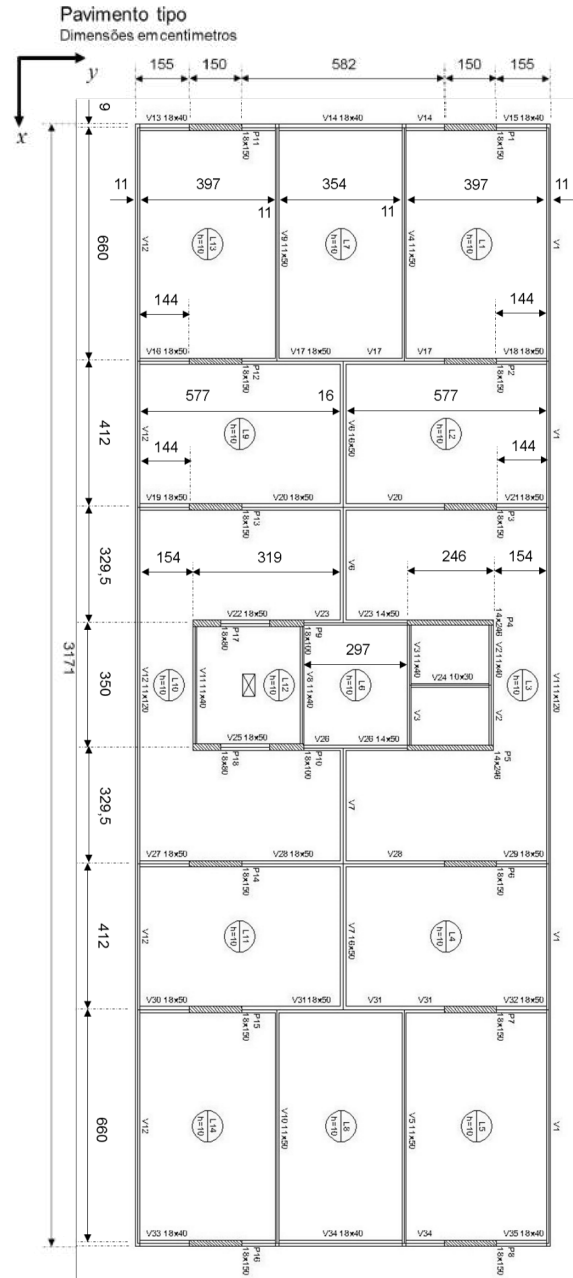


Figura 1. Planta de forma da estrutura. Fonte: adaptado de Fusco (1996).

Posteriormente, foi realizada uma vistoria inicial que constatou um nível bastante significativo de fissuração (Figura 3). Foram registradas fissuras verticais (tipo 2), rupturas localizadas em cruzamentos de alvenarias (fissuras tipo 3) e uma fissura em uma parede revestida (tipo 3'), além das fissuras de canto já relatadas anteriormente na Figura 2. Após esta vistoria, observações permanentes foram realizadas nos edifícios.

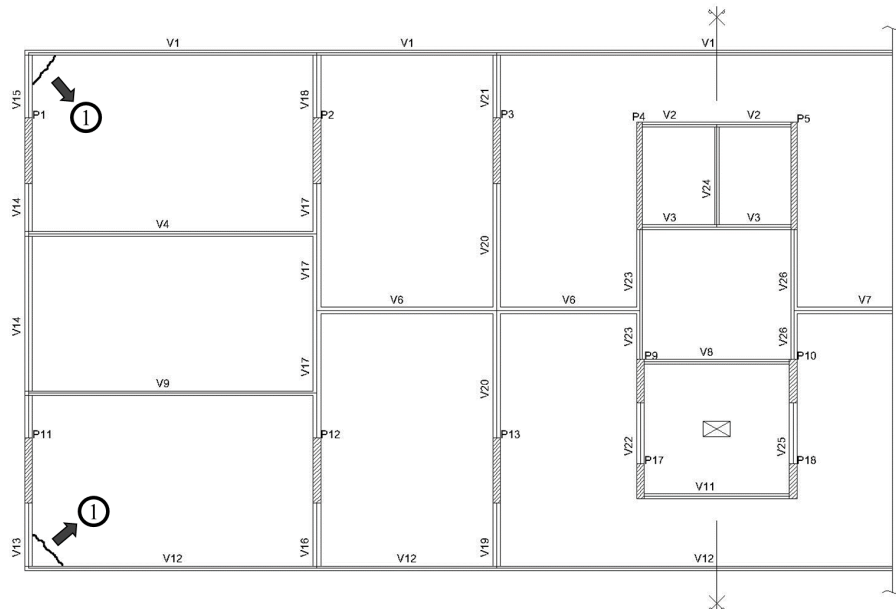


Figura 2. Observações iniciais relatadas. Fonte: adaptado de Fusco (1996).

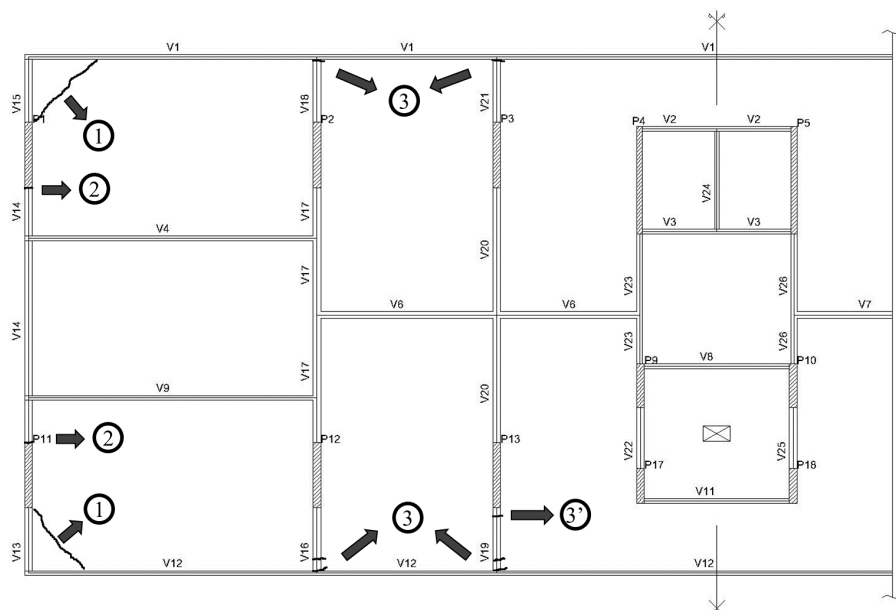


Figura 3. Dia 01: fissuras relatadas após vistoria. Fonte: adaptado de Fusco (1996).

Após oito dias de observação, a situação já tinha se agravado significativamente, ocorrendo a evolução das fissuras relatadas anteriormente e o surgimento de novas fissuras nos contatos entre alvenarias e peças estruturais (fissuras tipo 4 e 5). Surgiram também as primeiras rupturas das lajes situadas no eixo de simetria da estrutura (tipo 6) (Figura 4).

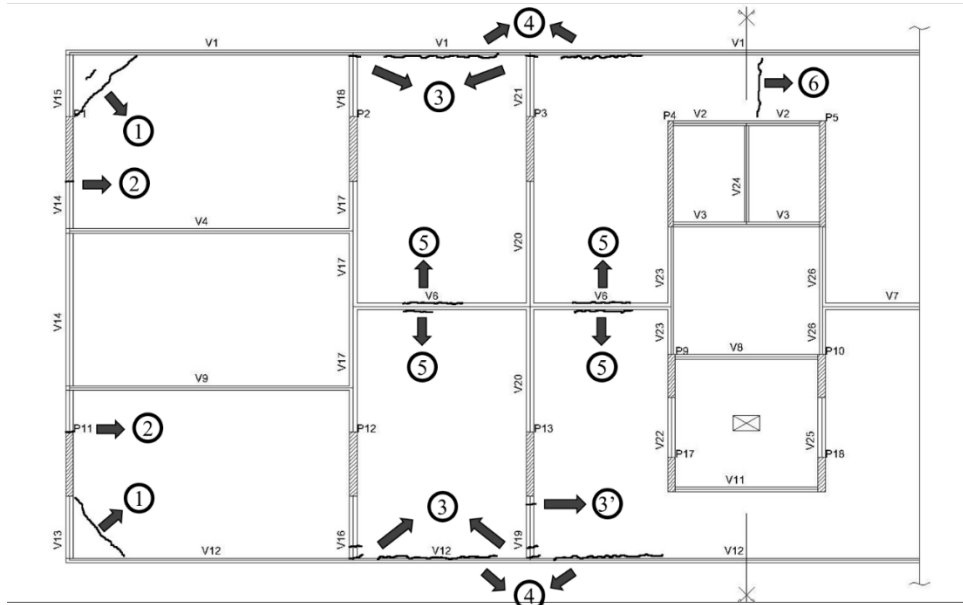


Figura 4. Dia 08: situação das fissuras relatadas e aparecimento de novas fissuras. Fonte: adaptado de Fusco (1996).

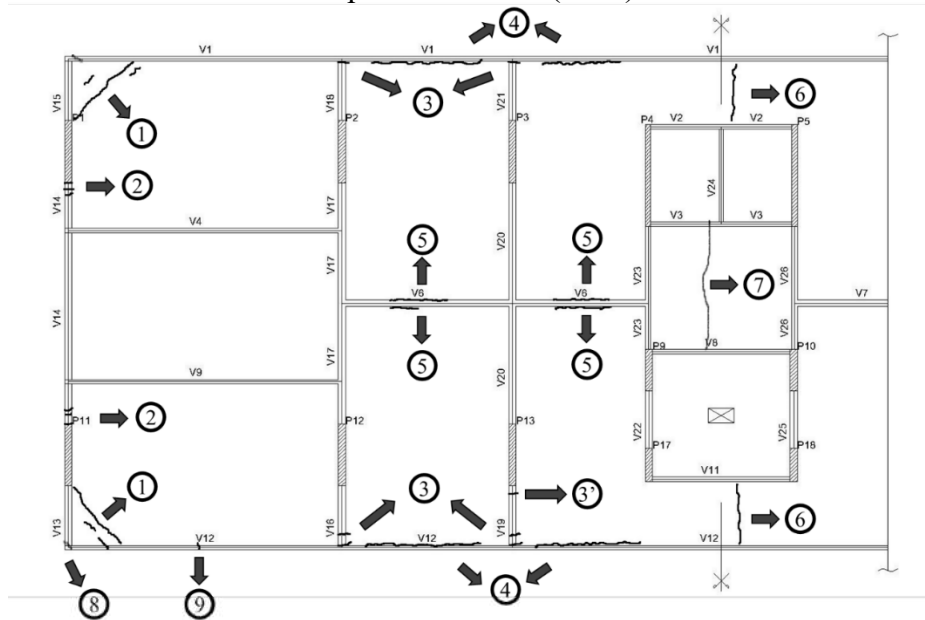


Figura 5. Dia 10: situação crítica. Fonte: adaptado de Fusco (1996).

No décimo dia de observação o panorama era extremamente crítico, as fissuras tipo 6 e 7 em um dos edifícios se prolongavam pelas alvenarias e se estendiam por quatro andares consecutivos. Além disso, havia evidências do seccionamento inteiro das vigas longitudinais da fachada (fissuras tipo 8 e 9). Com todas as observações relatadas, surgiu a hipótese de que os edifícios tendiam a se partirem em dois pedaços (Figura 5). Além disso, observou-se que a fissuração não tinha uma tendência clara de agravamento em função da posição do pavimento, o que dificultou na interpretação dos problemas encontrados. Então, uma intervenção provisória foi realizada como medida emergencial. Posteriormente foi realizado um processo de recuperação e reforço estrutural, que é relatado em Fusco (1996) e não será discutido no presente trabalho por não ser alvo do estudo.

3. MODELAGEM ESTRUTURAL

A modelagem numérica da estrutura foi realizada utilizando o pacote computacional Eberick 2020 – demo (versão demonstrativa) e uma visualização tridimensional é apresentada na Figura 6. Ressalta-se que esta versão do programa utiliza as edições vigentes da NBR 6118 (2014) e NBR 6120 (2019) e que as assumpções a seguir são as mesmas do trabalho de Jesus et al. (2020).

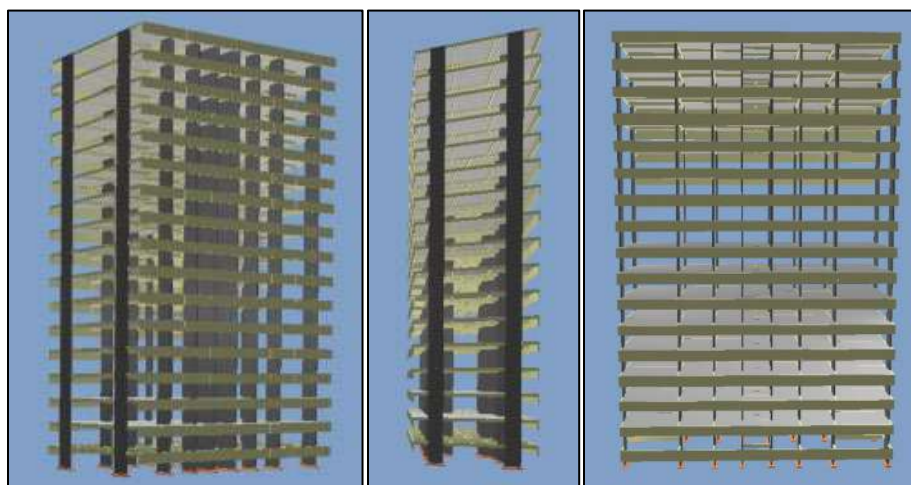


Figura 6. Modelo tridimensional da estrutura com uso do Eberick 2020 – demo.

Os edifícios têm características usualmente empregadas em centros urbanos. Assim, foi adotada classe de agressividade ambiental moderada e resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) de 25 MPa, sendo este o valor mínimo permitido pela NBR 6118 (2014). Conforme citado anteriormente, não há informações detalhadas do projeto arquitetônico, e por este motivo não é possível identificar o posicionamento dos cômodos. Assim, adotou-se uma carga acidental de 150 kgf/m² e carga de revestimento de 150 kgf/m², conforme prescrito pela NBR 6120 (2019). Considerou-se ainda que havia parede de alvenaria com 15 cm de espessura e peso específico de 1800 kgf/m³ sobre cada viga, também de acordo com a NBR 6120 (2019). Por fim, admitiu-se a fim de simplificar a concepção estrutural, que a escada seja considerada como uma laje.

Para calcular a carga devido à ação do vento utilizou-se os procedimentos indicados pela NBR 6123 (1988). Admitiu-se uma região de terreno plano ou pouco ondulado, ou seja, fator topográfico $S_1 = 1,0$. A rugosidade do terreno foi admitida como categoria IV para o cálculo do fator geográfico S_2 , com nível do solo igual a 0,0 m e maior dimensão horizontal ou vertical entre 20 m e 50 m. Além disso, admitiu-se que se tratava de uma edificação do tipo 2 para o fator estatístico (hotéis, residências, comércio ou indústria com alto fator de ocupação), sendo atribuído um valor de $S_3 = 1,0$. Para definir a velocidade básica do vento, admitiu-se que os edifícios estavam localizados no estado de São Paulo, com $v_0 = 40$ m/s de acordo com a NBR 6123 (1988).

Com isso, foi possível analisar a estabilidade estrutural dos edifícios por meio do parâmetro γ_z (Tabela 1). Nesta análise é possível notar a estrutura é totalmente instável, apresentando um valor do parâmetro γ_z tendendo ao infinito para várias das combinações adotadas. Esta instabilidade é facilmente justificada, pois observando a planta de forma (Figura 1) é possível notar que não há boa formação de pórticos em nenhuma direção. É importante notar que Jesus et al. (2020) mostram que o coeficiente γ_z tende a infinito mesmo quando a ação horizontal é muito baixa ($v_0 = 1,0$ m/s).

Tabela 1. Coeficiente γ_z da estrutura.

Combinação	Momento de tombamento de cálculo (tf.m)		Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)		Gama-Z	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,84V1+0,59D1	986,28	4086,08	2655,65	22,08	(*)	1,01
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,84V2+0,59D2	986,28	4086,08	2655,75	22,08	(*)	1,01
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,84V3+0,59D3	986,28	4086,08	0,03	647,23	1,00	1,19
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,84V4+0,59D4	986,28	4086,08	0,03	647,24	1,00	1,19
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,98Q+0,84V1+0,59D1	986,28	4086,08	2979,44	29,73	(*)	1,01
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,98Q+0,84V2+0,59D2	986,28	4086,08	2979,56	29,73	(*)	1,01
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,98Q+0,84V3+0,59D3	986,28	4086,08	0,04	731,16	1,00	1,22
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,98Q+0,84V4+0,59D4	986,28	4086,08	0,04	731,17	1,00	1,22
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,98Q+1,4V1+0,36D1	1643,80	6810,13	4965,71	29,73	(*)	1,00
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,98Q+1,4V2+0,36D2	1643,80	6810,13	4965,90	29,73	(*)	1,00
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,98Q+1,4V3+0,36D3	1643,80	6810,13	0,05	1200,60	1,00	1,21
1,3G1+1,4G2+1,4S+0,98Q+1,4V4+0,36D4	1643,80	6810,13	0,05	1198,79	1,00	1,21
1,3G1+1,4G2+1,4S+1,4Q+0,84V1+0,36D1	986,28	4086,08	3118,21	33,33	(*)	1,01
1,3G1+1,4G2+1,4S+1,4Q+0,84V2+0,36D2	986,28	4086,08	3118,33	33,33	(*)	1,01
1,3G1+1,4G2+1,4S+1,4Q+0,84V3+0,36D3	986,28	4086,08	0,05	767,46	1,00	1,23
1,3G1+1,4G2+1,4S+1,4Q+0,84V4+0,36D4	986,28	4086,08	0,05	767,47	1,00	1,23
1,3G1+1,4G2+1,4S+1,4V1+0,36D1	1643,80	6810,13	4426,06	22,08	(*)	1,00
1,3G1+1,4G2+1,4S+1,4V2+0,36D2	1643,80	6810,13	4426,23	22,09	(*)	1,00
1,3G1+1,4G2+1,4S+1,4V3+0,36D3	1643,80	6810,13	0,04	1067,83	1,00	1,19
1,3G1+1,4G2+1,4S+1,4V4+0,36D4	1643,80	6810,13	0,04	1064,00	1,00	1,19
G1+G2+S+0,84V1+0,59D1	986,28	4086,08	1969,45	12,17	(*)	1,00
G1+G2+S+0,84V2+0,59D2	986,28	4086,08	1969,53	12,17	(*)	1,00
G1+G2+S+0,84V3+0,59D3	986,28	4086,08	0,02	476,00	1,00	1,13
G1+G2+S+0,84V4+0,59D4	986,28	4086,08	0,02	475,80	1,00	1,13
G1+G2+S+0,98Q+0,84V1+0,59D1	986,28	4086,08	2293,24	17,99	(*)	1,00
G1+G2+S+0,98Q+0,84V2+0,59D2	986,28	4086,08	2293,33	17,99	(*)	1,00
G1+G2+S+0,98Q+0,84V3+0,59D3	986,28	4086,08	0,03	557,89	1,00	1,16
G1+G2+S+0,98Q+0,84V4+0,59D4	986,28	4086,08	0,03	557,90	1,00	1,16
G1+G2+S+0,98Q+1,4V1+0,36D1	1643,80	6810,13	3822,06	17,99	(*)	1,00
G1+G2+S+0,98Q+1,4V2+0,36D2	1643,80	6810,13	3822,21	17,99	(*)	1,00
G1+G2+S+0,98Q+1,4V3+0,36D3	1643,80	6810,13	0,03	924,49	1,00	1,16
G1+G2+S+0,98Q+1,4V4+0,36D4	1643,80	6810,13	0,03	917,84	1,00	1,16
G1+G2+S+1,4Q+0,84V1+0,36D1	986,28	4086,08	2432,01	20,81	(*)	1,01
G1+G2+S+1,4Q+0,84V2+0,36D2	986,28	4086,08	2432,11	20,81	(*)	1,01
G1+G2+S+1,4Q+0,84V3+0,36D3	986,28	4086,08	0,03	593,41	1,00	1,17
G1+G2+S+1,4Q+0,84V4+0,36D4	986,28	4086,08	0,03	593,41	1,00	1,17
G1+G2+S+1,4V1+0,36D1	1643,80	6810,13	3282,41	12,18	(*)	1,00
G1+G2+S+1,4V2+0,36D2	1643,80	6810,13	3282,54	12,18	(*)	1,00
G1+G2+S+1,4V3+0,36D3	1643,80	6810,13	0,02	794,73	1,00	1,13
G1+G2+S+1,4V4+0,36D4	1643,80	6810,13	0,02	784,88	1,00	1,13

Siglas:

G1 – peso próprio;

G2 – carga permanente adicional;

S – empuxo do solo;

Q – carga acidental;

A – empuxo de água;

V1 – vento X+;

V2 – vento X-;

V3 – vento Y+;

V4 – vento Y-;

(*) – γ_z tende ao infinito (estrutura instável).**4. RESULTADOS**

A partir da análise estrutural é possível justificar algumas das manifestações patológicas apresentadas pelos quatro edifícios. Além de a estrutura ser muito instável, conforme mostrado anteriormente pela análise de estabilidade global e no trabalho de Jesus et al. (2020), a distribuição dos elementos estruturais levou à distribuição inadequada dos esforços.

As fissuras tipo 1 (Figura 2) podem ser justificadas devido à ação do momento torçor presente nas vigas dessa região, conforme pode ser visto nas Figuras 7 e 8.

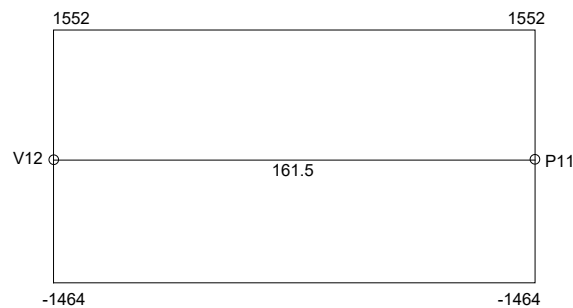


Figura 7. Envoltória de momentos torçores (kgf.m) na viga V13 via Eberick 2020 – demo.

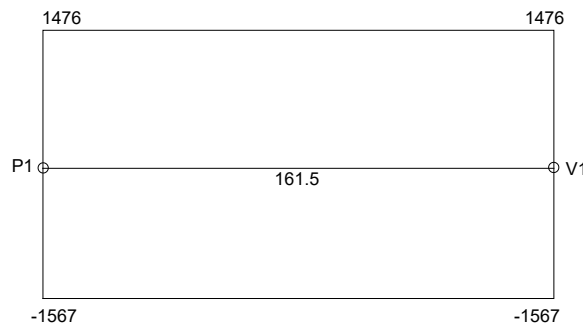


Figura 8. Envoltória de momentos torçores (kgf.m) na viga V15 via Eberick 2020 – demo.

Por sua vez, as fissuras do tipo 2, que ocorrem tendendo a separar as alvenarias e pilares, aparecem devido à má formação de pórticos que levou a parte da estrutura do pavimento a estar em balanço.

Esta observação pode ser notada no diagrama de momentos fletores da viga V14 (Figura 9), no qual verifica-se a presença de alto valor de momento negativo na região dos pilares P1 e P11. O mesmo problema anteriormente relatado, causado devido a concepção inadequada de pórticos e gerando distribuição inadequada dos esforços, pode justificar a aparição das fissuras tipo 3, 3', 4 e 5. Isto pode ser observado na Figura 10, que mostra o diagrama de momentos fletores na viga V19, onde nota-se novamente altos valores de momentos fletores na região próxima ao pilar P13.

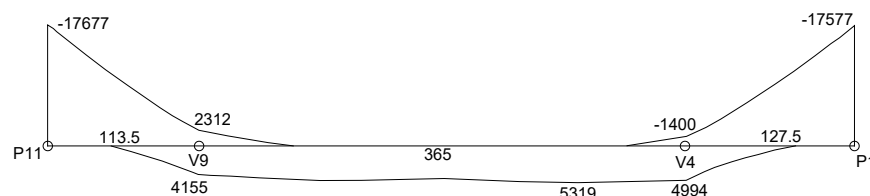


Figura 9. Envoltória de momentos fletores (kgf.m) na viga V14 via Eberick 2020 – demo.

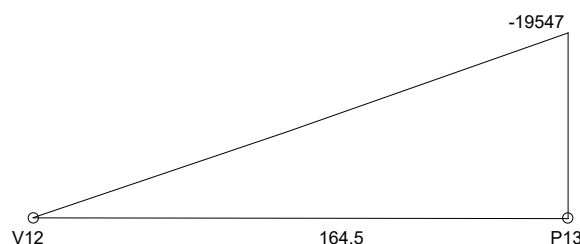


Figura 10. Envoltória de momentos fletores (kgf.m) na viga V19. Fonte: Eberick 2020 – demo.

Assim, observa-se que, em módulo, o momento fletor negativo de cálculo máximo na viga V14 é 17577,00 kgf.m. Devido a existência de sucessivos erros de concepção estrutural, o programa Eberick 2020 – demo não permite avaliar os estados limites de serviço, pois a condição de estabilidade da estrutura e alguns dos estados limites últimos de elementos estruturais específicos não foram atendidos. Desta forma, estimou-se que o momento fletor negativo atuante para a combinação rara é 12626,43 kgf.m, que é uma ordem de grandeza maior do que o momento de fissuração (resistente) para esta viga, cujo cálculo resultou em 1318,23 kgf.m.

Ainda devido à má formação de pórticos que implica em parte do pavimento estar em balanço, é possível notar uma tendência de levantamento das vigas V6 e V7. Esta constatação é confirmada observando-se o carregamento de ambas as vigas, que mostra a presença de carregamento negativo, levando assim a manifestação das fissuras do tipo 5.

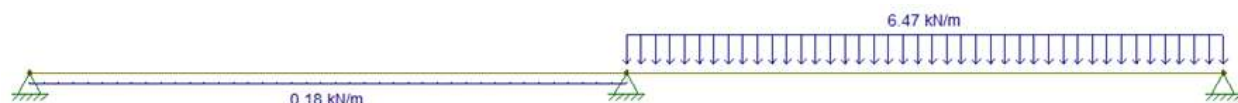


Figura 11. Carregamento nas vigas V6 e V7 obtidas com Eberick 2020 – demo. Esquema estrutural via Ftool.

A viga em análise (V6) tem 16 cm de largura e 50 cm de altura. Admitindo que esta foi construída com concreto de propriedades similares às demais analisadas, tem-se $f_{ck} = 25\text{MPa}$. Com isso, é obtida a seguinte configuração deformada, com máximo deslocamento negativo (para cima) aproximadamente 0,2mm.

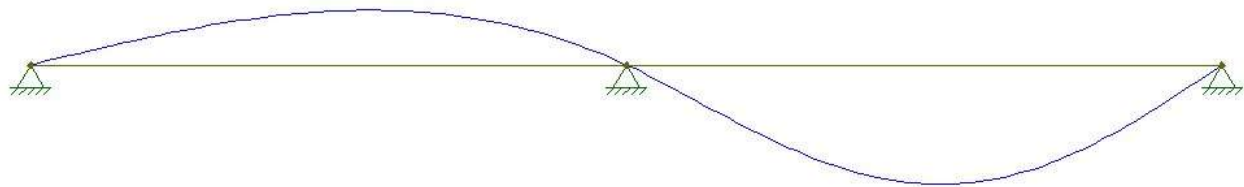


Figura 12. Aspecto deformado da viga V6 via Ftool.

Visto que surge uma fissura horizontal abaixo da viga V6 (Figura 13), exatamente na ligação desta com a alvenaria, analisa-se se a tensão atuante nesta alvenaria é maior que a tensão de aderência da mesma. Considerando que a fissura se deu na alvenaria, são assumidos 0,28MPa e 8,05GPa para resistência à aderência e módulo de elasticidade, respectivamente (Silva; Campiteli, 2008). Assim, a maior tensão atuante na ligação entre a alvenaria e a viga V6 é 67,98MPa, valor muito maior do que a resistência admitida.

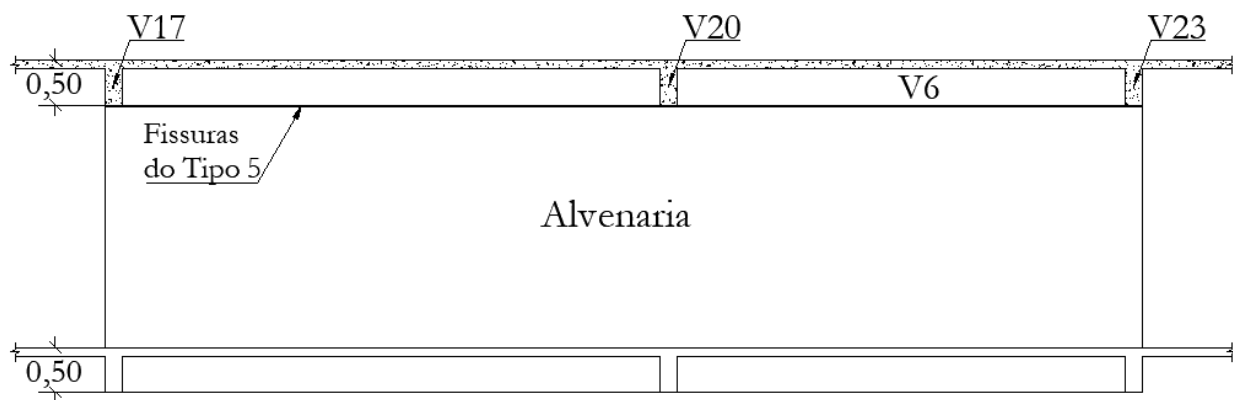


Figura 13. Fissuras tipo 5, conforme Fusco (1996).

As fissuras do tipo 6 e 7 são indicações diretas da alta instabilidade estrutural dos edifícios, constatada na análise de estabilidade global. Conforme relatado em Fusco (1996), estas fissuras nas observações finais se estendem por vários pavimentos e tendiam a separar as edificações em duas partes. Por fim, as fissuras 8 e 9 são decorrentes dos efeitos secundários da evolução de todas as fissuras anteriormente relatadas.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se um estudo de caso no qual se analisou as manifestações patológicas causadas devido à problemas com estabilidade global e má concepção estrutural de um edifício alto. As fissuras relatadas apresentaram rápida evolução em um curto espaço de tempo após a estrutura entrar em serviço.

Os resultados apresentados mostraram que os efeitos de segunda ordem eram extremamente altos, levando o coeficiente γ_z tender ao infinito em várias das combinações de ações adotadas.

Ao analisar o comportamento mecânico da estrutura foi possível notar a inadequada distribuição de esforços por todo o pavimento. As manifestações de algumas fissuras foram consequência da presença de momento volvente na laje, que foi mostrada no presente trabalho pela presença de momentos torçores nas vigas. Outras fissuras foram justificadas devido à grande parte da estrutura

estar em balanço, o que levou a geração de altos momentos negativos em algumas vigas e carregamento negativo nas vigas centrais.

Por fim, diante do exposto no presente trabalho, é possível notar que a má concepção estrutural levou a manifestações patológicas severas no edifício analisado. Neste caso, a falha catastrófica da estrutura foi evitada por meio de recuperação estrutural.

6. AGRADECIMENTOS

O terceiro e o quinto autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas (PPGEC/UFAL) pelo aporte. O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro durante seu curso de mestrado. O terceiro autor agradece a CAPES pelo suporte financeiro durante seu curso de doutorado. A quarta autora agradece a PNPd/CAPES pelo suporte financeiro durante seu curso de pós-doutorado.

7. REFERENCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1988). *NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2019). *NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro.
- Beck, H., König, G. (1966), “Restraining forces in the analysis of tall buildings” in: Symposium On Tall Buildings, Pergamon Press, Oxford, p. 513-536.
- Bueno, J. R., Loriggio, D. D. (2016) Análise de efeitos de 2ª ordem: estudo de caso. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 9(4):494-509. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952016000400002>.
- Campoó, L. B., Corrêa, M. R. S., Ramalho, M. A. (2005), Efeitos de segunda ordem em edifícios de alvenaria estrutural. *Revista Minerva*. 2(2):173-184.
- Carmo, R. M. S., Corrêa, M. R. S.; Ramalho, M. A. (1995), Correlação entre parâmetros de estabilidade global de estruturas de edifícios in: Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Associação Sul-Americana de Engenharia Estructural, Tucuman: pp. 99-110.
- Cunha, R. N., Mendes, L. A., Amorim, D. L. N. F. (2020), Proposta de critério simplificado para estimar efeitos de segunda ordem em edifícios de concreto armado. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 13(2):200-211. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952020000200002>.
- Jesus, L. S., Teles, D. V. C., Santos, D. M., Amorim, D. L. N. F. (2020), Influência dos efeitos globais de segunda ordem em manifestações patológicas em um edifício de concreto, *Revista Principia (João Pessoa)*. 51:97-111. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2020v1n51p97-111>.
- EBERICK 2020 - demo. Versão 13.285: AltoQi, 2020. Disponível em: <https://www.altoqi.com.br/downloads/>. Acesso em: 28 fev. 2020.
- Ellwanger, R. J. (2019), Um limite variável para o parâmetro de instabilidade de estruturas de contraventamento formadas por associações de pórticos com paredes ou núcleos. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 5(1):104-136. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952012000100008>.

- Feitosa, L. A., Alves, E. C. (2015), Estudo da estabilidade global de edifícios altos com lajes protendidas. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 8(2):196-224. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952015000200008>.
- Franco, M., Vasconcelos, A. C. (1991), Practical assessment of second order effects in tall buildings in: Colloquium on the CEB-FIP MC90, Rio de Janeiro, p. 307-324.
- Freitas, F. C., Luchi, L. A. R., Ferreira, W. G. (2016), Análise da estabilidade global das estruturas e ações de controle dos seus efeitos. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 9(2): 192-213. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952016000200003>.
- Ftool – Two-Dimensional Frame Analysis Tool. Versão 4.00.04: 2018. Disponível em: <https://www.ftool.com.br/Ftool/user/download>. Acesso em: 28 de maio de 2021.
- Fusco, P. B. (1996), Patologia da Concepção Estrutural de Edifícios Altos. In: Cunha, A.J.P.; Lima, N.A.; Souza, V. C. M. “*Acidentes estruturais na construção civil*”. PINI, São Paulo, p. 212.
- Menezes, J. P. R., Vieira, C. S., Amorim, D. L. N. F. (2020), Relação entre os coeficientes α e γ_z para edifícios altos de concreto armado e alvenaria estrutural. *Revista Principia (João Pessoa)*. 51:158-165. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2020v1n51p158-165>.
- Silva, N. G., Campiteli, V. C. (2008), Módulo de elasticidade dinâmico de argamassa de revestimento in: II Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, Campos Gerais: pp. 1-9.
- Vieira, V. V. S; Rodrigues Jr, S. J.; Veloso, L. A. C. M. (2017), Análise da estabilidade global de edifícios de concreto armado utilizando o coeficiente γ_z . *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 10(5):1113-1140. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952017000500010>.

Aplicação da Teoria do Dano Concentrado como ferramenta de diagnóstico de estruturas: estudo de caso de varanda colapsada

R. N. Cunha^{1*}, D. V. C. Teles², D. M. Santos², C. S. Vieira², D. L. N. F. Amorim^{1,2}

*Autor para contato: rafael.cunha@ctec.ufal.br

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil

² Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil

Resumo

Inspeções em estruturas são fundamentais para identificar problemas que possam levar a patologias, a fim de garantir a vida útil de projeto. O uso de simulações numéricas permite realizar a identificação de possíveis problemas na estrutura. Como alternativa, a Teoria do Dano Concentrado (TDC) combina os conceitos da mecânica da fratura e do dano clássico em rótulas inelásticas, cuja variável de dano é definida a partir da fissuração do concreto. Desta forma, o presente trabalho avaliou a aplicação da TDC a uma varanda em uso, situada no Brasil, que veio ao colapso. A partir dos resultados da simulação, foi possível avaliar a causa do incidente, além de obter a condição final da laje após o colapso.

Palavras chave: Teoria do Dano Concentrado; Concreto Armado; Ferramenta de Diagnóstico; Varanda.

Cunha, R. N., Teles, D. V. D., Santos, D. M., Vieira, C. S., Amorim, D. L. N. F. 2021, Aplicação da Teoria do Dano Concentrado como ferramenta de diagnóstico de estruturas: estudo de caso de varanda colapsada. Proceedings of XVI Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y VIII Congreso de Control de Calidad en la Construcción. v. X, pp. X-X.

Abstract

Structural inspections are essential to identify problems that can lead to pathologies, in order to guarantee the useful life of the project. The use of numerical simulations allows the identification of possible problems in the structure. As an alternative, the Lumped Damage Mechanics (LDM) combines the concepts of fracture mechanics and classic damage in inelastic hinges, whose damage variable is defined as the cracking of the concrete. Thus, the present paper evaluated the application of LDM to a balcony in use, located in Brazil, which came to collapse. From the results of the simulation, it was possible to assess the cause of the incident, in addition to obtaining the final condition of the slab after the collapse.

Keywords: Lumped Damage Mechanics; Reinforced Concrete; Diagnosis tool; Balcony.

Resumen

Las inspecciones estructurales son fundamentales para identificar problemas que pueden derivar en patologías, con el fin de garantizar la vida útil del proyecto. El uso de simulaciones numéricas permite la identificación de posibles problemas en la estructura. Como alternativa, la Mecánica de Daño Concentrado (MDC) combina los conceptos de mecánica de fractura y daño clásico en rotulas inelásticas, cuya variable de daño se define como el agrietamiento del concreto. Así, el presente trabajo evaluó la aplicación de MDC a un balcón en uso, ubicado en Brasil, que llegó al colapso. A partir de los resultados de la simulación se pudo valorar la causa del incidente, además de obtener el estado final de la losa tras el colapso.

Palabras clave: Mecánica de daño concentrado; Concreto reforzado; Herramienta de diagnóstico; Balcón.

1. INTRODUÇÃO

Todas as estruturas possuem uma vida útil estabelecida na etapa de projetos. Com o intuito de garantir esse período, devem ser realizadas obras de manutenção e inspeção a intervalos de tempo regulares. Estes tipos de observações permitem avaliar e corrigir patologias antes que as mesmas se agravem. Para estruturas de concreto armado, as inspeções periódicas objetivam identificar e aferir desde a degradação do concreto até a condição das armaduras. Caso as medidas corretivas necessárias não sejam investigadas e executadas, a estrutura pode vir a um colapso parcial ou total. O estudo da condição das estruturas pode ser realizado em campo, através de métodos numéricos ou com a combinação de métodos experimentais e numéricos. Para o primeiro caso, é possível utilizar de métodos não destrutivos como radares de penetração no solo (Solla et al., 2012) ou emissão acústica (Noorsuhada, 2016), ou métodos destrutivos com o uso de explosões (Ruggiero et al., 2019). A combinação de métodos experimentais e numéricos permite verificar a condição da estrutura através de ensaios, com posterior reprodução da mesma com o uso de métodos numéricos. Este tipo de análise permite obter mais parâmetros e condições da estrutura a partir das simulações desenvolvidas, como a obtenção dos níveis de dano e as propriedades dinâmicas (Masciotta et al., 2019). No entanto, a aplicação de métodos experimentais pode se tornar inviável, devido a condições como o acesso a estrutura, tempo ou custos envolvidos. Desta forma o uso de métodos numéricos supre estes problemas, sendo o método dos elementos finitos uma das alternativas mais

utilizadas para a análise de estruturas (Tang et al., 2005; Wu et al., 2020; Abedeni et al., 2021; Tenorio-Monteiro e Juárez-Luna, 2021). No entanto a aplicação deste método pode apresentar desvantagens, como o alto custo computacional requerido para realizar as simulações.

Como uma alternativa viável para a análise de estruturas de concreto armado surgiu a Teoria do Dano Concentrado (TDC). Esta teoria combina os conceitos da mecânica da fratura e do dano clássico em rótulas plásticas, a qual define a fissuração do concreto como a variável de dano. Esta teoria foi inicialmente formulada para estruturas de concreto armado sujeitos a cargas sísmicas (Flórez-López, 1993; Cipollina et al., 1995; Perdomo et al., 1999; Rajasankar et al., 2009; Perdomo et al., 2013; Teles et al., 2021) e expandida para outras condições, como cargas de impacto (Yang e Wang, 2010; Teles et al. 2020; Oliveira et al., 2020) e revestimentos de túneis (Amorim et al., 2013; Amorim et al., 2014; Brito et al., 2020).

O uso da TDC tem como vantagens o baixo custo computacional exigido para realizar as análises, assim como a fácil determinação dos parâmetros do modelo para estruturas de concreto armado, como o momento de fissuração e as condições de carregamento. Flórez-López et al. (2015) define a integridade de estruturas e necessidades de manutenção de acordo com o valor da variável de dano nos elementos estruturais. Para uma estrutura de concreto armado, o valor de dano na faixa de 0,3 a 0,4 representa o início do escoamento da armadura e, para uma condição de dano acima de 0,6, o elemento atingiu sua capacidade máxima de carga.

Portanto, o objetivo deste trabalho é utilizar a Teoria do Dano Concentrado como uma ferramenta de diagnóstico, com o uso da variável de dano para avaliar a estrutura de uma varanda que veio ao colapso durante seu uso.

2. TEORIA DO DANO CONCENTRADO

As variáveis de problemas estruturais podem ser classificadas como cinemáticas, estáticas ou esforços internos, as quais estão relacionadas através das equações cinemáticas, equações de equilíbrio e as leis constitutivas. Considerando uma estrutura de pórtico, no plano cartesiano de referência XZ, a matriz de deslocamentos generalizados $\{\mathbf{U}\}$ e a matriz de forças externas generalizadas $\{\mathbf{P}\}$ podem ser descritas de acordo com as Equações (1) e (2), respectivamente:

$$\{\mathbf{U}\} = \{u_1 \quad w_1 \quad \theta_1 \quad \dots \quad u_i \quad w_i \quad \theta_i \quad \dots \quad u_j \quad w_j \quad \theta_j \quad \dots \quad u_n \quad w_n \quad \theta_n\}^T \quad (1)$$

$$\{\mathbf{P}\} = \{P_{u1} \quad P_{w1} \quad P_{\theta1} \quad \dots \quad P_{ui} \quad P_{wi} \quad P_{\theta i} \quad \dots \quad P_{uj} \quad P_{wj} \quad P_{\theta j} \quad \dots \quad P_{un} \quad P_{wn} \quad P_{\theta n}\}^T \quad (2)$$

em que u_i é o deslocamento do nó 1 na direção paralela ao eixo X, w_i é o deslocamento do nó 1 na direção do eixo Z, θ_i é a rotação do nó 1 no plano XZ, P_{un} é a força aplicada no nó n na direção paralela ao eixo X, P_{wn} é a força aplicada no nó n na direção paralela ao eixo Z, $P_{\theta n}$ é o momento aplicado no nó n no plano XZ e o subscrito “T” refere-se a transposta do vetor.

A dedução clássica de elementos finitos relaciona diretamente as matrizes $\{\mathbf{U}\}$ e $\{\mathbf{P}\}$. No entanto a presente abordagem realiza um procedimento alternativo, com o uso de mais matrizes, apresentados a seguir. Para um elemento de pórtico, as equações de equilíbrio podem ser descritas de acordo com a Equação (3):

$$\{\mathbf{P}\} = \sum_{b=1}^m [\mathbf{B}]_b^T \{\mathbf{M}\}_b \quad (3)$$

sendo $[\mathbf{B}]_b$ a matriz de transformação e $\{\mathbf{M}\}_b$ a matriz de esforços generalizados do elemento finito, dados pela Equação (4) e (5), respectivamente.

$$[\mathbf{B}]_b = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\sin \alpha_b}{L_b} & -\frac{\cos \alpha_b}{L_b} & 1 & \dots & -\frac{\sin \alpha_b}{L_b} & \frac{\cos \alpha_b}{L_b} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\sin \alpha_b}{L_b} & -\frac{\cos \alpha_b}{L_b} & 0 & \dots & -\frac{\sin \alpha_b}{L_b} & \frac{\cos \alpha_b}{L_b} & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -\cos \alpha_b & \sin \alpha_b & 0 & \dots & \cos \alpha_b & \sin \alpha_b & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

nó 1
nó i
nó j
nó n

$$\{\mathbf{M}\}_b = \{M_i \quad M_j \quad N\}^T \quad (5)$$

em que M_i e M_j são os momentos fletores nos nós i e j , respectivamente, N é o esforço normal no elemento, L_b e α_b são o comprimento e a orientação do elemento, respectivamente (Figura 1).

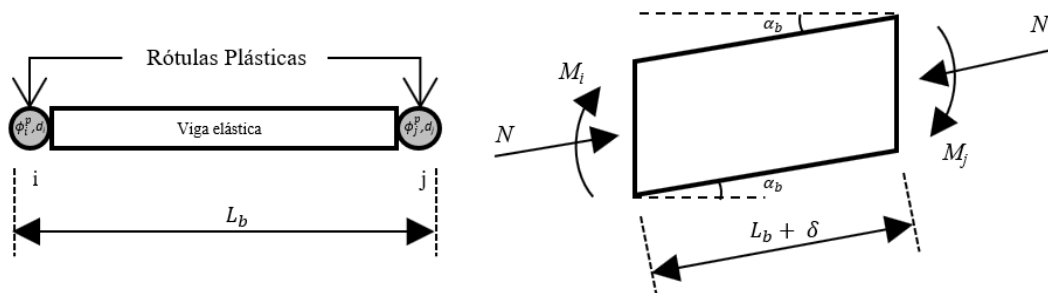


Figura 1. Definição geométrica e esforços generalizados para um elemento de pórtico. Fonte: Perdomo et al. (2013).

As equações cinemáticas podem ser definidas de acordo com o Equação (6):

$$\{\dot{\Phi}\}_b = [\mathbf{B}(\mathbf{U})]_b \{\dot{\mathbf{U}}\} \quad (6)$$

onde $[\mathbf{B}(\mathbf{U})]_b$ é a mesma matriz de transformação apresentada na Equação (4), porém admitindo grandes deslocamentos e $\{\Phi\}$ é a matriz de deslocamentos generalizados, conjugados à matriz $\{\mathbf{M}\}$, e definida através da Equação (7):

$$\{\Phi\}_b = \{\phi_i \quad \phi_j \quad \delta\} \quad (7)$$

sendo ϕ_i e ϕ_j as rotações devido aos momentos fletores M_i e M_j , respectivamente, e δ é a deformação axial devido ao esforço normal N .

Se a hipótese de pequenos deslocamentos e deformações for assumida, a Equação (7) pode ser reescrita como a Equação (8), em que $[\mathbf{B}_0]_b$ é a matriz de transformação para a condição inicial do elemento.

$$\{\Phi\}_b = [\mathbf{B}_0]_b \{\mathbf{U}\} \quad (8)$$

As relações elásticas do elemento são obtidas através da hipótese de equivalência de deformações, aplicando o Teorema de Castigliano (Amorim et al., 2013; Amorim et al., 2014; Flórez-López et al., 2015). Além disso, é admitido que os fenômenos inelásticos do elemento são concentrados nas rótulas, localizadas nas extremidades do mesmo (Figura 1).

$$\{\Phi - \Phi^p\}_b = [\mathbf{F}(\mathbf{D})]_b \{\mathbf{M}\}_b \quad (9)$$

em que $\{\Phi^p\}_b$ é a matriz de deformações plásticas generalizadas e $[\mathbf{F}(\mathbf{D})]_b$ é a matriz de flexibilidade com dano do elemento, dadas através da Equação (10) e (11), respectivamente:

$$\{\Phi^p\}_b = \{\phi_i^p \quad \phi_j^p \quad 0\}^T \quad (10)$$

$$[\mathbf{F}(\mathbf{D})]_b = \begin{bmatrix} \frac{L_b}{3EI(1-d_i)} & -\frac{L_b}{6EI} & 0 \\ -\frac{L_b}{6EI} & \frac{L_b}{3EI(1-d_j)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{L_b}{AE} \end{bmatrix} \quad (11)$$

sendo d_i e d_j as variáveis de dano nas rótulas i e j , respectivamente e EI e AE são as rigidezes a flexão e axial do elemento, respectivamente.

Com o intuito de complementar a lei constitutiva, as variáveis internas do problema (dano e rotação plástica) precisam ser consideradas. Portanto, a energia complementar do elemento finito é admitida de acordo com a equação (12).

$$W = \frac{1}{2} \{\mathbf{M}\}_b^T \{\Phi - \Phi^p\}_b \quad (12)$$

As leis de evolução das variáveis de dano são obtidas através do critério de Griffith:

$$\begin{cases} \Delta d_i > 0 & \Rightarrow G_i = Y(d_i) \\ G_i < Y(d_i) & \Rightarrow \Delta d_i = 0 \end{cases} \quad \therefore G_i = \frac{\partial W}{\partial d_i} = \frac{M_i^2 F_{11}^0}{2(1-d_i)^2} \\ \begin{cases} \Delta d_j > 0 & \Rightarrow G_j = Y(d_j) \\ G_j < Y(d_j) & \Rightarrow \Delta d_j = 0 \end{cases} \quad \therefore G_j = \frac{\partial W}{\partial d_j} = \frac{M_j^2 F_{22}^0}{2(1-d_j)^2} \quad (13)$$

em que G_i e G_j são os momentos de condução da fissura para as rótulas i e j , respectivamente, e $Y(d_i)$ e $Y(d_j)$ são as funções de resistência a fissuração.

Para elementos de concreto armado, a função de resistência a fissuração é dada através da Equação (14):

$$Y(d_i) = Y_0 + q \frac{\ln(1 - d_i)}{1 - d_i} \quad (14)$$

sendo Y_0 e q parâmetros do modelo.

As leis de evolução plástica para cada rótula do elementos são dadas pela Equação (15):

$$\begin{cases} \Delta\phi_i^p > 0 & \Rightarrow f_i = 0 \\ f_i < 0 & \Rightarrow \Delta\phi_i^p = 0 \end{cases} \quad \therefore f_i = \left| \frac{M_i}{1 - d_i} - C\phi_i^p \right| - k_0 \leq 0$$

$$\begin{cases} \Delta\phi_j^p > 0 & \Rightarrow f_j = 0 \\ f_j < 0 & \Rightarrow \Delta\phi_j^p = 0 \end{cases} \quad \therefore f_j = \left| \frac{M_j}{1 - d_j} - C\phi_j^p \right| - k_0 \leq 0 \quad (15)$$

onde f_i e f_j as funções de escoamento para as rótulas i e j , respectivamente, e C e k_0 são parâmetros do modelo. Os parâmetros Y_0 , q , C e k_0 estão diretamente relacionados a teoria clássica do concreto armado como mostrado por Permodo et al. (1999), Amorim et al. (2013), Amorim et al. (2014), Flórez-López et al. (2015) e Brito et al. (2020).

3. ESTUDO DE CASO: COLAPSO DE UMA VARANDA

Foi analisada uma varanda de um edifício situado na cidade do Rio de Janeiro que, 15 anos após sua construção, veio ao colapso. A laje da varanda sofreu uma fissuração severa na região de seu apoio, o que acarretou uma rotação de aproximadamente 17° , mas que permaneceu conectada a estrutura do edifício, como mostrado na Figura 2.

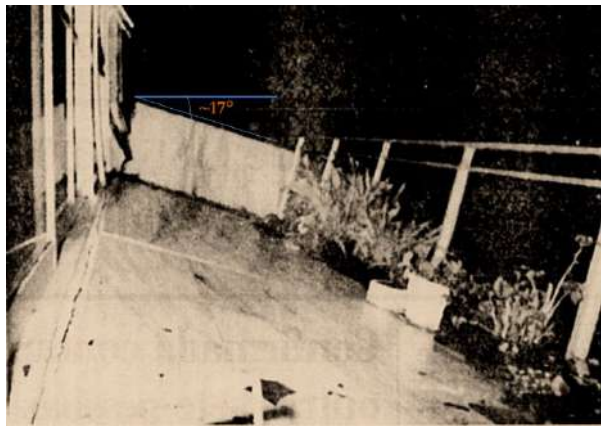


Figura 2. Laje da varanda após colapso. Fonte: Jornal do Brasil (1993).

A estrutura da varanda era uma laje de concreto armado maciça, com 12 cm de espessura, largura de 203 cm e comprimento de 932 cm. Esta laje estava engastada na laje da sala de estar, cuja espessura era igual a 15 cm (Figura 3). A face inferior de ambas as lajes estavam no mesmo nível, como mostrado na Figura 4, desta forma resultando em uma diferença de nível de 3 cm na face superior (Lima, 1996).

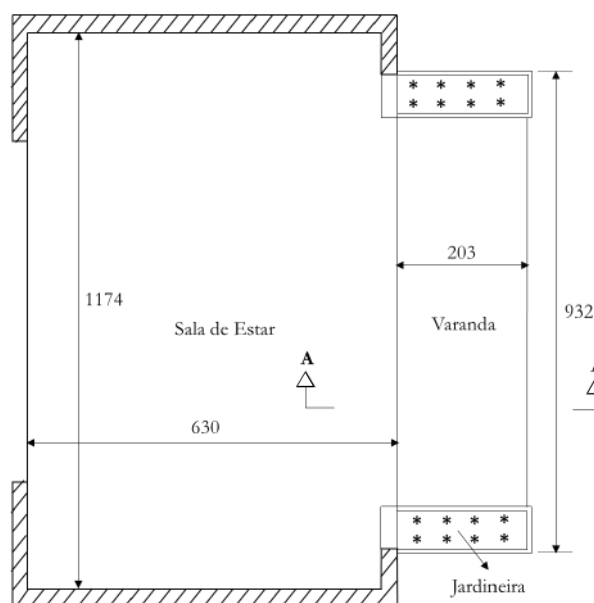


Figura 3. Dimensões da sala de estar e varanda, em centímetros. Fonte: Lima (1996).

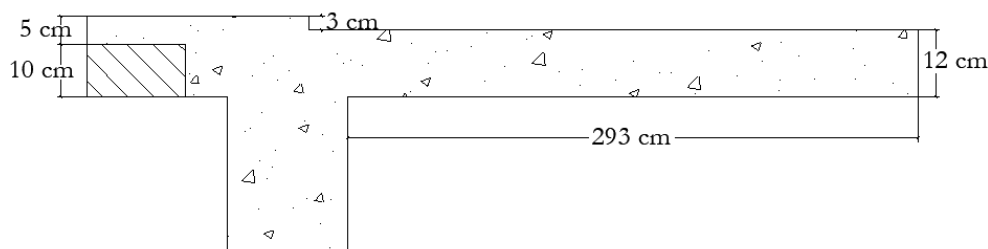


Figura 4. Seção transversal da laje. Fonte: Lima (1996).

Após inspeções realizadas no local, foi observado que as barras de aço permaneceram intactas, não apresentavam sinais de corrosão, possuíam diâmetro de 9,5 mm e estavam espaçadas de 15 cm. Foram extraídos de campo 7 corpos de prova **de concreto com o uso de uma sonda rotativa** e 3 amostras das barras de aço utilizadas na armadura negativa para posterior análise. Através de ensaios de compressão simples e de tração foi determinada a resistência à compressão do concreto (f_{ck}) igual a 30 MPa (C30) e a resistência à tração do aço igual a 500 MPa (CA-50). Durante o incidente do colapso, foi observado que não havia nenhum tipo de sobrecarga na laje da varanda. As cargas permanentes eram as únicas atuantes na estrutura, referentes ao peso próprio do concreto ($3,0 \text{ kN/m}^2$), ao revestimento inferior ($0,4 \text{ kN/m}^2$), à argamassa de assentamento ($1,0 \text{ kN/m}^2$) e ao piso de mármore ($0,56 \text{ kN/m}^2$) (Lima, 1996). As ações permanentes combinadas totalizam um carregamento igual a $4,96 \text{ kN/m}^2$, o qual provocou um momento fletor negativo na seção do engaste igual a $10,22 \text{ kNm}$.

A laje foi dimensionada para resistir apenas às ações permanentes de projeto, considerando para fins de cálculo um concreto com f_{ck} igual a 14 MPa. Desta forma, a seção do engaste da laje foi dimensionada com uma área de aço total de 3,4 cm²/m. No entanto, a partir das observações realizadas em campo, foi observado que a área total de aço utilizada foi igual a 4,72 cm²/m (Lima, 1996).

Portanto, com base nas observações realizadas em campo, foi concluído que o colapso da varanda ocorreu devido a repentina retificação das barras de aço da armadura negativa no engaste, a qual foi executada com dupla curvatura (Figura 5). Este tipo de acidente ocorre devido a tendência das barras retornarem a seu estado inicial, a qual não é resistida pela camada de cobrimento do concreto. Desta forma, o concreto na região da ligação é expulso no momento que ocorre a retificação das barras de aço, causando o fenômeno denominado empuxo no vazio.

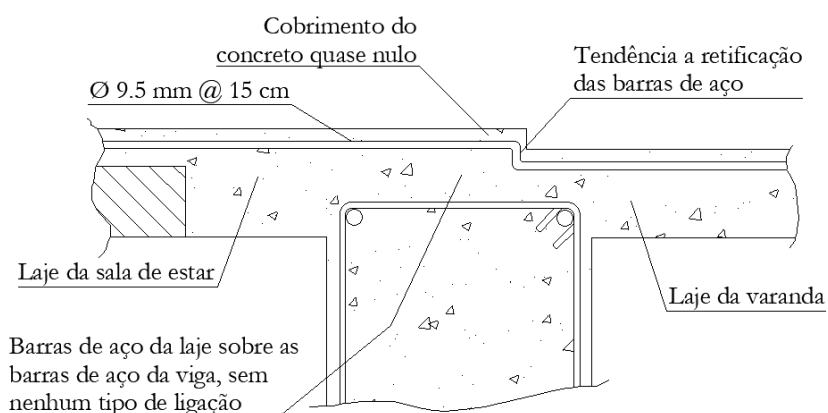


Figura 5. Detalhamento da seção da laje antes do acidente. Fonte: Lima (1996).

4. RESULTADOS

A verificação da condição dos esforços na laje pode ser realizada através dos procedimentos presentes na NBR 6118 (2014), com o cálculo do momento de fissuração do concreto, determinado através da Equação (16).

$$M_{cr} = \frac{0,315 f_{ck}^{\frac{2}{3}} b_w h^3}{12 y_t} \quad (16)$$

em que y_t é a distância do centro de gravidade da seção à fibra mais tracionada e b_w e h são a base e a altura da seção transversal, respectivamente.

Desta forma, é possível verificar que o momento de fissuração da laje é igual a 15,72 kNm, valor superior ao momento fletor atuante no apoio da laje (10,22 kNm). Esta verificação também pode ser realizada com o uso da TDC, na qual deve ser observada a lei de evolução do dano (Equação (13)) da rótula desejada. Ao realizar a simulação, é possível verificar que $G < Y(d)$ e, portanto, o nível de carregamento atuante não causaria dano na seção do engaste. Desta forma, é possível corroborar que o acidente ocorreu devido a retificação das barras de aço (empuxo no vazio).

As análises de campo permitiram observar a condição final da laje após o acidente, verificando que a rotação final da estrutura foi de aproximadamente 17° e que a espessura residual de concreto que conectava a laje da varanda a laje da sala de estar era de aproximadamente 2 cm, como mostrado na Figura 6.

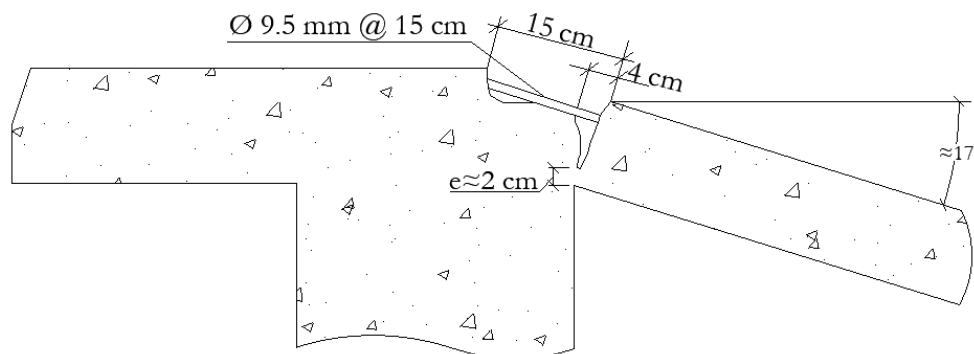


Figura 6. Detalhamento da seção da laje depois do acidente. Fonte: Lima (1996).

A simulação da laje da varanda, utilizando a TDC, foi realizada admitindo a hipótese de grandes deslocamentos, obtendo um valor de dano igual 0,9995, caracterizando um comportamento estrutural inaceitável (Florez-Lopez et al., 2015). Nesta condição, os deslocamentos vertical e horizontal na borda da laje foram iguais a 58,99 cm e 13,57 cm, respectivamente, os quais levam a uma rotação de aproximadamente $17,30^\circ$. É possível observar que os resultados obtidos numericamente apresentam valores próximos aos observados *in loco*, como o ângulo final da laje ($\approx 17^\circ$). Além disso, como observado por Amorim et al. (2014), o valor de dano penaliza o momento de inércia diretamente, desta forma, a espessura restante na seção do engaste pode ser estimada em aproximadamente 1 cm, valor próximo ao observado em campo (≈ 2 cm).

5. CONCLUSÕES

A análise de estruturas total ou parcialmente colapsadas pode ser desenvolvida com o uso da Teoria do Dano Concentrado (TDC). O presente trabalho realizou o estudo de uma laje de concreto armado de uma varanda, que veio ao colapso após 15 anos de serviço.

A aplicação da TDC permitiu observar que o incidente ocorrido com a estrutura da varanda não adveio devido a problemas da resistência dos materiais ($G < Y(d)$), sendo o principal motivo a má escolha de detalhamento para a ancoragem da laje da varanda na laje da sala de estar (Figura 5). Este tipo de detalhamento acarretou na tendência a retificação das barras de aço, situação em que o cobrimento de concreto não resistiu aos esforços gerados, denominado empuxo no vazio. Através da simulação desenvolvida utilizando a TDC foi obtido o valor de dano na ligação entre as lajes igual a 0,9995, caracterizando o colapso. Além disso, o ângulo final de rotação da estrutura foi determinado igual a $17,3^\circ$, próximo ao observado em campo ($\approx 17^\circ$) e a espessura residual de concreto igual a aproximadamente 1 cm, sendo observado em campo a espessura de 2 cm.

Portanto, é possível notar a viabilidade do uso da TDC como ferramenta de análise para estruturas, a fim de determinar seu nível de danificação, a necessidade de medidas corretivas e a segurança para o seu uso.

6. AGRADECIMENTOS

O primeiro e o quinto autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas (PPGEC/UFAL) pelo aporte. O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro durante seu curso de doutorado. O segundo autor agradece a CAPES pelo suporte financeiro durante seu curso de mestrado. A quarta autora agradece a PNPd/CAPES pelo suporte financeiro durante seu curso de pós-doutorado.

7. REFERENCIAS

- Abedeni, M. and Zhang, C.W. (2021), Dynamic vulnerability assessment and damage prediction of RC columns subjected to severe impulsive loading. *Structural Engineering and Mechanics*. 77(4), pp. 441-461. <http://doi.org/10.12989/sem.2021.77.4.441>.
- Amorim, D.L.N.F., Proença, S.P.B. and Flórez-López, J. (2013), A model of fracture in reinforced concrete arches based on lumped damage mechanics. *International Journal of Solids and Structures*. 50(24), pp. 4070–9. <http://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2013.08.012>.
- Amorim, D.L.N.F., Proença, S.P.B. and Flórez-López, J. (2014), Simplified modeling of cracking in concrete: Application in tunnel linings. *Engineering Structures*. 70, pp. 23–35. <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.03.031>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Brito, T.I.J., Santos, D.M., Santos, F.A.S., Cunha, R.N. and Amorim, D.L.N.F. (2020), On the lumped damage modelling of reinforced concrete beams and arches. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 54, pp. 1-20. <http://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.54.01>.
- Cipollina, A., López-Inojosa, A. and Flórez-López, J. (1995), A simplified damage mechanics approach to nonlinear analysis of frames. *Computers and Structures*. 54(6), pp. 1113–26. [http://doi.org/10.1016/0045-7949\(94\)00394-I](http://doi.org/10.1016/0045-7949(94)00394-I).
- Flórez-López J. (1993), Modelos de daño concentrado para la simulación del colapso de pórticos planos. *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*. 9(2), pp. 123–139.
- Flórez-López, J., Marante, M.E., Picón, R. (2015). Fracture and damage mechanics for structural engineering of frames: State-of-the-art industrial applications, *Engineering Science Reference*. ISBN: 978-1466663794.
- Jornal do Brasil, Rio de Janeiro, 21/Março/1993, p. 23.
- Lima, N.A. (1996). Empuxo no vazio provoca o colapso da estrutura de uma varanda, In: “*Acidentes Estruturais na Construção Civil*”, PINI, São Paulo, p. 212. ISBN: 978-8572660617.
- Masciotta, M.G., Pellegrini, D., Brigante, D., Barontini, A., Lourenço, P.B., Girardi, M., Padovani, C. and Fabbrocino, G. (2019), Dynamic characterization of progressively damaged segmental masonry arches with one settled support: experimental and numerical analyses. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 14(51), pp. 423–41. <http://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.51.31>.
- Noorsuhada, M.N. (2016), An overview on fatigue damage assessment of reinforced concrete structures with the aid of acoustic emission technique. *Construction and Building Materials*. 112, pp. 424-439. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.206>.
- Oliveira, M.C., Teles, D.V.C. and Amorim, D.L.N.F. (2020), Shear behaviour of reinforced concrete beams under impact loads by the Lumped Damage framework. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 53, pp. 13-25. <http://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.53.02>.
- Perdomo ME, Picón R, Marante ME, Hild F, Roux S, Florez-Lopez J (2013), Experimental analysis and mathematical modeling of fracture in RC elements with any aspect ratio. *Engineering Structures*. 46:407-416. <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.07.005>.
- Perdomo, M.E., Ramírez, A. and Flórez-López, J. (1999), Simulation of damage in RC frames with variable axial forces. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*. 28(3), pp. 311–28. [http://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9845\(199903\)28:3<311::aid-eeq819>3.0.co;2-d](http://doi.org/10.1002/(sici)1096-9845(199903)28:3<311::aid-eeq819>3.0.co;2-d).

- Rajasankar, J., Iyer, N.R. and Prasad, A.P. (2009), Modelling inelastic hinges using CDM for nonlinear analysis of reinforced concrete frame structures. *Computers and Concrete*. 6(4), pp. 319–41. <http://doi.org/10.12989/cac.2009.6.4.319>.
- Ruggiero, A., Bonora, N., Curiale, G., De Muro, S., Iannitti, G., Marfia, S., Sacco, E., Scafati, S. and Testa, G. (2019), Full scale experimental tests and numerical model validation of reinforced concrete slab subjected to direct contact explosion. *International Journal of Impact Engineering*. 132, pp. 103309. <http://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2019.05.023>.
- Solla, M., Lorenzo, H., Novo, A. and Caamaño, J. (2012), Structural analysis of the Roman Bibei bridge (Spain) based on GPR data and numerical modelling. *Automation in Construction*. 22, pp. 334–339. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.09.010>.
- Tang, X.S., Zhang, J.R., Li, C.X., Xu, F.H. and Pan, J. (2005), Damage analysis and numerical simulation for failure process of a reinforced concrete arch structure. *Computers and Structures*. 83, pp. 2609–2631. <http://doi.org/10.1016/j.compstruc.2005.03.017>.
- Teles, D.V.C., Cunha, R.N., Amorim, D.L.N.F., Picón, R. and López, J.F. (2021), Parametric study of dynamic behaviour of RC dual system design with the Brazilian Standard Code using the lumped damage model. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 43(5), pp. 246. <http://doi.org/10.1007/s40430-021-02977-8>.
- Teles, D.V.C., Oliveira, M.C. and Amorim, D.L.N.F. (2020), A simplified lumped damage model for reinforced concrete beams under impact loads. *Engineering Structures*. 205. <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110070>.
- Tenorio-Monteiro, E. and Juárez-Luna, G. (2021), Beam-column finite element with embedded discontinuities for modelling damage in reinforced concrete prismatic elements. *Structures*. 29, pp. 1934–1953. <http://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.12.055>.
- Wu, J., Zhou, Y.M., Zhang, R., Liu, C.B. and Zhang, Z.C. (2020), Numerical simulation of reinforced concrete slab subjected to blast loading and the structural damage assessment. *Engineering Failure Analysis*. 118, pp. 104926. <http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104926>.
- Yang, T. -S. and Wang, J. -L. (2010), Damage analysis of three-dimensional frame structure suffering from impact. *Journal of Vibration and Shock*. 29(12), pp. 177–80.

A inspeção predial no apoio as ações judiciais: análise das condições de segurança estrutural de uma residência unifamiliar em Recife/PE.

N. C. M S DA Silva ^{1*}, R. G. D. Freire ²
ninaceleste184@gmail.com

¹ Departº de Engenharia Civil, Centro Universitário da Vitória de Santo Antão (UNIVISA), Pernambuco Brasil

² Departº de Engenharia Civil, Centro Universitário da Vitória de Santo Antão (UNIVISA), Pernambuco Brasil.

RESUMO

Este trabalho descreve problemas construtivos levantados em edificação situada em Recife/PE baseado na NBR 16.747:2020 e na Norma de Inspeção Predial Nacional. O objetivo principal é apresentar o resultado de laudo técnico sobre as condições de habitabilidade e segurança estrutural da construção. O método para inspeção foi vistoria visual (sensorial), anamnese e observação dos sistemas construtivos executados. A partir das avaliações dos processos construtivos executados sem a observância das normas para obras de concreto armado; das manifestações patológicas provenientes da ação vibracional cíclica do local devido à existência de uma estação de metrô nas proximidades do imóvel, qualificou-se a inspeção como Nível 1 e o grau de risco Mínimo, mas recomenda-se o monitoramento regular para acompanhar evolução de danos futuros.

Palavras-chave: inspeção predial; vistoria, laudo; manifestações patológicas; durabilidade.

Este trabajo describe los problemas de construcción planteados en un edificio en Recife/PE con base en NBR 16747:2020 y la Norma Nacional de Inspección de Edificios. El objetivo es presentar el resultado de un informe técnico sobre las condiciones de habitabilidad y seguridad estructural de la construcción. El método fue inspección visual, anamnesis y observación de los sistemas

realizados. A partir de las evaluaciones de los procesos constructivos sin el cumplimiento de las normas para obras de hormigón armado; de las manifestaciones patológicas derivadas de la acción vibracional cíclica del sitio debido a la existencia de una estación de metro en las inmediaciones de la propiedad, la inspección como nivel 1 y el grado de riesgo mínimo fueron calificados.

Palabras clave: inspección de edificios; reporte de encuesta; manifestaciones patológicas; durabilidad.

This work describes construction problems raised in a building in Recife/PE based on NBR 16747:2020 and the National Building Inspection Standard. The main objective is to present the result of a technical report on the conditions of habitability and structural safety of the construction. The method for inspection was visual inspection, anamnesis and observation of the construction systems performed. From the evaluations of the construction processes carried out without

compliance with the standards for reinforced concrete works; of the pathological manifestations arising from the cyclic vibrational action of the site due to the existence of a subway station in the vicinity of the property, inspection was classified as Level 1 and the minimum risk degree, but regular monitoring is recommended.

Keywords: building inspection; survey, report; pathological manifestations; durability.

1. INTRODUÇÃO

Uma situação comum nos bairros de moradia popular são as contendas entre vizinhos durante o período de construção e/ou reformas das moradias, que muitas vezes resulta em ações judiciais. Nesses casos, uma ou ambas as partes, recorrem a profissionais especializados para dirimir

questões decorrentes de incômodos acústicos ou até mesmo os riscos quanto à segurança estrutural (patrimonial).

A realização de reformas ou intervenções em edificações com alvenaria autoportante ou alvenaria estrutural, como também para estruturas mistas com a integração de pilares, vigas e lajes em concreto armado e as alvenarias de blocos cerâmicos, exige permanente monitoramento dos processos construtivos e atendimento as prescrições normativas referentes a tipologia construtiva escolhida, bem como uma análise sobre as interferências na vizinhança de forma constante.

O grau de risco se estabelece em função das anomalias ou falhas detectadas, as quais devem ser sempre fundamentadas, conforme os limites e os níveis da Inspeção Predial, e as condições de risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio, de acordo com a Norma de Inspeção Predial Nacional/IBAPE, 2012.

Apesar das Leis relacionadas ao direito de vizinhança ou direitos do consumidor apontados no Código Civil (Lei 10.406/2002) e no Código de Direito do Consumidor (Lei 8.078/1990), muitas vezes se faz necessário a averiguação *in loco* por um observador externo as partes, que através a avaliação predial contribuirá para a resolução de problemas.

Nesse sentido a Norma Técnica (NBR 16.747:2020 – Inspeção Predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento) estabelece que a inspeção predial tem por finalidade verificar as condições técnicas da edificação, dos sistemas e dos subsistemas construtivos, de forma predominantemente sensorial para caracterizar, quantificar e qualificar as manifestações patológicas detectadas. A partir da inspeção predial será elaborado um Laudo Técnico, para tal será realizada uma vistoria técnica com observações visuais da construção permitindo um diagnóstico e posteriormente elaboração de um prognóstico sugerindo terapias preventivas e/ou corretivas.

O principal objetivo deste artigo é apresentar uma inspeção predial e laudo técnico sobre as condições de habitabilidade e segurança estrutural de uma residência situada a Rua Francisco Porfirio nº188 Afogados, Recife/PE, a partir de uma demanda judicial, descrevendo dados e informações, sobre o imóvel.

O imóvel em análise está a cerca de 100 m de distância de uma Estação do metrô de superfície do Recife. Por conseguinte, foi necessário realizar uma monitoração da constância vibracional no local a fim de se verificar se há contribuição do ciclo de trepidações e frenagem dos trens, no surgimento de manifestações patológicas ou danos efetivos nas edificações estudadas.

A imprecisão de ação judicial visa propiciar mais segurança para as partes, vizinhos e proprietários, uma vez que os resultados do laudo apontarão os problemas patológicos provenientes da execução das etapas construtivas sem a obediência às prescrições normativas dos sistemas construtivos e de instalações prediais que fundamentarão decisões futuras.

2. MÉTODOS AVALIATIVOS

Inicialmente foi realizada uma anamnese com o Engenheiro Civil responsável pela execução da obra com a finalidade de compreender a necessidade de elaboração do laudo, a real motivação, a fim de estabelecer o planejamento da inspeção e, ao mesmo tempo atender à solicitação judicial para que fosse possível apoiar a decisão do Juiz de Direito. O contratante discriminou da seguinte forma os objetivos do laudo: o *“Laudo será apresentado para os proprietários e vizinhos a fim de fornecer mais segurança para ambos em relação à estrutura do imóvel”*. Neste contexto é que foi realizada a vistoria técnica e a elaboração do laudo.

2.1 Método

Para elaboração do laudo técnico proveniente da inspeção predial foi aplicado a seguinte sequência de trabalho:

- a. Realização da vistoria presencial sensorial (visual) na residência para inspeção da estrutura instalada em todos os ambientes da edificação (pavimento térreo, primeiro e segundo andar);
- b. Abertura em vala na base de um dos pilares (P2) para observação das características das fundações;
- c. Realização de levantamento dimensional das peças estruturais como pilares e vigas da superestrutura do imóvel;
- d. Escarificação de trechos da laje de piso do 1º pavimento (terraço) foram escarificados para confirmação de aplicação de armadura (tela) da laje; averiguação de revestimento em gesso (teto do térreo/sala) para observação direção de aplicação da laje sobre vigas e pilares;
- e. Realização de levantamento superestrutura de reservatório elevado construído de forma independente a residência;
- f. Foram realizadas inspeções visuais em duas edificações vizinhas;
- g. Realização de retro análise computacional sobre as condições estruturais do imóvel, a partir do levantamento das dimensões das peças estruturais e das características do concreto utilizado, com base em informações coletadas;
- h. Realização de análise das condições de proteção e segurança para serviços em altura, bem como dos serviços que ainda serão realizados nas áreas confrontantes com a vizinhança;
- i. Verificação da influência de condição sísmológica devido à proximidade da edificação a uma estação do metrô de superfície do Recife.

2.2 Modelagem Computacional

Para analisar a segurança estrutural da edificação foi realizada uma modelagem computacional através do programa CAD TQS Unipro12 Versão 22, para tanto foram criados dois modelos. As estruturas foram representadas por elementos de barras, com as propriedades geométricas e mecânicas equivalentes à peça da estrutura.

O primeiro modelo corresponde ao reservatório elevado (piscina), constituído por um conjunto rígido de pilares e vigas com 7,0 m de altura e caixa com laje pré-moldada de fundo e parede em alvenaria de blocos cerâmicos. O segundo um dos panos do piso (1º pavimento) que apresentava uma laje com espessura insuficiente diante do vão entre os apoios.

Em ambos os modelos, as lajes foram analisadas por meio pela analogia de grelha. Neste tipo de modelagem o meio contínuo é dividido em faixas onde cada uma dessas partes são discretizadas por uma barra que guarda as propriedades mecânicas e geométricas da faixa que representa, assim, é como recebe a carga desse trecho, (Campani, 2011). A criação da grelha é feita de maneira automatizada pelo programa computacional, a partir de configurações pré-determinadas pelo usuário e as características fornecidas na criação do modelo.

A modelagem das grelhas tem-se a partir das características relacionadas, levando em conta a estrutura analisada, (Campani, 2011):

- ✓ Geração de barras com seção “T” para as lajes nervuradas;
- ✓ Espaçamento entre barras (Largura das faixas) 0,35 metros;
- ✓ O efeito de torção nas barras foi considerado no dimensionamento através da criação de uma envoltória que leva em conta a ação simultânea desse esforço com os momentos fletores;
- ✓ O efeito da deformação lenta do concreto foi considerado de maneira simplificada por meio da multiplicação dos deslocamentos elásticos por 2,5;
- ✓ O efeito da planificação nos apoios da laje foi levado em conta por meio do uso de uma rigidez equivalente a 85% a do engaste perfeito;

Com o processamento do modelo, se obteve os esforços seccionais e deslocamentos em toda a estrutura. Esses dados são utilizados em sub-rotinas de verificação e dimensionamento que geram os detalhes de projeto e relatórios referentes a cada análise. No caso apresentado neste trabalho os relatórios foram utilizados para avaliar as inconsistências entre a execução da obra e as prescrições normativas. De maneira análoga às plantas de armadura geradas pelo programa serviram de parâmetro de avaliação da armadura existente no local. Com o suporte do recurso computacional foi possível dar precisão a verificação da estrutura e celeridade no apontamento dos itens em desacordo com as referências normativas.

2.3 Interferência das vibrações produzidas pelo sistema de trens urbanos local.

Os efeitos provocados pelas vibrações desencadeadas do sistema férreo existente nas proximidades das construções, pode ser avaliado a partir de três condicionantes. Esses elementos condicionantes são “pela fonte, pelo trajeto e pelo receptor” (Chaves, 2012). No caso da vibração induzida por trens, o trajeto para atingir o receptor pode se dar pelo solo e pelo ar”, conforme indicado na Figura 1.

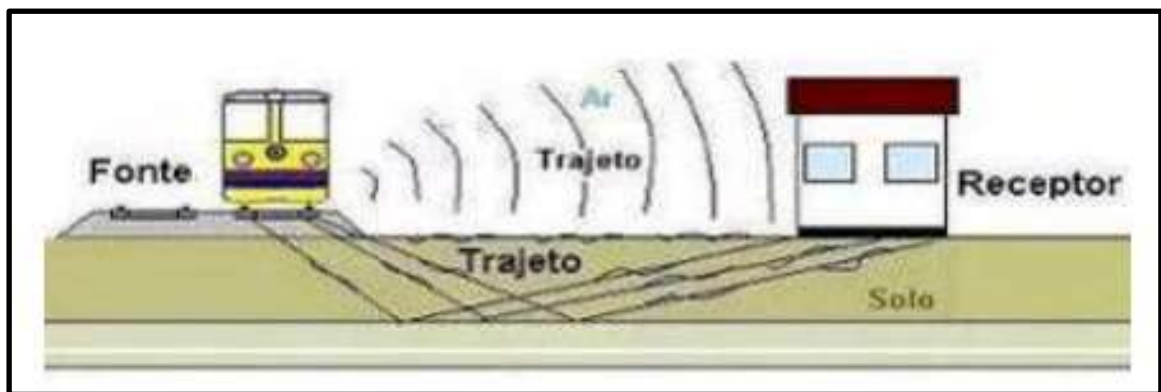


Figura 1: Desenho esquemático da propagação de vibração pelo solo e ar. Fonte: Chaves, 2012.

A faixa de domínio definida para ferrovias no Brasil é estabelecida pelo Decreto Federal nº 7.929 de 18/02/2013 no Art. 1º § 2º. Assim, se verifica que faixa de domínio é a porção de terreno com largura mínima de quinze metros 15,0 m de cada lado do eixo da via férrea. Essa distância entre a linha férrea e as habitações com baixa qualidade construtiva ou com fundações implantadas em solos pouco resistentes aos impactos cíclicos que são gerados da constante ação vibratória de uma linha férrea ativa, podem gerar danos severos e constantes as construções. (Chaves, 2012).

No local da vistoria foi constatado que as construções existentes no bairro foram construídas antes da implantação da linha férrea do metrô de superfície do Recife, o qual foi construído na década de 1980, e as edificações datam das décadas de 1960 a 1970, ou seja, a instalação do bairro ocorreu antes da linha férrea. Assim, nenhuma dessas habitações foram projetadas ou construídas com vistas a suportar uma constante e cíclica condição de altas vibrações o que, conseqüentemente, ao longo do tempo, fez surgir manifestações patológicas que se refletem até hoje. No caso da construção tema deste trabalho, não foi diferente, como também das construções vizinhas examinadas.

3 RESULTADOS

As considerações e recomendações que foram expressas no laudo não são projetos executivos de qualquer natureza, principalmente por não ser esse o objetivo de um Laudo Técnico. No entanto, é permitido, que sejam emitidas recomendações das ações necessárias para restaurar ou preservar o

desempenho dos sistemas, subsistemas e elementos construtivos da edificação. Assim, as avaliações descritas propõem algumas recomendações que posteriormente devem ser executadas.

3.2 Avaliação das fundações: foi realizada abertura de vala de fundação sob o pilar 2 (P2).

Foi aberta uma vala com aproximadamente 1,0m x 1,0m ,1,20m (largura x comprimento x profundidade) para observação do tipo de fundação implantada na base do pilar. Verificou-se que 50 cm, a partir da base do pilar, foi encontrado um alargamento executado em concreto, com a presença de aço, mas sem as características ou posicionamento das armaduras para construção de sapatas, blocos ou vigas baldrames.

A NBR 6122:2012 – Projeto e execução de fundações, define que as cargas de toda edificação devem ser distribuídas e transmitida ao terreno através das fundações. A ausência ou mau dimensionamento da infraestrutura, sejam rasas ou profundas, podem acarretar, imediatamente ou ao longo do tempo, danos irreversíveis a estabilidade e habitabilidade da construção. Por conseguinte, e levando em consideração os aspectos práticos utilizados para execução de muitas construções, foi indicado a elaboração de projeto de reforço de fundação com a implantação de sapatas isoladas sobre os pilares com as mesmas configurações encontradas no P2.

3.2 Avaliação da superestrutura: levantamento dimensional dos elementos estruturais como pilares, vigas, lajes e escadas nos pavimentos térreo e superiores (1º e 2º).

Foram identificados pilares que não atendem as recomendações prescritas pela NBR ABNT 6118:2014 no item 18.4.2.1, conforme apresentado na Tabela 1, que define o diâmetro mínimo das armaduras longitudinais empregadas nos pilares deve ser de 10 milímetros e 5 milímetros para as armaduras transversais (estribos), desse modo se recomenda a execução de reforço estrutural precedido de Projeto Específico de reforço estrutural, devendo conter inclusive modo executivo da recuperação.

Tabela 1: Dimensões dos pilares da estrutura do imóvel

Numeração do pilar	Dimensões (cm)		Área do pilar (m ²)
	Largura	Espessura	
P1	30	10	300
P2	45	15	675
P3 = P8	20*	10	200
P4	45	25	1125
P5	25	15	375
P6	30	15	450
P7	45	15	675

Fonte: Os autores.

A fim de se obter mais dados sobre o comportamento da estrutura, sugeriu-se adoção de um sistema de monitoramento de indícios de danos, o que se reflete na implantação selos que mostrem fissuramento das paredes, futuramente, ou de qualquer outro elemento construtivo. Como surgimento de sinais de movimentação da estrutura, como o aparecimento de trincas ou fissuras. Estes indicadores são parâmetros para determinar o mau funcionamento do sistema como um todo. Neste sentido, a regularidade, pelo menos semestral do monitoramento, contribuirá para acompanhamento de uma possível evolução para danos estruturais.

É necessário que se acrescente que mesmo que as condições atuais da edificação não apresentem fortes indícios de vícios construtivos relacionados aplicação de cargas uniformes e concentradas,

não previstas, o método construtivo determina a probabilidade do surgimento de manifestações a curto ou médio prazo. Por isso, foi recomendado o monitoramento, que deve ser acompanhado por profissional habilitado pelo sistema CONFEA/CREA.

3.3 Avaliação da laje do primeiro piso – laje pré-fabricada

A fim de melhorar a condição de estabilidade da referida laje, sem que seja necessário promover ação demolitória ou de remoção da peça estrutural, e visando a segurança da edificação. Foi recomendada a instalação de apoios intermediários com auxílio de vigas metálicas do tipo Perfil H - W200x19,3 ou por perfil similar com dimensões geométricas equivalentes ou superior. Esses materiais foram definidos a partir da necessidade de reforço estrutural, mas também considerando a disponibilidade das peças no mercado. A Tabela 2 mostra as especificações coletadas da laje do primeiro piso.

Tabela 2 - Dados da Laje Treliçada (primeiro piso)

Dimensão da peça Estrutural	
Largura da treliça (Nervura)	12 cm
Altura do enchimento	8 cm
Altura da capa de concreto	4cm
Altura total da laje	12 cm
concreto	Classe C25
Aço	CA-50

Fonte: Os autores.

A laje estudada, representada pela Figura 2, incorpora a estrutura as vigas metálicas, com o objetivo de reduzir sensivelmente a deformação da laje. Além disso, com esta intervenção, será dispensado o uso de armaduras de compressão e cisalhamento nas nervuras. A Figura 3, mostra uma planta geral da referida laje, incluindo o reforço proposto. Para instalação das peças indicadas devem ser tomadas todas as medidas necessárias para a solidarização com a estrutura existente.



Figura 2 - Distribuição de deformação da laje, com acréscimo de vigas metálicas. Fonte: Imagem do Software TQS.

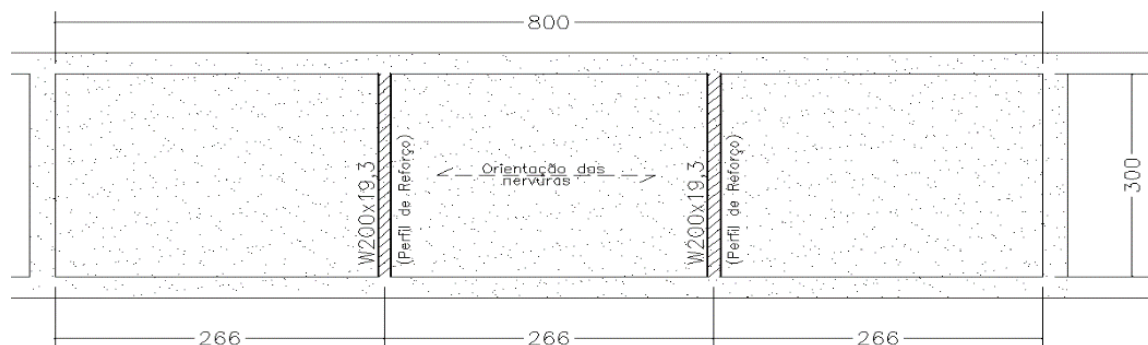


Figura 3 - Vista geral do reforço proposto. Fonte: Imagem do Software TQS.

3.4 Avaliação de estrutura elevada para implantação de reservatório elevado – trecho independente da residência

Para esse sistema, caracterizado como independente da estrutura da residência, se faz necessário proceder a correção da deformação apresentada na laje. Neste sentido, foi sugerido que, em ocorrendo a elaboração de Projeto estrutural de reforço, seja incluída a solução para a situação apresentada. Vale ressaltar que a laje em questão está situada a pelo menos 7,0m de altura em um ambiente aberto, para o qual há apenas a previsão da implantação de guarda corpo de vidro em todo o perímetro. A estrutura que suporta o reservatório elevado (piscina), se caracteriza por uma laje no topo dos pilares com dimensões de 300 x 250 centímetros, apoiadas sobre quatro vigas (em três níveis) e quatro pilares.

A vista geral do modelo computacional criado para auxiliar nas verificações da referida estrutura está apresentado na Figura 4. As características utilizadas para análise da laje, como dimensões e materiais foram as mesmas utilizadas e apresentadas nos itens anteriores. Após análise se verifica que os pilares atendem as características geométricas definidas pela NBR 6118:2014. Entretanto, os dados até então disponíveis não permite uma avaliação sobre o atendimento das quantidades mínimas de armadura, conforme também especifica a norma. A Tabela 3 apresenta os dados geométricos levantados durante visita ao local. Em relação às vigas da estrutura, foi observada uma seção com largura de 10 centímetros o que diverge das prescrições normativas indicadas nas alíneas a e b do item 13.2.2 da NBR ABNT 6118:2014.

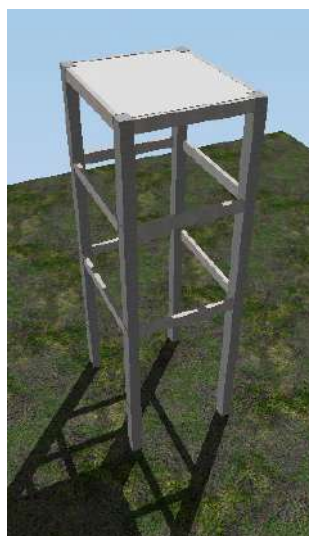


Figura 4 - Vista geral do modelo computacional da estrutura. Fonte: Imagem do Software TQS.

Quanto a laje construída sobre essa estrutura elevada de pilares e vigas, há uma deformação de 2,60 centímetros, este valor excede os limites apontados na tabela 13.3 da NBR ABNT 6118:2014. Neste quesito, sobre a laje, é importante considerar a possibilidade de reforço estrutural, uma vez que, se para as condições mínimas, ou seja, ainda sem a carga acidental, já existe uma deformação não prevista, é possível que quando aplicadas as cargas para a estrutura como água, talvez pessoas, a deformação possa chegar a um estado limite ainda mais crítico.

Tabela 3: Dimensões dos pilares da estrutura do reservatório elevado.

Numeração do pilar	Dimensões (cm)	
	Largura	Espessura
P1	30	25
P2	30	25
P3	30	25
P4	30	25

Fonte: Os autores.

3.5 Avaliação das condições de trabalho em altura.

A elaboração deste item tem por principal finalidade melhorar as condições executivas desenvolvidas na obra, bem como melhorar a relação com a vizinhança garantindo segurança aos passantes ou transeuntes no entorno da obra, de acordo com o que recomenda a NR1 8. no item 18.9.1.

Assim, foi recomendada a instalação de alguns equipamentos de proteção coletiva (EPC):

- ✓ Instalação de guarda corpo nas áreas de cobertura em vãos livres;
- ✓ Instalação de plataforma de proteção (bandeja de proteção), em especial, para os serviços realizados nas áreas que confrontam com as casas vizinhas;
- ✓ Instalação de redes de segurança nas áreas que confrontam com as casas vizinhas;

Outros equipamentos de proteção individual devem ser adotados a fim de se evitar a ocorrência de acidentes no desenvolvimento da obra.

3.6 Verificação das condições das edificações vizinhas

3.6.1 Casa vizinha 1 – nº 188

A vistoria nesta residência foi conduzida pela própria moradora. A mesma relatou, de forma breve, todas as ocorrências vivenciadas desde o início da reforma.

Na vistoria foram constatados alguns problemas patológicos tais como:

- ✓ pontos de infiltração ascendente na parede divisória entre os imóveis;
- ✓ infiltrações no teto da parede divisória, como também danos em outros pontos do teto em gesso, sal, quartos e cozinha, Figuras 5 e 6;
- ✓ danos no telhamento da casa com várias telhas quebradas ou danificadas.

Foram ainda constatados danos como fissuras nas paredes, tratamento corretivo realizado, sendo as fissuras proveniente de permanente vibração que ocorre nas proximidades devido a existência de linha férrea.



Figuras 5 e 6: Infiltrações no teto da parede divisória entre os imóveis. Fonte: Os autores.

3.6.2 Casa vizinha 2 – nº 183

Neste imóvel não foram identificados, na data da vistoria, nenhum dano a estrutura ou outra parte do sistema construtivo que fosse atribuída a obra de reforma. Entretanto, foi relatado pela moradora sobre o desprendimento de materiais construtivos, devido ao andamento da obra. Não obstante as observações descritas pela habitante, foi possível constatar a não a instalação de dispositivos de proteção e segurança para trabalhos em altura, como o uso de tela de proteção, bandejas ou andaimes facheiros, conforme apresentado nas Figuras 7 e 8.



Figuras 7 e 8: Visão externa do reservatório elevado sem proteção, confrontando com dois imóveis. Fonte: Os autores.

3.7 Efeitos das vibrações cíclicas e constantes nos imóveis devido à proximidade a uma estação de metrô.

Foram observadas diversas fissuras nas casas da vizinhança em que foi realizada vistoria. Alguns desses danos foram identificados na base das paredes, em especial aquelas que ainda restam da construção originária, e em outros pontos na parte superior das paredes. Por ser uma região onde a

idade de construção dos imóveis remonta pelo menos 40 anos e a implantação da rede ferroviária do metrô a cerca de 30 anos, há um intervalo de tempo que permite ao avaliador supor que as fundações ou superestrutura dos imóveis próximos as estações de metrô não tenham sido projetadas ou construídas levando em conta essa condição de vibrações constantes.

O imóvel vistoriado está distante da linha férrea cerca de 68,0m, conforme imagem da Figura 9, indicando que está fora dos limites de faixa de domínio. Entretanto, foi um relato contundente dos moradores em ocorrer de maneira periódica o fissuramento das paredes.

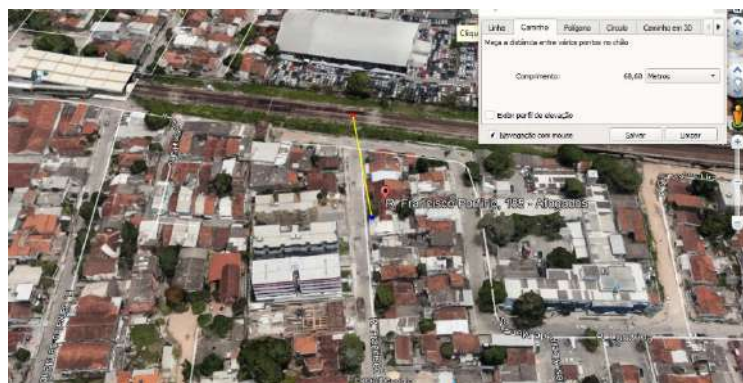


Figura 9: Imagem de satélite indicando a distância estimada entre o imóvel e a linha férrea.
Fonte: Google Earth.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, decorrente das avaliações, foi possível qualificar a inspeção como de Nível 1 e o grau de risco como Mínimo. Essa classificação é apropriada para edificações com planos de manutenção muito simples ou inexistentes. A inspeção permitiu obter informações sobre as condições das fundações, das peças estruturais como pilares e vigas, como também do processo construtivo das lajes e das vedações verticais externas e internas.

Destaca-se que todas as condições construtivas devem observar o cumprimento das normas técnicas vigentes. Ressaltando, inclusive, a importância da observância das condições de segurança do trabalho necessárias, item também destacado na inspeção.

Dois importantes aspectos são identificados neste estudo: o primeiro se refere a importância do planejamento das etapas construtivas visando a gestão e controle de todo processo construtivo, desde a fase de elaboração de projetos, aquisição e controle do uso de materiais, da contratação de mão de obra qualificada, como também da gestão e controle do cronograma físico-financeiro; o segundo é que, para os casos de reforma, torna-se ainda mais importante a gestão geral do processo. Pode-se concluir, também, que a gestão na relação vicinal, ou com os intervenientes da obra são muito importantes, pois algumas interferências podem inviabilizar o projeto.

Por fim, o Laudo Técnico elaborado passou a compor a documentação do processo judicial, que, após publicada a sentença, foi permitida a retomada da obra de reforma do imóvel. Vê-se, portanto, que a atividade de inspeção, a avaliação e análise das condições de uma edificação, a emissão das recomendações sobre a terapia corretiva sugerida e apresentada no laudo, contribuíram para a solução dos problemas que causaram a ação judicial.

5 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019). *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 16.747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos*. Rio de Janeiro.

Campani, P.B. (2011). “*Análise comparativa entre lajes nervuradas simples e duplas por analogia de grelha*” Trabalho de Conclusão de Graduação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 30.

Cavallazz M.A.L. (2016). “*Laudo de Inspeção Predial - Centro Comercial Di Bernardi Tower*” Empresa Pravaaliar Engenharia Civil e de Segurança do Trabalho.

Chaves, G. V. de A. (2012), “*Avaliação do papel da faixa de domínio na redução de vibrações produzidas por trens em áreas urbanas.*” Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba, p. 37

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. (2015). *Norma Básica para Perícias de Engenharia*. São Paulo.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. (2012). *Norma de Inspeção Predial Nacional*. São Paulo.

Thomaz, Ercio. (2020). “*Trincas em Edifícios: Causas, Prevenção e Recuperação*”. Oficina de Textos, São Paulo, p.

ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM OBRAS PÚBLICAS EDIFICADAS EM ESTRUTURAS DE AÇO, APLICANDO TECNOLOGIA BIM COMO PROPOSTA DE REPARAÇÃO.

L. P. TEIXEIRA. ^{1*}, R. A. RIBAS^{2**}

* cteixeiraengenharia@hotmail.com

** rovadavia@ufop.edu.br

1. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.
2. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.

RESUMO

O objetivo do artigo é buscar através da tecnologia Building Information Modeling, o BIM, uma solução prática para sanar patologias em edificações públicas estruturadas em aço. A metodologia se baseia em um levantamento in loco, onde o resultado da avaliação e os projetos de construção são inseridos em uma plataforma com acesso a internet por meio de tabelas descritivas que podem ser aplicadas ao trabalho colaborativo com a finalidade de apresentar ações e indicar terapias corretivas, bem como a elaboração de um modelo de programa de manutenção preventiva, visando à redução de custos de manutenção e assistência nas decisões de reparo e tratamento das construções.

Palavras-chave: Building Information Modeling; trabalho colaborativo; patologias em edificações; redução de custos redução.

1. INTRODUÇÃO

A construção de obras públicas contribui para o desenvolvimento da infraestrutura urbana e favorece o crescimento das cidades. A utilização do aço é muito comum nesses empreendimentos, pois além da praticidade na montagem, também se há rapidez em sua execução se comparadas aos demais tipos construtivos.

Em alguns momentos, a administração pública não se atenta para a proteção do patrimônio e do interesse social, onde a falta de manutenção, torna-se um aglomerado de patologias ocasionadas por falhas de projeto, execução inadequada da obra ou falta de manutenção periódica.

O Building Information Modeling (BIM) é o sistema pelo qual se armazenam virtualmente todas as informações, arquitetônicas estruturais, hidro sanitárias ou quaisquer outras pertinentes a uma determinada edificação, o que torna essa tecnologia uma ferramenta promissora para a construção ou a manutenção de estruturas e edificações. O conjunto interativo de processos, políticas e tecnologias provenientes desse meio produz uma abordagem para gerenciar projetos essenciais à construção e dados em formato digital, que vão se perpetuar durante toda vida útil do edifício por meio de um banco de dados, que podem ser geométricos ou não geométricos (London; Gu, 2010, apud Santos, 2017, p.33).

O conjunto interativo de processos, políticas e tecnologias provenientes desse meio produz uma abordagem para gerenciar projetos essenciais à construção e dados em formato digital, que vão se perpetuar durante toda vida útil do edifício por meio de um banco de dados. Podemos notar que o BIM aplicado em uma visão estreita corresponde somente ao modelo digital da edificação enquanto que a visão ampla envolve aspectos funcionais, documentais, técnicos, organizacionais e legais. Ele pode ser usado na fase de planejamento, construção, operação ou até mesmo na reforma de uma construção, tendo-se com isso a minimização dos erros gerados pelas divergências encontradas na fase de execução do projeto. Nos últimos anos, o uso do BIM tem se tornado mais difundido devido à acessibilidade à informação que a plataforma digital oferece aos responsáveis técnicos, proprietários, clientes e construtores do empreendimento. O armazenamento de informações interdisciplinares dentro de um modelo virtual de construção facilita o compartilhamento de conhecimento e a comunicação, integrando práticas que antes eram mal articuladas e reduzindo a má qualidade de informações presentes nos campos de obras (Volk; Stengel; Schultmann, 2014, apud Santos, 2017, p.33).

Os softwares BIM podem ser agrupados de acordo com a finalidade da aplicação. Existem softwares para modelagens arquitetônica, elétrica, hidráulica, estrutural, gestão da construção, análises e simulações do desempenho energético da edificação, gestão de instalações, sistemas georreferenciados, dentre outros (Santos, 2017).

Dessas normas, quatro foram publicadas (partes 1, 2, 3 e 7). No entanto as partes 4, 5 e 6 estão sendo discutidas. A criação das normas está linearmente acompanhando as demandas de alguns órgãos públicos brasileiros que estão iniciando a solicitação de projetos com a tecnologia BIM.

A referência internacional utilizada para a criação da norma Brasileira foi a ISO/PAS 12.006-2, a qual, divide a estrutura BIM em sete níveis básicos” de classificação conforme é mostrado na Tabela 1 (Silva; Amorim, 2011, apud Santos, 2016, p. 40).

Tabela 1 – Norma Brasileira de Classificação das Informações BIM nos Processos de Construção Civil

Número	Nome	Data de Publicação	Descrição
--------	------	--------------------	-----------

15965-1	Parte 1. Terminologia	14/08/2011	Define a terminologia, os princípios do sistema de classificação e os grupos de classificação para o planejamento, projeto, gerenciamento, obra, operação e manutenção de empreendimentos da construção civil.
15965-2	Parte 2. Características dos Objetos de Construção	10/08/2012	Define as terminologias, o sistema de classificação e os grupos de classificação relativos às características dos objetos da construção.
15965-3	Parte 3. Processos de Construção	16/12/2014	Apresenta a estrutura de classificação que define os processos da construção, para aplicação na tecnologia de modelagem da informação da construção, pela indústria de AEC.
15965-4	Parte 4. Recursos de Construção		Em desenvolvimento
15965-5	Parte 5. Resultados e Construção.		Em desenvolvimento
15965-6	Parte 6. Unidades de Construção		Em desenvolvimento
15965-7	Parte 7. Informação da Construção	01/12/2015	Apresenta a estrutura de classificação que define as informações (ou dados referenciados e utilizados durante o processo de criação e manutenção de um objeto construído) para aplicação na tecnologia de modelagem da informação da construção, pela indústria de AEC.

Para implantar o sistema BIM em uma determinada empresa, deve-se preliminarmente começar pelos fornecedores e clientes, devendo esses usuários passar por uma readaptação. O Departamento de Inovações do Negócio e Habilidades do Reino Unido (BIS) desenvolveu um modelo de maturidade da plataforma BIM, com níveis de 0 a 3, classificando o grau de implantação dos softwares na indústria da construção em patamares mundiais. Nota-se que grande parte das empresas ainda está trabalhando no nível um e as demais atuando em benefícios relativos ao nível dois (Santos, 2016).

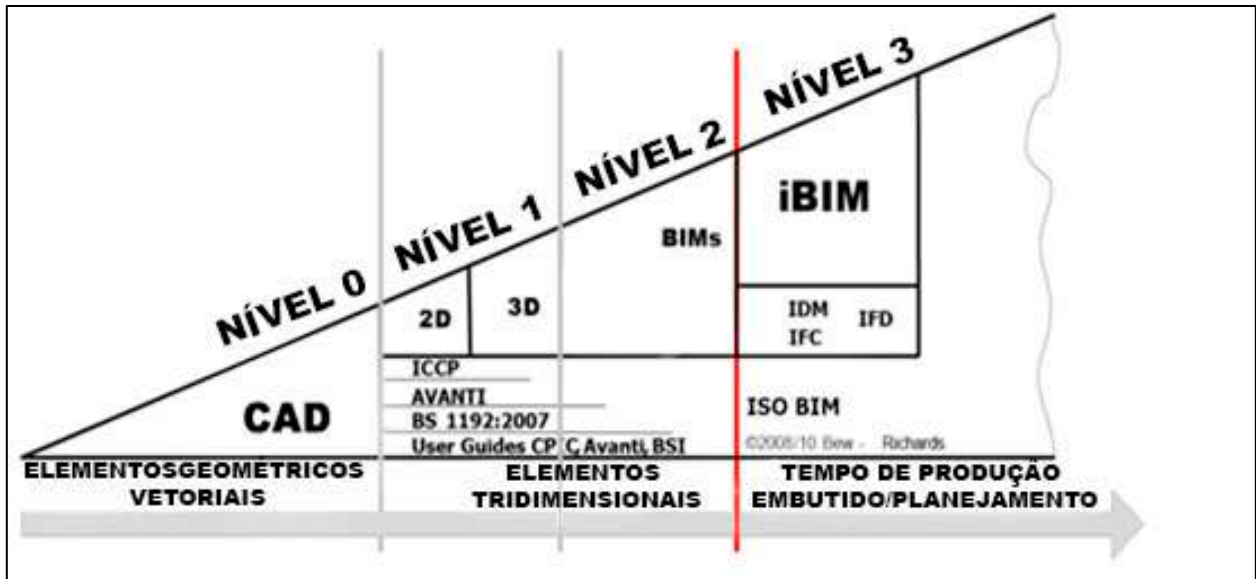


Figura 1. Níveis de Maturidade do Sistema BIM

A difusão da tecnologia BIM entre os profissionais ainda é restrita, sendo poucos os que possuem domínio integral da matéria, ressaltando-se que a entrada do BIM no país deu-se, primeiramente, por meio da área acadêmica, conforme destaca (Kassem; Amorim 2015, apud Souza 2017, p. 90).

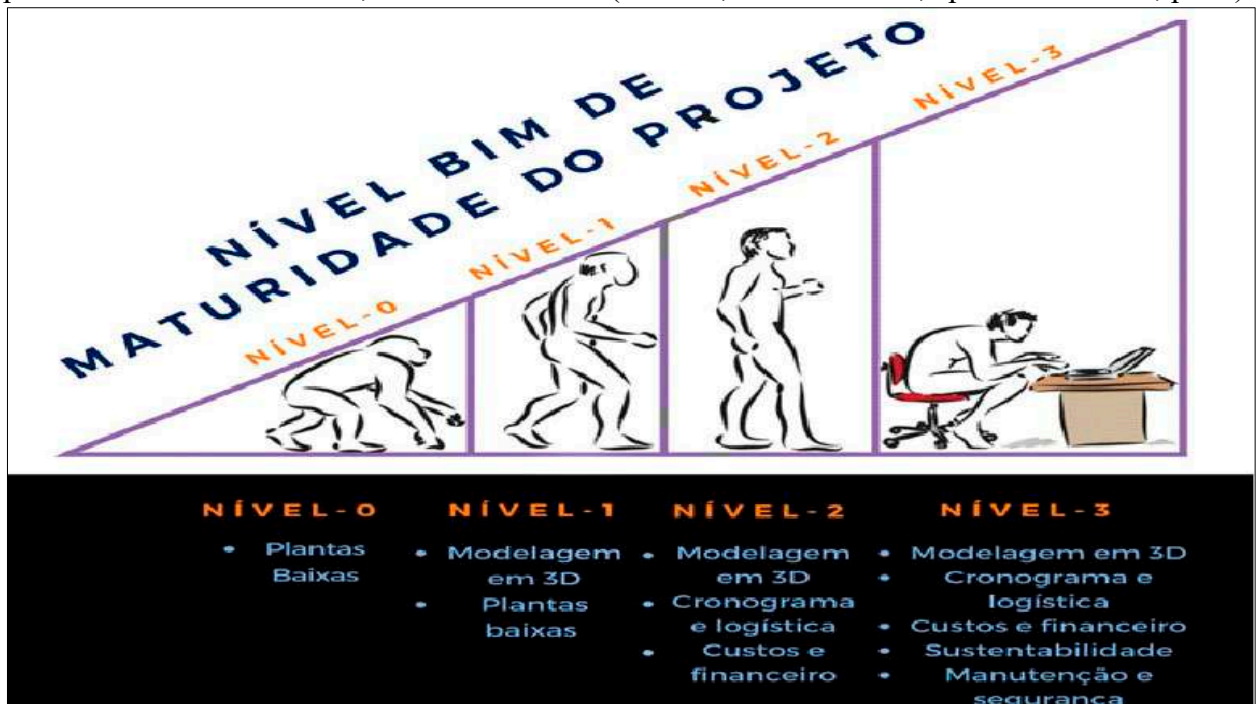


Figura 2. Níveis de Maturidade do Sistema BIM

Em 5 de junho de 2017 ocorreu a publicação do Decreto da Presidência da República, que instituiu o Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling (Souza, 2017), representando uma iniciação no meio público brasileiro. Em 16 de maio do ano de 2018, o governo federal, fez o lançamento de estratégias a fim de promover a inovação na construção

civil, sendo que em 17 de maio de 2018 foi instituído o decreto sob o número 9.377 denominado Estratégia BIM BR, esta por sua vez, tem a finalidade de promoção de um ambiente passível de investimentos em BIM no país e é representado por um colegiado (Brasil, 2018). Pode-se notar que no âmbito da legislação brasileira tem-se grande amparo normativo estruturado por um comitê interdisciplinar para fins de implantação da tecnologia BIM nos entes público e privado do país, razão pela qual, torna-se importante a busca pelo conhecimento e aplicação dessa metodologia tecnológica na engenharia nacional.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo se baseou na análise de uma edificação pública estruturada em aço, onde se teve a utilização de trabalhos colaborativos em plataformas BIM por meio da hospedagem em uma nuvem virtual, desta forma uma equipe multidisciplinar teve acesso ao banco de dados para programar a manutenção e o reparo deste imóvel direcionando os serviços de maior urgência como os preliminares para reparo numa possível obra de intervenção.

É utilizada uma plataforma denominada Trimble Connect, que permite que haja uma colaboração entre os vários projetistas de engenharia e construção. Acessível via desktop, mobile ou web, o Trimble Connect permite que os usuários visualizem, compartilhem e acessem informações do projeto de qualquer lugar, a qualquer momento. O estudo se dividiu em cinco etapas, sendo elas:

- 1) É feita uma visita in loco da edificação pública onde se é levantado as patologias existentes na estrutura.
- 2) Através do sistema de georreferenciamento onde se utiliza um sistema de coordenadas cartesianas denominado Universal Transversa de Mercator (UTM) é feito o mapeando as patologias decorrentes do sistema estrutural adotado e da falta de manutenção.
- 3) São criadas tabelas descritivas com o grau de urgência de manutenção de cada patologia, indicando-se suas causas e propondo-se soluções para sua reparação, bem como para prevenção de falhas futuras.
- 4) A análise é feita segundo o critério do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia onde A avaliação pode ser classificada em grau crítico, regular ou mínimo, conforme o seguinte roteiro.
- 5) Com o grau de urgência de cada patologia definido e sua localização estabelecida geodesicamente, se é utilizado a tabela descritiva para indicar a melhor solução para sanar aquele problema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse artigo analisa-se uma edificação estruturada em aço, situada na cidade de Mariana, MG, é feito um mapeando das patologias decorrentes do sistema estrutural adotado e da falta de manutenção, indicando-se suas causas e propõem-se soluções para sua reparação, bem como para prevenção de falhas futuras. São criadas tabelas descritivas com o grau de urgência de manutenção de cada patologia, e também sua localização geográfica georreferenciada para seu acesso in loco, que podem ser utilizadas, posteriormente, em trabalhos colaborativos em plataformas BIM por meio da hospedagem em nuvem virtual. A análise é feita segundo o critério

do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia o IBAPE. A avaliação pode ser classificada em GRAU CRÍTICO, REGULAR ou MÍNIMO, conforme o seguinte roteiro: GRAU CRÍTICO: Dano que envolve risco iminente a saúde humana e; ou dano irreparável ao meio ambiente. GRAU REGULAR: Dano que implica em restrição aos usos mais prováveis do imóvel. GRAU MÍNIMO: Pequeno dano de fácil reparação e influencia localizada e restrita IBAPE. É utilizada a plataforma Trimble Connect, que permite que haja uma colaboração entre os vários projetistas de engenharia e construção, ela é acessível via desktop, mobile ou web, o Trimble Connect permite que os usuários visualizem, compartilhem e acessem informações do projeto de qualquer lugar, a qualquer momento. Nessa importante ferramenta tem-se a possibilidade da colaboração das várias partes envolvidas no projeto, podendo-se armazenar um número vasto de informações e especificidades da obra permitindo a continuidade do projeto no caso de alguma mudança na equipe. Modelos em três dimensões (3D) feitos em SketchUp, Revit, ou convertidos em Industry Foundation Classes (IFC), podem ser visualizados em tempo real na plataforma da Trimble Connect. Outros arquivos, com extensões pdf, jpg, docx, xlsx e pptx podem ser vistos pelo navegador de forma a se criar uma biblioteca de cada empreendimento estudado (Trimble Connect, 2019).

Após a conclusão do estudo nos imóvel, são produzidas tabelas com um checklist da estrutura. Posteriormente, todas as informações coletadas são compartilhadas em uma nuvem na plataforma da Trimble Connect de forma a expandir o acesso das informações e promover a integração de profissionais.

3.1 Edificação Pública Estruturada em Aço Na Cidade De Mariana, MG - Estudo de Caso

A partir da década de 1990 edifícios de caráter institucionais estruturados em aço foram construídos na cidade de Mariana, e alguns deles até hoje possuem grande relevância na esfera municipal, como a sede da Prefeitura e o Terminal Rodoviário. Na época, tais intervenções causaram grande impacto sobre a paisagem urbana existente, de caráter histórico, essas construções constituem-se em estruturas arrojadas e de características atípicas às edificações já construídas na região. Na atualidade encontram-se outros modelos que se destacam e entre eles estão: a Escola Municipal Morro Santana, Centro Esportivo Arena Mariana, Centro de Convenções e a Unidade de Pronto Atendimento (UPA) São Pedro.

3.1.1 Estudo de Caso Prefeitura Municipal de Mariana

O edifício da Prefeitura Municipal de Mariana, cuja concepção arquitetônica é do Arquiteto Rafael Fogli Diniz Ribeiro, foi inaugurado em 16 de julho de 1996, durante o tricentenário da cidade de Mariana. Está localizado na Praça Juscelino Kubitschek, s/n.

A edificação é um ponto de passagem entre a região central e as regiões periféricas da cidade. Seu perímetro é composto por imóveis de uso residencial e comercial e encontra-se em suas proximidades a estação ferroviária de Mariana, razão pela qual, a prefeitura também tem seu público turístico ativo (Rocha, 2007).



Figura 3. Imóvel objeto do estudo

As edificações vizinhas possuem gabarito de dois pavimentos, sendo a área de baixo potencial construtivo devido ao tombamento do centro histórico de Mariana pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan, 2019).

As atividades que são manejadas na edificação se dividem da seguinte forma: os serviços destinados ao cidadão estão locados no pavimento inferior e as atividades de ordem administrativa localizam-se no pavimento superior. No pavimento térreo da edificação têm-se dois acessos de entrada, sendo eles situados na parte leste e oeste do imóvel. No 1º pavimento estão localizados setores como a Controladoria, Fazenda, Instalações Sanitárias, Contabilidade e Tesouraria, Protocolo, Receita Imobiliária e Secretaria de Obras. No segundo pavimento do imóvel estão localizados os Gabinetes do Prefeito e do Vice-Prefeito, Procuradoria, Comunicação e Departamento de Pessoal, Licitação e Compras, Administração, Planejamento Urbano e uma cozinha. O imóvel está situado em um terreno com área aproximada de 2.000 m². A projeção da edificação ocupa 950 m², sendo o restante destinado a estacionamento e calçadas. Os dois pavimentos somam um total de 2.150 m², sendo 820 m² do pavimento térreo, 1.230 m² do segundo pavimento. O restante, 100 m², corresponde às circulações verticais das escadas de incêndio e da escada central (Rocha, 2007). No envoltório da edificação há predominância de vegetação de pequeno porte, do tipo arbustivo ou gramíneo. Em relação à sua concepção, o edifício da Prefeitura Municipal de Mariana foi resultado de uma intervenção sobre a edificação da antiga estação rodoviária municipal existente, caracterizado como uma reforma e ampliação do imóvel que posteriormente fora utilizado como órgão do executivo. A edificação da prefeitura tem características marcantes como o pé direito elevado no hall do segundo pavimento e cobertura em policarbonato de aparência translúcida. Seu sistema estrutural é constituído por pilares de concreto, no primeiro pavimento, existentes desde os tempos em que a edificação era utilizada como rodoviária, trabalhando conjuntamente com estruturas de pilares e vigas em aço do segundo pavimento que tem espaçamento uniforme entre si de cinco metros longitudinalmente e de oito metros transversalmente. Essa estrutura foi adicionada para que fosse construído o segundo andar da edificação a título de ampliação. Quanto ao fechamento, lajes, esquadrias, coberturas e forros, têm-se: fechamento em alvenaria de tijolos cerâmicos; laje pré-fabricada utilizando tijolos cerâmicos e vigotas de concreto; esquadrias metálicas; cobertura em telhas cerâmicas e parte em policarbonato; forro em policloreto de polivinila PVC.

3.2 Avaliação da Prefeitura Municipal de Mariana

Como meio de avaliação das edificações foram realizadas investigações exploratórias através de diversas visitas técnicas aos imóveis. Entre os elementos inspecionados têm-se: pilares, vigas, coberturas, ligações, fechamentos, placas de base, lajes e demais detalhes que são expostos a seguir. Essa avaliação teve como objetivo identificar patologias existentes e suas causas, de forma a expor o estado de manutenção dessas edificações, assim como citar medidas de reparação e prevenção.

3.2.1 Prefeitura Municipal de Mariana

De sistema estrutural constituindo o segundo pavimento em aço e o primeiro pavimento em concreto, cobertura em telha cerâmica cor vermelha e hall central coberto em policarbonato translúcido, no edifício da Prefeitura Municipal de Mariana, percebe-se a busca pelo aproveitamento da estrutura anteriormente existente, por meio da utilização do aço como solução, que de certo modo se torna atrativa. Com pé direito elevado no segundo pavimento são aplicados perfis I, H e U em toda a sua estrutura, notando-se a praticidade ao se adotar o aço em reformas de maior porte.

3.2.2 Avaliação da Metodologia Construtiva

A metodologia construtiva em aço foi inserida como alternativa de expansão desse imóvel para sua utilização como sede da prefeitura da cidade de Mariana. O uso desse tipo de estrutura proporciona vários dos benefícios citados anteriormente, podendo-se destacar: flexibilidade e leveza da estrutura, além da possibilidade de ampliação da edificação sem grande intervenção na estrutura antiga.

Durante qualquer obra de reforma ou modificação da estrutura de uma edificação é de extrema importância a redução da quantidade de carga a ser aplicada na estrutura original, assim como a flexibilização para alterações estruturais, e só a estrutura em aço permite de maneira eficaz e rápida uma alteração abrupta na concepção estrutural do imóvel. Nessa edificação essa utilização foi adotada.

3.2.3 Patologias Detectadas

Durante a inspeção foram detectadas patologias, podendo-se notar que em sua maioria são de ordem geral e estética. Também se buscou avaliar o estado de manutenção do edifício no intuito de encontrar a origem das manifestações patológicas, propondo-se soluções corretivas ou aprimoramento da manutenção das estruturas.

O descascamento da pintura da estrutura de aço foi uma das patologias mais encontradas. Como essa patologia ocorre devido à perda de aderência entre a película de tinta e a estrutura, ou quando existem demasiadas demãos de tintas no elemento, nota-se que ao fundo há uma película de tinta vermelha intacta, a segunda demão não se aderiu à superfície sobre a qual foi aplicada (Figura 4). Citam-se como prováveis causas o uso de tinta incompatível com a já aplicada.

Como tratamento, recomenda-se que em todos os elementos onde haja camada de tinta solta ou mal aderida devem ter essa camada totalmente removida de sua superfície, utilizando-se para a escarificação a lixadeira ou espátula, e posteriormente deve-se aplicar a pintura de correção de modo a se garantir a estanqueidade da estrutura em relação a patologias de ordem estrutural.

A corrosão eletroquímica, que é favorecida pela presença de umidade, e fezes de pombos tem bastante ocorrência em placas de base onde o nível de instalação é próximo a canteiros ou a solos úmidos com a presença de vegetação (gramíneas e sebáceas).



Figura 4. Patologia em pintura detectada na estrutura

Nota-se de forma constante processos corrosivos em desenvolvimento na base dos pilares devido a essa característica

Como tratamento, indica-se revestir as bases desses pilares com manta impermeabilizante de base betuminosa, e posteriormente aplicar concreto em sua volta no intuito de eliminar áreas que tendem ao acúmulo de água, assim como promover uma limpeza rotineira do local. A aplicação de uma argamassa com impermeabilizante também seria uma solução que faria com que a incidência da pilha eletroquímica se tornasse insignificante, reduzindo o ataque patológico.

O contato com superfícies de concreto onde não está prevista a preparação da estrutura para o escoamento da água proveniente da chuva ou, por ventura, de alguma lavagem da fachada, faz com que muitos locais sejam propícios para a corrosão em frestas. Encontra-se essa modalidade de patologia em várias janelas do segundo pavimento e também é bastante evidente na porta pertencente à entrada do hall do primeiro pavimento.

Pode-se perceber que a fresta entre a esquadria da porta e o piso de concreto é muito estreita, favorecendo a presença de umidade no local e o desenvolvimento do processo corrosivo. Um tratamento indicado para esse caso é rever a proximidade entre as esquadrias para que a pilha eletroquímica não tenha recorrência no local.

Para evitar umidade nas esquadrias devido ao ar condicionado, a parte de saída da água proveniente da troca de calor dos ambientes deve ser encanada de forma que a mesma não tenha contato direto com a estrutura. No que se refere à estrutura de aço da fachada, pode-se indicar uma reforma com pintura a base de poliuretano, haja vista que a mesma está com a vida útil comprometida e há uma grande presença de descascamentos e escurecimento de sua tonalidade, fator esse que requer uma repintura de toda a estrutura.

O entupimento de calhas e tubulação de captação de água pluvial com os detritos gerados pelos pombos é fator que ocasiona uma série de patologias. A presença dessa ave nos ambientes públicos é tipicamente notada, pois, em geral, não conta-se com um esquema adequado de

manutenção preventiva e periódica. Ocorre que as fezes dos pombos favorecem a corrosão e tornam-se uma grande ameaça à integridade das estruturas. Nota-se um grande acúmulo de fezes na estrutura assim como o início do processo de corrosão em frestas nas esquadrias. Mesmo tendo sido instaladas telas metálicas, para impedir a entrada dessas aves nos nichos entre a estrutura e a cobertura, notam-se a presença delas acima das telas.

Para o tratamento desses problemas observa-se que no mercado há inúmeros repelentes de pombos que podem ser instalados na cobertura da estrutura de modo a eliminar a presença dessa ave. O uso correto de telas e a colocação de pontas de aço em alguns locais também podem afastá-las da estrutura. Em relação às calhas, tem-se que é necessária uma manutenção preventiva de modo a evitar o entupimento das mesmas. Recomenda-se sua limpeza periódica, bem como das entradas da tubulação da água pluvial evitando-se patologias como as notadas.

Uma manutenção não planejada pode fazer com que componentes da estrutura tenham sua camada protetora comprometida, e com isso, a mesma fica susceptível a inúmeras patologias que podem gerar futuras pilhas eletroquímicas ocasionando estados de corrosão. Em relação à pintura da estrutura de aço dessa construção, podem ser vistas patologias como casca de laranja, descascamento e impregnação de abrasivos. Destaca-se a existência de impregnação do abrasivo na pintura em um pilar próximo à rua onde se tem alta presença de partículas em suspensão, razão pela qual o lugar é propício para essa patologia da tinta.

Posteriormente efetuar uma repintura de todos os componentes com uma tinta à base de poliuretano, haja vista que são elementos que sofrem a ação direta de intempéries e necessitam de uma correta aplicação de tinta de maior durabilidade da pintura devido à presença contínua de umidade e partículas provenientes da poluição.

Para uma visão mais global da ocorrência das patologias, na Tabela 2 mostra-se a quantidade de focos de patologias detectados na edificação que são a corrosão uniforme, corrosão em frestas, impregnação do abrasivo e descascamento de pintura. Como tratamento dessas patologias recomenda-se a escarificação e limpeza da estrutura, removendo-se totalmente os detritos e restos de tinta.

Tabela 2. Focos de patologias detectadas na Prefeitura Municipal de Mariana

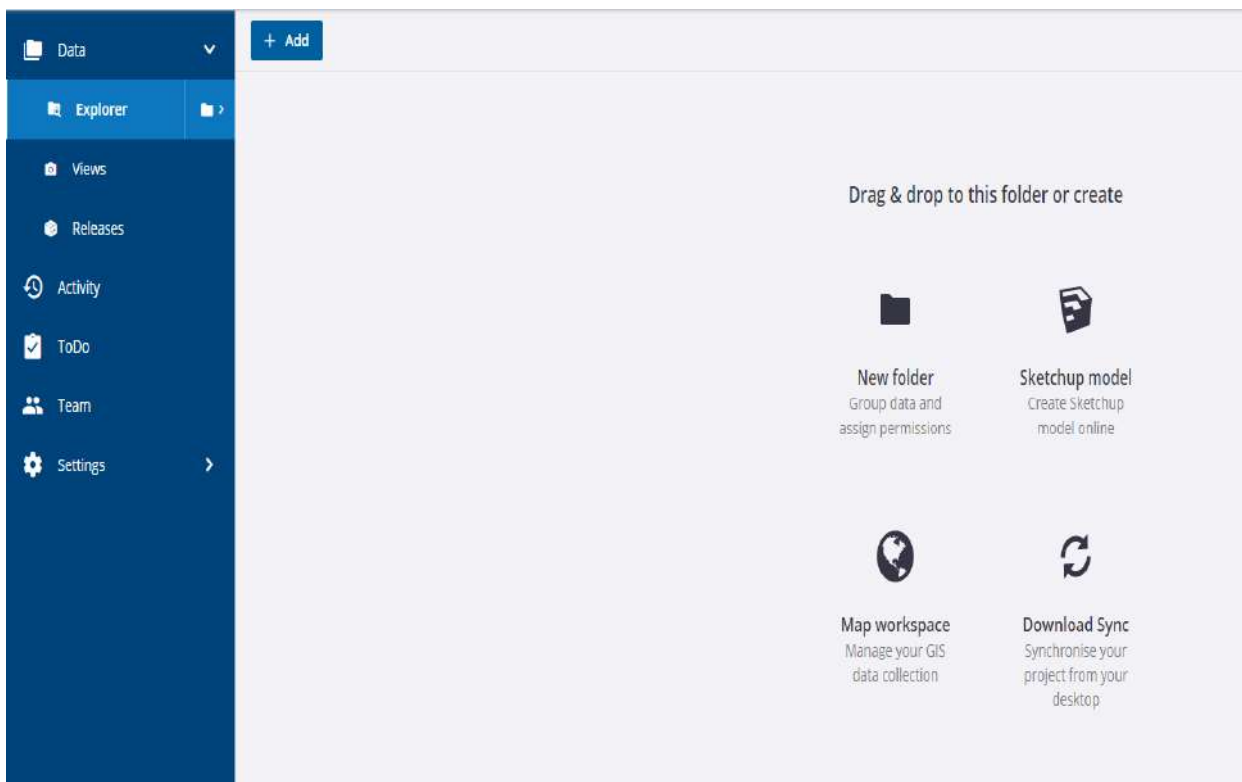
Patologia	Focos detectados (nº)	Percentual (%)
Descascamento de Pintura	22	45
Impregnação do Abrasivo	17	35
Corrosão em Frestas	5	10
Corrosão Uniforme	5	10

3.2.4 Inserção de dados na Plataforma BIM

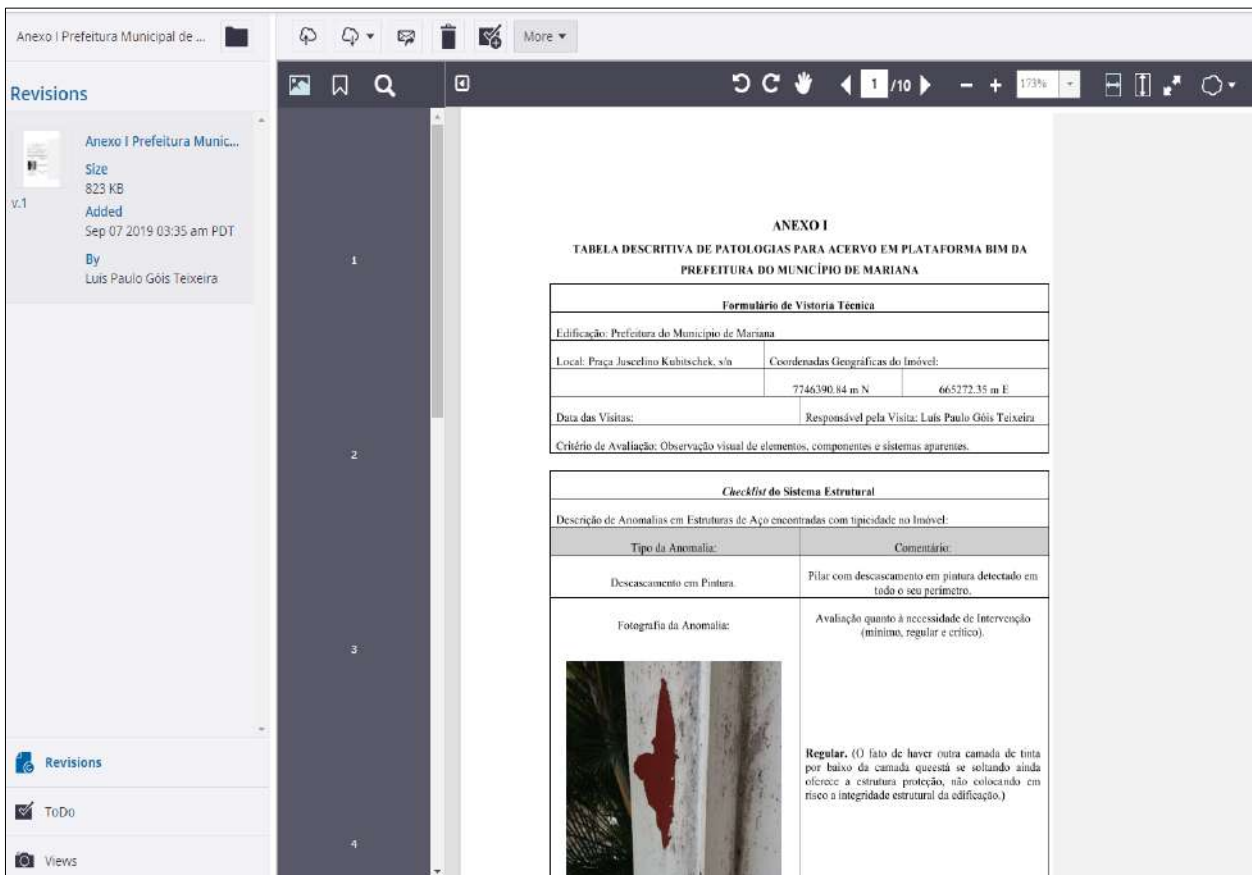
Conforme planejado, os dados obtidos durante a pesquisa são inseridos em uma plataforma BIM de forma a se produzir um acervo técnico ao qual o profissional responsável pela edificação pudesse ter acesso de forma ágil e útil para a tomada de decisões e programação de manutenção periódica. Dessa forma, é mostrada a seguir uma proposta de organização das pastas e apresentação dos anexos dentro da ferramenta do Building Information Modeling denominada Trimble Connect.

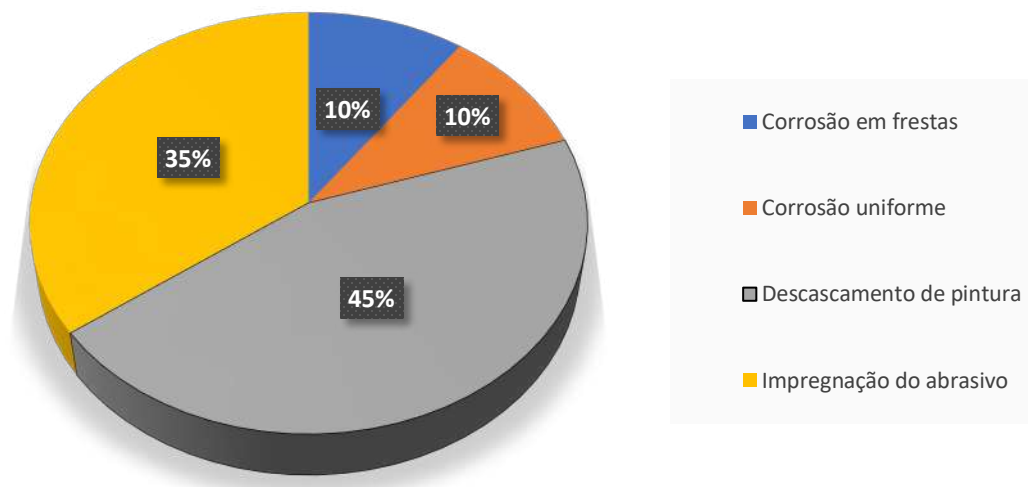
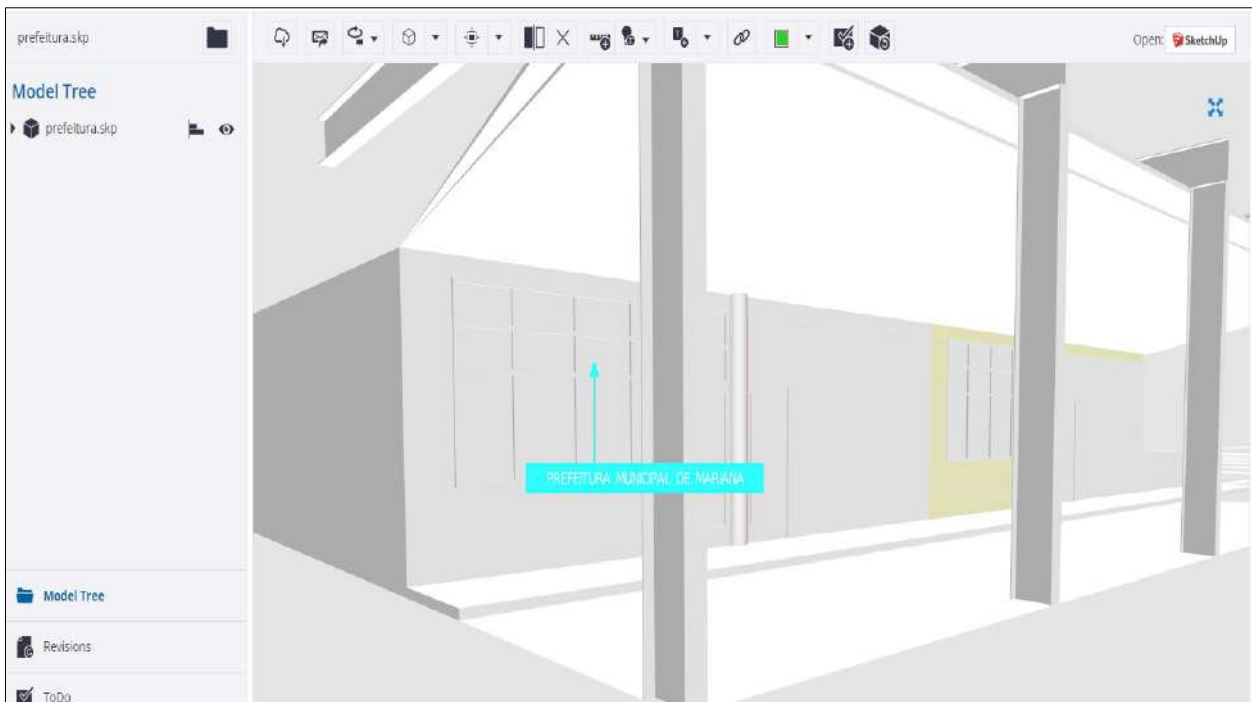
Na Plataforma Trimble Connect, nota-se que é possível organizar e compartilhar os dados da edificação com a equipe responsável pelo projeto, tendo esse profissional acesso às informações onde quer que ele esteja. Dessa maneira ele terá uma grande praticidade para sua tomada de decisões em relação ao combate das patologias ou mesmo sua prevenção. É criada uma pasta denominada Obras Públicas Mariana-MG para que se possa inserir o Anexo I referente ao edifício da Prefeitura Municipal de Mariana.

Também se é possível visualizar arquivos em formato PDF ou modelos 3D sem que seja necessária a instalação de nenhum software no dispositivo computacional utilizado.



Nota-se que a maioria das patologias localizadas no imóvel é de cunho estético, e elas estão relacionadas a descascamentos de pintura e impregnação do abrasivo, resultantes, provavelmente, da aplicação de tinta inapropriada ou falhas na sua metodologia de aplicação, assim como a inobservância dos cuidados necessários para que fossem garantidas as características de estanqueidade da estrutura. Pode-se concluir, mediante a análise feita, que são patologias de simples correção e que não afetam o sistema estrutural da edificação podendo um programa adequado de manutenção ser aplicado periodicamente através do acervo técnico inserido na plataforma BIM, podendo sanar os problemas detectados. No entanto, caso não seja seguido esse programa de manutenção, as patologias podem vir a comprometer futuramente o desempenho da edificação.





O gráfico acima demonstra o percentual de patologias encontradas na estrutura, claramente, se vê que em sua maioria, temos problemas de descascamento de pintura, onde inicialmente pode-se reparar de maneira mais simples e de forma menos onerosa.

4. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa podem-se notar os diversos tipos de patologias em estruturas de aço e seus respectivos tratamentos e, assim, entender como é importante à elaboração adequada de projetos bem como a manutenção dos imóveis edificadas em aço, sendo também ressaltada a relevância de uma rápida e devida intervenção em caso de alguma manifestação patológica. O conhecimento das modalidades de patologias e seus tratamentos em edifícios públicos é uma importante maneira de contribuir para a prevenção desses processos que podem vir de projetos com falhas em detalhamentos. Destaca-se que uma eficaz solução seria o compartilhamento de informações entre os vários profissionais que estão inseridos nesse meio, através do uso da tecnologia BIM.

Justifica-se o uso dessa metodologia, uma vez que, quando há mudança de governo, grande parte dos profissionais são trocados e conseqüentemente há uma desorganização e dificuldade para o levantamento de dados referentes às edificações públicas, tornando a manutenção e projetos para essa finalidade precários ou muitas vezes inexistentes.

As pesquisas in loco de detalhes mostrados nos estudos de caso constituem uma forma de difundir o conhecimento e demonstrar ao profissional da construção estruturada em aço como essas patologias se manifestam e qual a melhor forma de prevenir e repará-las. Além disso, são necessários programas de prevenção que englobem manutenções realizadas periodicamente, independente do sistema estrutural adotado, para se evitar futuras intervenções radicais na estrutura, e o uso da tecnologia BIM permite que a patologia seja anotada em relatório compartilhado entre profissionais para que seja analisado seu reparo ou solução, reduzindo assim o tempo para ação de manutenção ou reparação. Destaca-se que o georreferenciamento é outra ferramenta que pode ser aplicada para que a patologia seja localizada de forma precisa na edificação.

5. REFERÊNCIAS

Brasil. Constituição Federal de 1988. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em 11 de janeiro de 2018.

Gu, N.; London, K. *Understanding and facilitating bim adoption in the aec industry. Automation in construction*, [s.l.], v. 19, n. 8, p. 988-999, dez. 2010.

Rocha, M. V. M. *Avaliação pós-ocupação de edifício institucional estruturado em aço. O caso da sede da prefeitura municipal de Mariana, MG*. Dissertação (mestrado em ciências da engenharia civil) - universidade federal de ouro preto. Ouro preto: ufop, 2007. 129 f.

Santos, S. *Vantagens das ferramentas building information modeling – bim – no panorama do projeto de edificações no brasil*. 2016. 126 f. Tese (doutorado em engenharia de produção) - programa de pós-graduação strictu sensu em engenharia de produção da universidade paulista. São paulo: unip, 2016.

Santos, K. *Gestão da manutenção de edificações com o BIM: enfoque nas manifestações patológicas de elementos de construção*. 2017. 202 f. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - centro tecnológico programa de pós-graduação em engenharia civil universidade federal do espírito santo. Vitória: UFES, 2017.

Silva, J. C. B; Amorim, S.R.L. *A contribuição dos sistemas de classificação para a tecnologia BIM - uma abordagem teórica in tic 2011* – anais do v encontro da tecnologia da informação na construção. Salvador, Bahia. 2011.

Souza, Ruymar, I. *Aplicabilidade da tecnologia BIM em projetos de estruturas metálicas*. Dissertação (mestrado profissional em construção metálica) - universidade federal de ouro preto. Ouro preto: ufop, 2017. 151 f.

Trimble Connect enterprise. Trimble Connect: plataforma bim. 2.81. [s. L.], 2019. Disponível em <<https://connect.trimble.com/why-trimble-connect.html>>. Acesso em 10 abril de 2019.

Iphan. *Instituto do patrimônio histórico e artístico nacional. Brasília/DF*. 2019. Disponível em:<<http://portal.iphan.gov.br/>> acesso em 06 de novembro de 2019.

Volk, R.; Stengel, j.; Schultmann, F. *Building information modeling (BIM) for existing buildings – literature review and future needs*. Automation in construction, [s.l.], v. 38, mar. 2014, p.109-127.

Evaluación preliminar de patologías debidas a corrosión en una planta industrial.

L. Montani¹, H. A. Donza¹ y O. A. Cabrera^{1*}

*Autor de Contacto: ocabrera@fio.unicen.edu.ar

¹ Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y CIFICEN (UNCPBA-CICPBA-CONICET), Avda. del Valle 5737, 7400, Olavarría, Argentina.

RESUMEN

El presente trabajo se refiere a una evaluación visual preliminar de una planta industrial, con una superficie de $\approx 59000 \text{ m}^2$, para determinar el grado de deterioro de sus elementos estructurales pretensados y premoldeados (448 canalones, 7000 losetas y 720 columnas). Se estableció y aplico un índice de daño para cada elemento estructural, en base al cual se propuso el tiempo de intervención para mantener la seguridad y estabilidad de la estructura. Las principales patologías encontradas fueron: eflorescencias y manchas de óxido (10-48%), fisuras (10-24%) y desprendimiento del recubrimiento (13-30%). Los grados de deterioro, ponderados en una escala de 0 a 13, fueron de 4-6 para los canalones, 1-3 para las losetas y 1-3 en el caso de las columnas, es decir que el grado de daño estuvo entre “despreciable” y “moderado”. Los daños observados podrían haberse atenuado con un plan de mantenimiento sostenido en el tiempo que mantuviese la impermeabilidad de la cubierta.

Palabras clave: evaluación de patologías; hormigón pretensado; índice de daño; corrosión.

1. INTRODUCCIÓN

El término “pretensado” aparece por primera vez en 1929 en Alemania en la patente “método para la producción de acero reforzado en elementos de hormigón pretensado con barras rectas de refuerzo” desarrollada por Eugène Freyssinet (Llorente Zurdo, 2016). Posteriormente, el hormigón pretensado extendió su uso en todo tipo de estructuras como puentes de grandes luces, cubiertas industriales, depósitos de agua, durmientes de ferrocarril, viguetas, postes, etc (ACI 222.2R, 214). Por otra parte, las patologías que pueden presentar las estructuras de hormigón pretensado son variadas, no obstante, al igual que en toda estructura de hormigón, la manifestación más corriente de las mismas es a través de la aparición de fisuras. Esto ha dado lugar a numerosos estudios acerca de la fisuración del hormigón pretensado (Karayannis & Chlioris, 2013; Dai et. al., 2016; Tong, 2016). Una particularidad es que la acción del pretensado tiende a mantener a las fisuras cerradas. Esto dificulta las inspecciones visuales de la estructura como un primer diagnóstico general el estado de la misma (Ercolani et. al., 2017).

Es importante destacar que el American Concrete Institute ha redactado un documento que brinda información general sobre la evaluación del daño por corrosión con recomendaciones sobre la reparación de cables monocordon no adherentes (ACI 423.4R, 1998), y no ha avanzado hacia los cables con adherencia. Este último tipo de estructura es más compleja de reparar al estar el acero embebido en el hormigón, y no se lo puede reemplazar en caso de un avanzado grado de corrosión, y las especificaciones del ACI no contemplan para este caso métodos de reparación (ACI 222.2R, 2014).

Cuando se debe realizar la evaluación de una estructura dañada es necesario elaborar un plan de trabajo, y en muchos casos recurrir a guías para organizar el mismo. Entre estas guía o métodos se encuentran la guía del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) (Guía IVE, 2005), el manual Contecvect (Contecvect, 1989), el manual DURAR (DURAR, 2000), el programa de evaluación simplificada basado en el DURAR (Rojas Moya, 2008), entre otros. Las guías de evaluación y rehabilitación para estructuras de hormigón armado sugieren en general tres etapas:

- 1) *Inspección y evaluación preliminar*: el objetivo es un reconocimiento visual (con pruebas y ensayos de un muestreo mínimo), obtener una primera estimación de los daños y un informe que permita la decisión sobre posibles actuaciones o intervenciones.
- 2) *Inspección y evaluación complementaria*: realización de inspecciones, pruebas y ensayos complementarios (profundidad de carbonatación, contenido de cloruros, resistividad, densidad de corriente, potencial de corrosión, ensayos semi o no destructivos, etc.), de forma más completa. El objetivo es obtener una mejor estimación de los daños (tanto de origen asociado a la durabilidad de los materiales como estructural) que determine con la mejor precisión posible las intervenciones a realizar.
- 3) *Planificación de la intervención*: se deciden los distintos modos de intervención más adecuados para la rehabilitación de la estructura a fin de restablecer el grado de seguridad y prolongar su vida útil (Helene y Pereira, 2007).

El objetivo del presente trabajo es la evaluación visual para determinar el grado de daño de los elementos pretensados/premoldeados que componen una planta industrial productora de cerámicos. De acuerdo al rango o grado de daño establecido en base a una escala de valores numéricos se diseñará un plan de evaluación más extensa, de reparación y mantenimiento, de forma que se verifique la seguridad y estabilidad de la estructura.

2. DESCRIPCION Y ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA

La estructura se encuentra en la ciudad de Olavarría (Buenos Aires - Argentina) y está compuesto por cuatro edificios de una sola planta (Figura 1). La superficie total a relevar fue de 59.000 m². La cubierta de todos los edificios está constituida por canalones y losetas huecas de hormigón pretensado, y sostenida por columnas premoldeadas (Figuras 2 y 3). Todos estos elementos

fueron prefabricados y el relevamiento visual comprendió 448 canalones, 7000 losetas y 720 columnas.

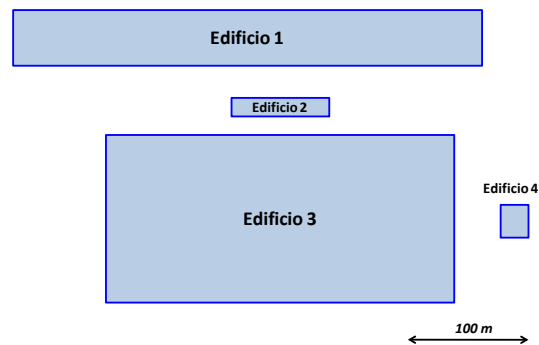


Figura 1. Plano de disposición en planta de los edificios relevados.

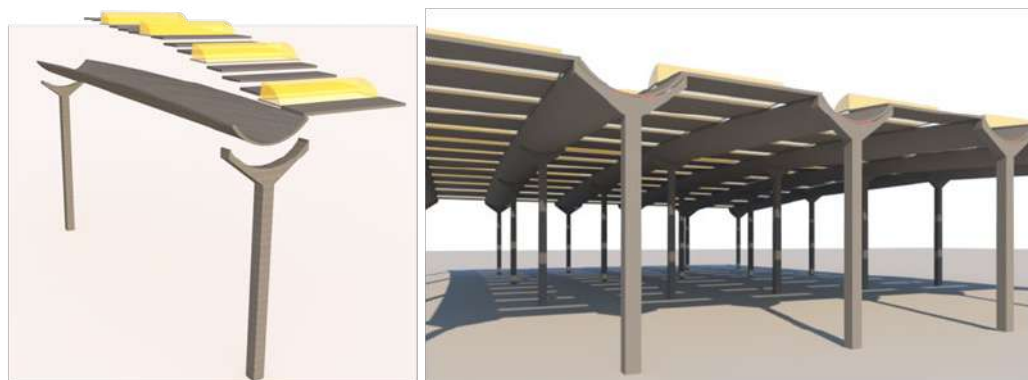


Figura 2. Columnas, canalones, losetas y lucernarios. Figura 3. Vista de un sector de la planta.

Las columnas están empotradas sobre fundaciones directas realizadas in-situ, tienen una sección rectangular de 40 cm x 45 cm y una altura variable entre 7 y 9 m. En la parte superior tienen forma de “Y”, abriéndose en dos “alas”, cuyo borde superior sigue la curvatura de la sección transversal del canalón. Los canalones actúan como vigas y son una lámina de hormigón con forma de un paraboloides hiperbólico. Son elementos simplemente apoyados que descargan sobre columnas premoldeadas. La ventaja de su empleo se basa en la posibilidad de cubrir grandes luces con espesores mínimos de hormigón, por su rigidez debida a la doble curvatura y al efecto del pretensado. Los canalones tienen una longitud de 16,20 m y un espesor variable que va desde 7 cm en el centro de la luz hasta 12 cm en los extremos. El ancho de la sección en planta es de 2,70 m y la curvatura longitudinal tiene un radio de ≈ 180 m. El peso de cada uno de ellos es de 11,56 toneladas. Las losetas terminan de cerrar la cubierta apoyándose en los bordes de los canalones y sus dimensiones son de 4 m por 1 m, con un peso de ≈ 1 tonelada. Por último, la cubierta se completa con los lucernarios de material traslucido, que dejan pasar la luz solar hacia el interior y están apoyados en los bordes de los canalones. Los edificios se fueron construyendo por sectores, el primer sector se construyó en el año 1974 y el último en 1992 (Tabla 1). Se puede observar que varios sectores de la planta están próximo cumplir los 50 años establecidos por el Reglamento CIRSOC 201:05 como vida útil de una estructura, con el mantenimiento previsto en el proyecto (CIRSOC 201:05). En este caso el mantenimiento no ha sido constante ni programado, siendo razonable que parte de las estructuras tengan algún grado de deterioro.

Tabla 1. Áreas y etapas de construcción de la planta industrial.

Etapa de construcción	Área cubierta (m ²)	Año de construcción	Observaciones
1	14800	1974	Sectores donde se había colocado una membrana para la aislación hidrófuga de la cubierta.
2	8000	1974-78	
3	13500	1974-78	
5	5500	1974-78	Desde su construcción no se empleó aislación.
6	12000	1982	
7	5200	1992-93	

La planta siempre tuvo el mismo uso industrial, sin embargo las líneas de producción fueron cambiadas en el transcurso del tiempo, tanto en su ubicación como en la tecnología empleada. Entonces, es posible que en etapas anteriores algunos sectores hayan estado sometidos a un ambiente más agresivo que el actual por el proceso de fabricación de cerámicos (p.e., temperaturas más elevadas, tipo de gases liberados, vibraciones, etc.).

2.1 Antecedentes previos de las manifestaciones patológicas

El principal inconveniente que presentó la estructura fue la ruptura y caída de uno de los canalones, después de 41 años de servicio. Este evento llevó a prestar mayor atención en cuanto al estado de la cubierta de las plantas, y en el año 2015 se realizó una inspección para analizar las causas de la rotura y caída de un canalón. Se concluyó que el colapso fue debido a la corrosión de las armaduras de pretensado. Posteriormente, se realizó un estudio empleando la tomografía de hormigón armado y determinar las condiciones de los cables pretensados de seis canalones (Mariscotti et al, 2009). Se comprobó la falta de homogeneidad del hormigón y en solo uno de ellos tenía un cordón con la sección transversal reducida por corrosión. Dos meses más tarde, se realizaron inspecciones locales picando el hormigón de dos canalones para verificar el estado de los cordones pretensado. Se observó la cantidad de nervios, la presencia de óxido, el grado de corrosión en los mismos y, la reducción de la sección. Luego, a principios del año 2019, se comenzó a realizar la aislación hidrófuga de toda la cubierta, aplicando una membrana líquida impermeabilizante con poliuretano sobre cada canalón.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Ante los antecedentes descriptos, en el año 2019 la empresa decidió realizar un relevamiento visual preliminar para cuantificar la magnitud del problema de corrosión de toda la planta. La inspección visual, el ensayo no destructivo más antiguo, se efectúa en primera instancia y es la que permite tener más rápidamente una noción sobre las condiciones generales y particulares de la estructura (Di Maio, 2004). La información detallada de cada elemento, será de utilidad para determinar intervenciones sobre aquellos que presenten un grado de deterioro y en función de este, en qué momento realizarlas. También, este relevamiento será la base comparativa para futuros relevamientos de modo de establecer la evolución de los daños a través del tiempo. Se tomó como base para este relevamiento el procedimiento de la etapa de inspección y evaluación preliminar del IVE, con modificaciones para ajustarla al planteo del comitente (Figura 4).

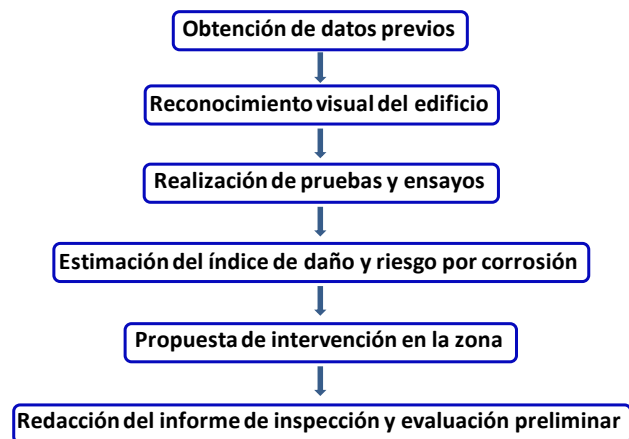


Figura 4. Esquema de la inspección y evaluación preliminar (Guía IVE, 2005).

La superficie a relevar se dividió en 21 zonas de inspección (Tabla 2). En todos los puntos la cubierta está expuesta a las mismas condiciones climáticas, aunque pueden variar las condiciones de exposición internas (temperatura, humedad ambiente, gases o agentes agresivos distintos, vibraciones, etc.). La identificación de cada elemento estructural se basa en un sistema de ejes ortogonales. En una dirección los ejes son alfabéticos y, en la otra, ejes numéricos. De este modo, la “Columna A7” es aquella que está en la intersección de los ejes A y 7, y en el caso del canalón “C3-WZ”, su eje coincide con el eje 3 y se ubica entre los ejes W y Z.

Tabla 2. Designación y distribución de zonas de inspección.

Zona	Área de la zona (m ²)	Zona	Área de la zona (m ²)	Zona	Área de la zona (m ²)
1	3520	8	1400	15	3100
2	3730	9	2460	16	3290
3	4060	10	2830	17	3290
4	3030	11	3080	18	3290
5	3520	12	2800	19	2700
6	3730	13	2150	20	1700
7	3700	14	1220	21	400

Para realizar la evaluación se diseñaron tres planillas diferentes una para cada elemento estructural a relevar (columnas, canalones y losetas). En las tres se indica la fecha en que se hizo el relevamiento y la zona o sector a la que pertenecen los elementos relevados. Cada planilla tiene el espacio para registrar: la identificación del elemento según el sistema de ejes, celdas para tildar aquellas lesiones que aparezcan (tipo, tamaño, forma y ubicación de las mismas), un esquema para dibujar las patologías, un espacio para describir cualquier observación que se considere necesaria, y otro para identificar el número de fotografía correspondiente a lesión observada. En las Figuras 5, 6 y 7 se muestran los modelos de las planillas, en forma simplificada. Los principales elementos utilizados en campo fueron binoculares, cámara digital con zoom, planillas y un elevador para aquellos elementos que presentaban mayor índice de riesgo se llevó a cabo una inspección más detallada de observando más de cerca la superficie dañada.

ZONA N°		FECHA:
Nombre	Fotos N°	Observaciones
Columna:		
Columna:		

Figura 5. Planilla para el relevamiento de columnas.

ZONA:		FECHA:											
Nombre	Manchas y filtraciones							Fisuras					
	Long.	Óxido	Eflor.	Humedad	Tamaño	Cantidad	Ubicación	Transv.	Long.	Paralela	a 45°	Óxido	
Canalón:													
Canalón:													

Figura 6. Planilla para el relevamiento de canalones (vista parcial).

ZONA N°	N° LOSETA:	N° LOSETA:
FECHA:	MANCHAS:	MANCHAS:
EJE:	-Óxido	-Óxido
	-Humedad	-Humedad
	-Eflorescencia	-Eflorescencia
	FISURAS:	FISURAS:
	-Longitud	-Longitud
	-Dirección	-Dirección
	-Forma	-Forma
	-Cantidad	-Cantidad
	DESPRENDIMIENTOS:	DESPRENDIMIENTOS:
	-Tamaño	-Tamaño
	-Cantidad	-Cantidad
FOTOS:	FOTOS:	
N° LOSETA:	N° LOSETA:	
MANCHAS:	MANCHAS:	
-Óxido	-Óxido	

Figura 7. Planilla para el relevamiento de losetas huecas.

En esta etapa preliminar no se realizaron ensayos físicos, químicos, mecánicos o no destructivos. El criterio fue determinar en forma aproximada (visualmente) el grado de deterioro y tipo de síntomas que presentaban los elementos estructurales. En base a esta información, se establecerá el tipo de ensayos complementarios que convendrá aplicar. Posteriormente se definirán las estrategias de intervención por cuestiones de seguridad, los tiempos para las diferentes reparaciones, y el seguimiento del daño en determinados elementos estructurales críticos.

3.1 Estimación del índice de daño/evaluación del estado de la estructura

Si bien se han establecido varias metodologías para la evaluación del daño de una estructuras (Guía IVE, 2005; Contecvect, 1989; DURAR, 2000 y Rojas Moya, 2008) se decidió establecer una calificación en función de un “índice de daño” basado en los datos obtenidos en la inspección visual, ponderando diversos factores (como se detallan en las planillas). Para ello se estableció una escala en función del grado de deterioro que se observaba. Si bien la escala es relativamente arbitraria, la misma permite distinguir zonas con cierto grado de deterioro de otras con mayor o menor daño. Después de este relevamiento preliminar, de acuerdo con los resultados se pasará a otra etapa donde se realizarán otros ensayos complementarios y se definirán las intervenciones. Se diseñó una escala del índice de daño para cada elemento en base a los valores establecidos en la Tabla 3, que se asignan de acuerdo a los síntomas observados. Cuando en un mismo canalón se observan más de un síntoma distinto, se establece como valor de índice de daño al mayor valor entre ellos.

Tabla 3. Índice de daño empleado para calificar el deterioro de los canalones.

Síntomas	Índice de Daño	Observaciones
No se observan	0	
Manchas de filtraciones que ingresa en unión entre lucernarios y/o losetas	0	
Manchas de eflorescencia	1	
Material poroso	1	Si se observan poros de mayor tamaño o cantidad se aumenta un número más el grado de daño.
Filtraciones puntuales (no proveniente de las uniones de elementos) a través de fisuras, poros del material	5	Cuando son filtraciones a través de fisuras, se aumenta un número más el grado de daño.
Manchas de óxido	1-6	El valor del grado de daño varía en función de la concentración y cantidad de las manchas de óxido.
Fisuras inclinadas a 45°	6	Si son varios/as de esa longitud se debe aumentar un número más al grado de daño.
Fisuras longitudinales:		
< a 50 cm	4	
≈ 100 cm o más	5	
Toda la longitud del canalón	6	
Fisuras transversales:		
< a 50 cm	4	
≈ 100 cm	6	
Todo el ancho del canalón	7	
Desprendimientos longitudinales:		
< a 50 cm	8	
≈ 100 cm	9	
Toda la longitud del canalón	10	
Desprendimientos transversales:		
< a 50 cm	8	
≈ 100 cm	9	
Todo el ancho del canalón	10	

Armadura expuesta	10	Se aplica tanto al caso de desprendimientos del recubrimiento donde la armadura queda a la vista, como también, cuando los canalones presentan errores de ejecución quedando la armadura fuera del material por la ausencia de separadores.
Desprendimientos mayores a los anteriores	11 – 13	
Rotura del canalón	Intervenir	
Otro daño importante	enseguida	

4. RESULTADOS Y SU DISCUSION

4.1 Evaluación de los canalones

Empleando la metodología descrita anteriormente se informan los resultados obtenidos en la evaluación preliminar de los canalones. Como ejemplo del método de relevamiento se informa solo una zona de la planta y en ella la mayor parte de los canalones presentan un nivel de deterioro intermedio (generalmente manchas de óxido, fisuras y filtraciones), y solo 6 presentan un daño alto. En la Figura 8 se indica la distribución, en porcentaje, de las patologías observadas en los canalones.

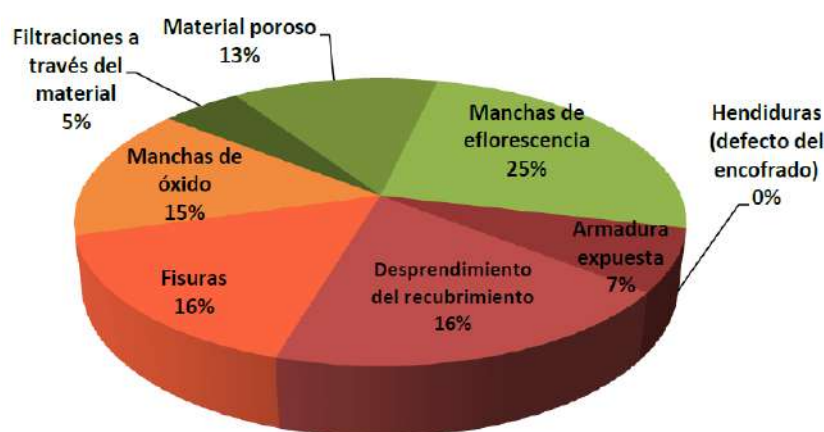


Figura 8. Distribución relativa de las patologías observadas en los canalones de la zona elegida.

A modo de resumen para evidenciar la distribución del grado de deterioro y el nivel de riesgo que presenta cada canalón de la cubierta, se elaboró una escala colorimétrica para pintar los canalones en el plano correspondiente. Esto permite reconocer en forma rápida y sencilla cuales son los más afectados, aunque se elaboraron informes técnicos con sus respectivos anexos con un minucioso grado de detalle. Además, esta escala permite tener una visión global del estado de la cubierta como síntesis de los informes. En la Figura 9 se observa la imagen resultante de una de las zonas relevadas en la que se puede observar los distintos niveles de daño en cada canalón de acuerdo con la escala colorimétrica adoptada.

Una vez finalizado el trabajo de relevamiento se calculó el porcentaje de canalones con cada rango de daño para cada zona, y para el total de la planta. Estos valores estiman la extensión en la que se deberá aplicar cada tipo de intervención. En la Tabla 4 se indican las cantidades de canalones con diferentes grados de daño correspondientes a la zona de la Figura 9.

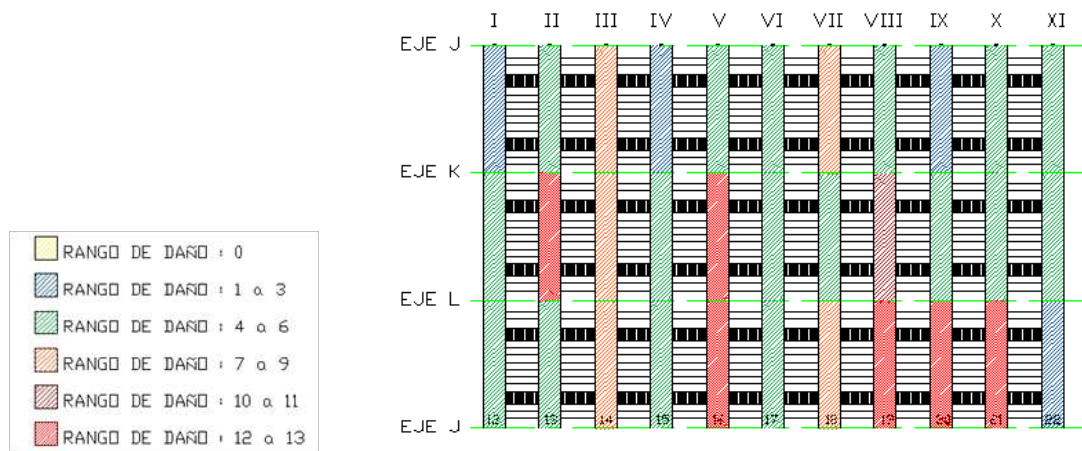


Figura 9. Imagen de una de las zonas relevadas donde se indica el rango de daño de cada canalón con escala colorimétrica.

Tabla 4. Cantidad de canalones de la zona de la Figura 9 con distintos grados de daño.

Color	Rango de daño	Cantidad de canalones	Cantidad en %
Negro	No fueron relevado	0	0,0
Amarillo	0	0	0,0
Azul	1-3	4	12,1
Verde	4-6	17	51,5
Naranja	7-9	5	15,2
Bermellón	10-11	1	3,0
Rojo	12-13	6	18,2

Luego de haber relevado visualmente la cubierta, se llevó a cabo una inspección más detallada utilizando un elevador de aquellos canalones que presentaban un mayor índice de riesgo con el objetivo de observar más de cerca la superficie dañada. De esta evaluación adicional se puede destacar:

- En algunos puntos donde la armadura pasiva estaba expuesta al observarla de cerca se constato que tenía una pérdida de sección importante debida al escaso espesor de recubrimiento (Figuras 10).

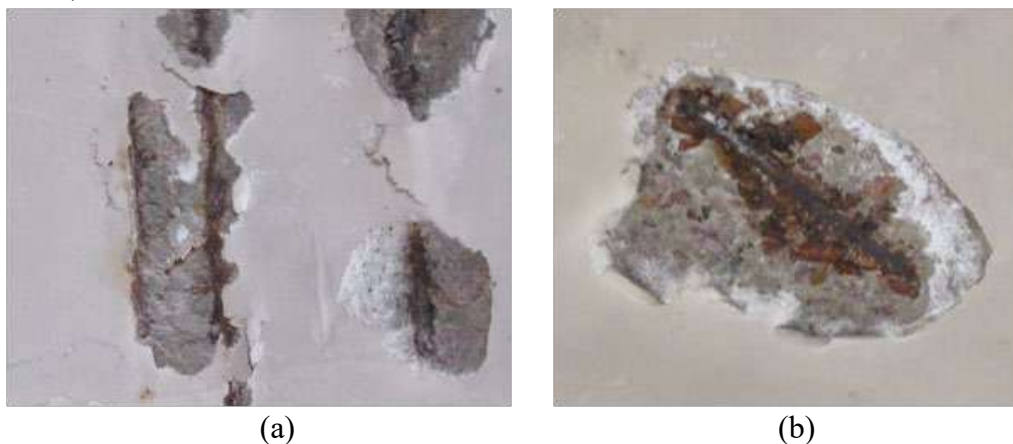


Figura 10. Imágenes de la superficie de algunos canalones que presentan desprendimientos del recubrimiento (a) y armaduras con corrosión (b).

- En aquellos casos donde se observó parte del material de recubrimiento desprendiéndose o suelto al arrancarlo se advirtió que los cables de pretensado estaban corroídos, y se observó la existencia de oquedades debido a una alta densidad de armaduras y a defectos en la mezcla o en el proceso de vibrado del hormigón en estado fresco (Figuras 11).

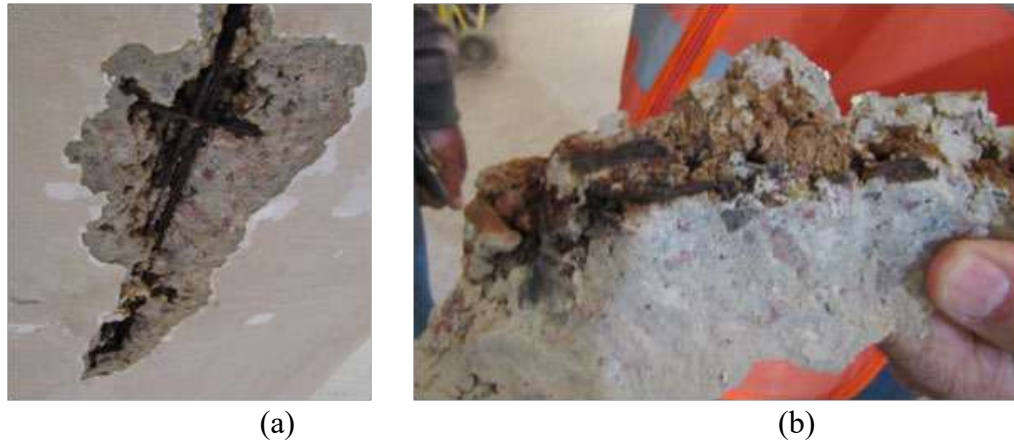


Figura 11. Imágenes de la superficie de algunos canalones que presentan desprendimientos del recubrimiento con cables de pretensado oxidados (a) y grandes oquedades (b).

4.2 Evaluación de las losetas

De la misma forma que para el estudio de los canalones se diseñó una escala de daño para las losetas en concordancia con la planilla de la Figura 7. La tabla es muy similar a la anterior, sin embargo, el tipo y nivel de incidencia de los síntomas son diferentes cuando ocurren en los canalones que cuando aparecen en las losetas o columnas por el impacto que tendría un posible colapso (el área de la cubierta de una loseta es de 4 m^2 , y el área de incidencia de un canalón con las viguetas que apoyan sobre él es de 136 m^2). En la Figura 12 se indica la distribución, en porcentaje, de las patologías observadas en las losetas.

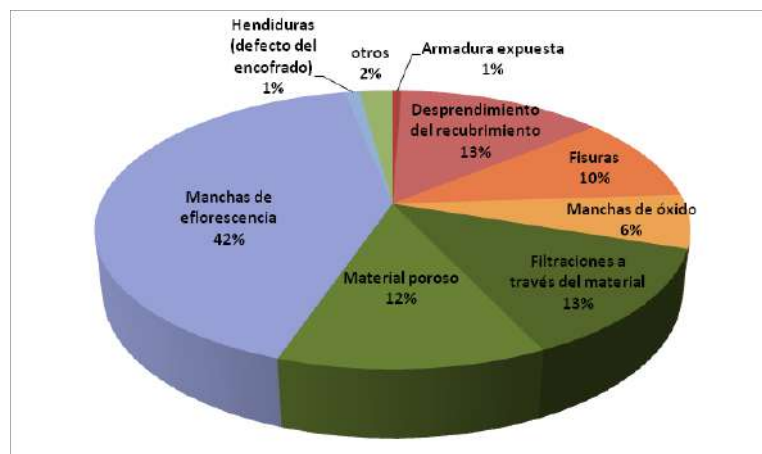


Figura 12. Distribución relativa de las patologías observadas en las losetas de la zona elegida.

En la Figura 13 se muestra la aplicación del índice de daño a losetas correspondientes a la misma zona de la plata industrial que se mostró para los canalones. Por otro lado, en la Tabla 5 se calculó el porcentaje de cada grado de daño observado en las losetas.

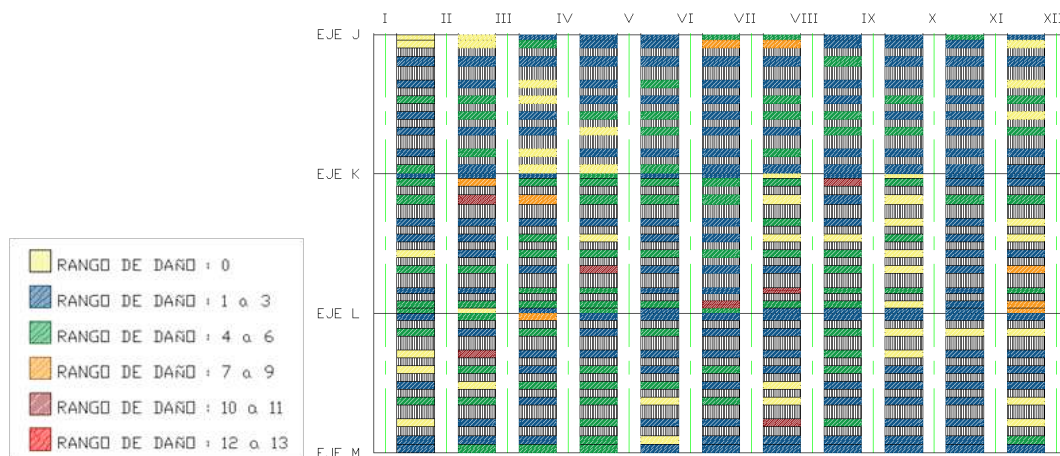


Figura 13. Imagen de una de las zonas relevadas donde se indica el rango de daño de cada loseta con escala colorimétrica.

Tabla 5. Cantidad de losetas de la zona de la Figura 13 con distintos grados de daño.

Color	Rango de daño	Cantidad de losetas	Cantidad en %
Negro	No fueron relevadas	0	0,0
Amarillo	0	42	12,8
Azul	1-3	162	49,4
Verde	4-6	109	33,2
Naranja	7-9	8	2,4
Rojo	10	7	2,2

4.3 Evaluación de las columnas

De un modo similar a lo realizado con los canalones y las losetas, se diseñó una escala de daño para las columnas premoldeadas. En la Figura 14 se indica la distribución, en porcentaje, de las patologías observadas en las columnas y en la Figura 15 se aplica la escala de daño al mismo sector de la planta. En la Tabla 6 se indican la cantidad de columnas con diferentes grados de daños.

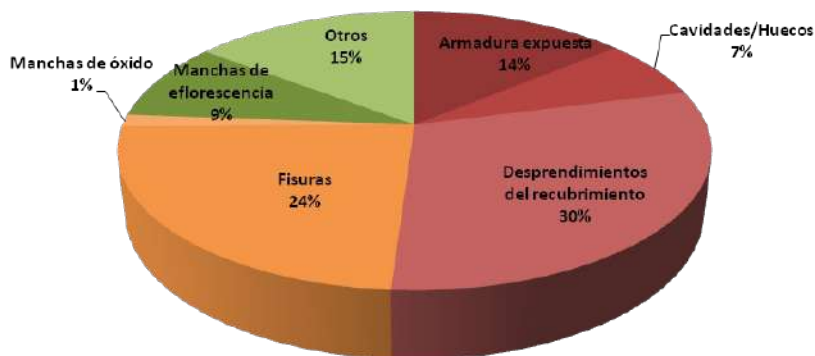


Figura 14. Distribución relativa de las patologías observadas en las columnas de la zona elegida.

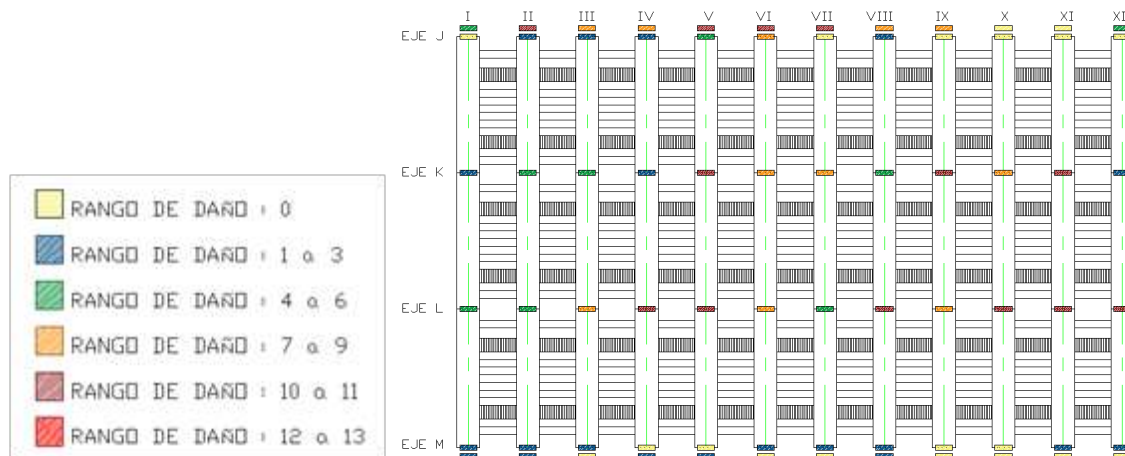


Figura 15. Imagen de una de las zonas relevadas donde se indica el rango de daño de cada columna con escala colorimétrica.

Tabla 6. Cantidad de columnas de la zona de la Figura 15 con distintos grados de daño.

Color	Rango de daño	Cantidad de columnas	Cantidad en %
Negro	No fueron relevadas	0	0,0
Amarillo	0	19	26,4
Azul	1 - 3	20	27,8
Verde	4 - 6	9	12,5
Naranja	7 - 9	11	15,3
Rojo	10	13	18

4.4 Propuesta de tiempos de intervención de la estructura

De acuerdo con los métodos existentes sobre evaluaciones de estructuras que presentan patologías asociadas a la corrosión de las armaduras y teniendo en cuenta el alcance del relevamiento visual se estableció una clasificación de la urgencia de intervención (nueva inspección o reparación/refuerzo de la estructura). En base al índice de daño que presenta cada elemento, se establecen plazos de intervención o inspecciones futuras, de un modo similar al planteado en la bibliografía (Rojas Moya, 2008). Se agruparon los rangos de daño en cuatro grupos o escala de daño: Despreciable, Moderado, Severo y Muy severo. Luego, para cada uno de estos rangos de daño se estimaron los intervalos de tiempo aconsejables de intervención o reparación (Tabla 7).

Tabla 7. Tiempos propuestos para realizar la intervención según la escala de daño.

Grado de Daño	Índice de Daño	Urgencia de intervención (años)
Despreciable	0 - 2	> 6
Moderado	3 - 6	3 - 6
Severo	7 - 9	1 - 3
Muy severo	10 - 13	0 - 1

El tipo de intervención dependerá del resultado obtenido en la evaluación:

- Para periodos > 6 años, se recomienda una nueva “inspección preliminar” una vez pasado ese tiempo. En este caso, se deberá utilizar al presente estudio para determinar el avance del daño.
- Para periodos de 3 a 6 años, se recomienda una nueva “inspección preliminar” de la estructura dentro de ese período de tiempo (midiendo la velocidad de corrosión, en lo posible, o empleando métodos no destructivos u otros que permitan obtener información más fehaciente sobre el estado de los elementos estructurales).
- Para periodos entre 1 a 3 años, se recomienda una “evaluación complementaria”, lo cual es una evaluación más detallada, realizar ensayos complementarios sobre el estado de las armaduras, etc. dentro de ese plazo.
- Para periodos \leq 1 año, se recomendaría una actuación rápida, como el apuntalamiento o resolución similar.
- Por ser un relevamiento visual, en los elementos estructurales más comprometidos se aconseja realizar ensayos (semi y no destructivos) y ensayos complementarios para tener mayor seguridad.

Finalmente, del relevamiento efectuado se desprende la importancia del mantenimiento de las estructuras de hormigón armado, tema que no es habitual de encontrar, y que representa una mayor vida útil y la conservación del grado de seguridad de la estructura. El mantenimiento de plantas/edificios de grandes superficies como en este caso (59000 m²) requiere de una programación sistemática en el tiempo, dado los costos que implica su realización, atendiendo el trabajo por zonas o por tipo de elementos estructurales.

Un plan de mantenimiento es esencial. Los canalones son láminas delgadas de muy poco espesor de recubrimiento y considerable área superficial expuesta (elevada relación m^2/m^3), lo cual lo hace muy susceptible frente al fenómeno de carbonatación. Por otro lado, a esta situación se le suma la presencia de cables pretensados que tienen una mayor susceptibilidad de corroerse. Cabe destacar, también, la importancia de la etapa de ejecución ya que, en el caso de los canalones, se encontraron oquedades y recubrimientos muy delgados que afectan a la resistencia y durabilidad del mismo. Pequeños errores de ejecución, pueden llevar a elevados costos de mantenimiento y rehabilitación.

5. CONCLUSIONES

El trabajo realizado permite efectuar las siguientes consideraciones a modo de conclusiones:

- El índice de daño es uno de los criterios a tomar en cuenta para establecer los tiempos para efectuar intervenciones en las distintas zonas de la estructura, y los tiempos de los próximos relevamientos para evaluar la evolución del estado de la planta.
- Si bien el relevamiento visual detecta el estado de los elementos estructurales y las diferencias en distintos grados de deterioro, siempre es aconsejable efectuar una siguiente etapa donde se empleen ensayos o técnicas que puedan indicar con mayor precisión el deterioro interno del material.
- El efecto de las filtraciones de agua, la falta de impermeabilización, la presencia de membranas deterioradas (membrana cuarteada que acumula el agua), la realización de huecos en columnas (dejando la armadura expuesta), amures en canalones y losetas (sumando cargas no previstas en elementos estructurales), sobre las estructuras de hormigón armado o pretensado constituyen el principal motivo del origen de las eflorescencias, fisuras, desprendimientos y colapsos debidos a la corrosión de las armaduras.

- Los principales elementos que conforman la cubierta (canalones) son relativamente pesados, complejos en su geometría, y por tener al acero de pretensado con adherencia resultan complejos de rehabilitar.

6. REFERENCIAS

- American Concrete Institute. (2014) *ACI 222.2R-14: "Corrosion of Prestressing Steels"*, Farmington Hills, MI, USA.
- American Concrete Institute. (2014) *ACI 423.4R-14: "Corrosión y reparación de cables monocordón no adherentes"*, Farmington Hills, MI, USA.
- Dai, L., Wang, L., Zhang, J. and Zhang, H. (2016) "*A global model for corrosion-induced cracking in prestressed concrete structures*", *Engineering Failure Analysis*. 62:263-275.
- Di Maio, A. (2004) "*Técnicas y ensayos de evaluación de estructuras afectadas por patologías*" Jornadas de Patología de Estructuras de Hormigón Armado, La Plata, Argentina.
- DURAR (2000) "*Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*", Ed. CYTED-Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, España.
- Ercolani, G.D., Ortega, N.F. y Félix, D.H. (2017) "*Detección de fallas en vigas de estructuras pretensadas mediante técnicas estáticas*", CONPAT 2017, Asunción, Paraguay.
- Geocisa, CONTECVET. (2002) "*Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armadura*" Madrid, España.
- Helene, P. R. y Pereira, F. (Eds). (2007) "*Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto*", ISBN 85-60457-00-3, San Pablo, Brasil, p.598.
- Instituto Valenciano de la Edificación. (2005) "*Guía para la Inspección y Evaluación Preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes*". Valencia, España, p.114.
- Karayannis, C.G. and Chlitoris, C. E. (2013) "*Design of partially prestressed concrete beams based on the cracking control provisions*", *Engineering Structures*. 48:402-416.
- Llorente Zurdo, M. P., (2016), "*El pretensado: la disolución de las tipologías constructivas en la arquitectura del SXX*", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, p. 638.
- Mariscotti, M. A., Jalinoos, F., Frigerio, T., Ruffolo, M. and Thieberger, P. (2009) "*Gamma-Ray Imaging for Void and Corrosion Assessment*", *ACI International*. 31(11): pp. 48-53.
- Peralta, M. H. y Ercoli, N.L. (2005) "*Measuring the dynamic properties to detect structural damage*" - IV International ACI/ CANMET. Conference of Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing, Olinda, Brazil, pp. 463-475, ISBN 85-98576-08-5.
- Reglamento CIRSOC 201. (2005) "*Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*", Ed. INTI, Argentina.
- Rojas Moya, G. (2008) "*Evaluación de Estructuras de Concreto por Corrosión*", *Tecnología en Marcha*. 21 (4):69-78.
- Tong, T., Liu, Z., Zhang, J. and Yu, Q. (2016) "*Long-term performance of prestressed concrete bridges under the intertwined effects of concrete damage, static creep and traffic-induced cyclic creep*", *Engineering Structures*. 127:510-524.

SIGOA-DF: Plataforma Para Inspeção e Gestão de Obras de Arte Especiais no Distrito Federal Utilizando a Metodologia do GDE/UnB

G. Berbert-Born ^{1*}, A. Nascimento Filho¹, J.G. Monteiro¹, M. E. Pereira¹, M. H. Oliveira¹, C. Saraiva

*Autor de Contato: guiborn.eng@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasil

RESUMO

Um sistema de gerenciamento de Obras de Artes especiais é essencial para o mapeamento de pontes e viadutos em nível crítico de deterioração e, conseqüentemente, o auxílio na tomada de decisões para novas manutenções. Este trabalho objetiva o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento que seja eficiente e confiável para o controle de Obras de Arte Especiais, utilizando a metodologia do grau de deterioração desenvolvida pela Universidade de Brasília, o SIGOA-DF. O desenvolvimento do sistema contempla um módulo de inspeções para obtenção dos dados, o ajuste da ferramenta conforme às necessidades dos inspetores e um módulo análise dos resultados obtidos e armazenados no banco de dados.

Palavras Chaves: Sistema de Gerenciamento; Pontes e viadutos; Manutenções; Grau de deterioração.

ABSTRACT

A management system for bridges and viaducts is essential for mapping structures in a critical level of deterioration and consequently to support decisions for maintenance processes. This work objectives the development of a management system that is efficient and reliable for the knowledge and control of the deterioration processes in structures, using the methodology of the degree of deterioration developed at the University of Brasilia, the SIGOA-DF. The development of the system includes a inspection module to obtain data, adjusting the tool according to the needs of inspectors and a module of analysis for the results obtained and stored in the database.

Keywords: Management System; Bridges and viaducts; Maintenance; Degree of deterioration.

RESUMEN

Un sistema de gestión de obras de artes especiales es fundamental para el mapeo de puentes y viaductos en un nivel crítico de deterioro y, en consecuencia, la ayuda en la toma de decisiones de nuevo mantenimiento. Este trabajo tiene como objetivo desarrollar un sistema de gestión eficiente y confiable para el control de Obras de Arte Especiales, utilizando la metodología del grado de deterioro desarrollada en la Universidad de Brasilia, el SIGOA-DF. El desarrollo del sistema incluye un módulo de inspección para obtener los datos, ajustamiento de la herramienta según las necesidades de los inspectores y un módulo para analizar los resultados obtenidos y almacenados en la base de datos.

Palabras clave: Sistema de Gestión; Puentes y viaductos; Mantenimiento; Grado de deterioro.

1. INTRODUÇÃO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) são estruturas que têm a função de ligar pontos separados por obstáculos naturais ou artificiais. Essas construções estão submetidas às ações externas provenientes de cargas móveis de veículos, forças devido ao vento, exposição à água, variações de temperatura, retração e fluência no caso do concreto. As OAEs são afetadas pelo envelhecimento, fadiga, corrosão, ausência ou falha de manutenção, pelo incremento de cargas, entre outros fatores. Em relação às estruturas de concreto armado, devem ser atendidos os requisitos de qualidade, classificados em capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. Nota-se que a capacidade resistente está relacionada à segurança à ruptura da estrutura. A capacidade da estrutura atender as condições de utilização durante sua vida útil evidencia o desempenho em serviço. Enquanto a durabilidade está relacionada ao grau de exposição da estrutura à fatores ambientais ao longo do tempo e à boa conduta de utilização dos usuários.

Conforme evidenciado por Mitre (2005), é fundamental observar que a maioria dos processos de deterioração desenvolve-se gradualmente e tem manifestações visíveis ou detectáveis por ensaios específicos. Dessa forma, pode-se identificar, diagnosticar e solucionar os problemas antes que atinjam proporções graves ou que resultem em custos financeiros e sociais elevados de recuperação. Por essa ótica, o acompanhamento periódico do estado das OAEs, por meio de vistorias e inspeções detalhadas, executadas conforme um conjunto de procedimentos padronizados e tecnicamente adequados, é o modo mais eficaz de subsidiar uma política de manutenção corretiva e preventiva de OAEs.

Inspeções detalhadas permitem identificar as principais manifestações patológicas atuantes nas estruturas em análise. Caso seja necessário, é possível promover planos de manutenção, a fim de

que se possa atender os requisitos mínimos de capacidade de carga, segurança e conforto, permitindo a ampliação do período de preservação e de serviço das edificações. A avaliação visual pode ser utilizada como método de inspeção, bem como a realização de ensaios não destrutivos dos elementos das OAEs.

A metodologia do Grau de Deterioração Estrutural (GDE/UnB) trata-se de um método que faz uso de equações para análise do grau de deterioração estrutural, além de permitir a avaliação, separadamente, de cada elemento da estrutura. Essa metodologia pode ser utilizada como uma ferramenta de apoio à decisão dos gestores, permitindo identificar as principais manifestações patológicas que afetam as estruturas e, se necessário, promover um plano de manutenção, a fim de que possam atender os requisitos mínimos de capacidade de carga, segurança, conforto e assim ampliar seu período de preservação e serviço.

Desenvolvida por Castro (1994), para quantificar o grau de deterioração em estruturas de concreto armado convencionais, a metodologia evoluiu por meio das pesquisas de Lopes (1998), Boldo (2002), Fonseca (2007), Euqeres (2011) e Verly (2015). As adaptações evidenciadas por esses autores incidem nas formulações e parâmetros utilizados para o desenvolvimento da plataforma para inspeção e gestão de obras de arte especiais no Distrito Federal, o SIGOA-DF, exposto no presente trabalho.

De acordo com a metodologia, as edificações inspecionadas podem ser particionadas, tomando como medida de separação as características estruturais dos elementos, em grupos denominados famílias de elementos. Cada família detém uma matriz com possíveis manifestações de danos. Cada possibilidade de manifestação acompanha um valor de Fator de Ponderação do Dano (F_p) com o objetivo de quantificar a relevância de um determinado dano em função dos quesitos de estética, funcionalidade e segurança. Com a inspeção visual, o responsável técnico deve atribuir o Fator de Intensidade do Dano (F_i), classificando assim a gravidade do dano. A fase seguinte da metodologia diz respeito ao Grau do Dano (D), fator introduzido na metodologia para quantificar a manifestação de cada dano no elemento com base na evolução temporal da deterioração do concreto. Por meio desses dados, é possível calcular o Grau de Deterioração de um Elemento (G_{de}) e, em sequência, determinar o Grau de Deterioração de uma Família de Elementos (G_{df}) dado pela média aritmética entre os graus de deterioração dos elementos componentes da família.

Conforme indicado por Castro (1994), cada família de elementos em análise deve possuir um fator de relevância estrutural (F_r), de modo a considerar a importância relativa das diversas famílias de elementos no conjunto de partições da obra. O parâmetro final de análise é definido como o Grau de Deterioração da Estrutura (G_d) composto pela média ponderada dos graus de deterioração das famílias de elementos e seus respectivos fatores de relevância estrutural. Com a obtenção desse valor, é possível classificar a estrutura analisada em níveis que variam de estado baixo a crítico de deterioração, de acordo com a separação feita por Euqeres (2011). A Figura 1 mostra o fluxograma adaptado de Castro (1994) proposto para a metodologia GDE/UnB e suas etapas de avaliação.

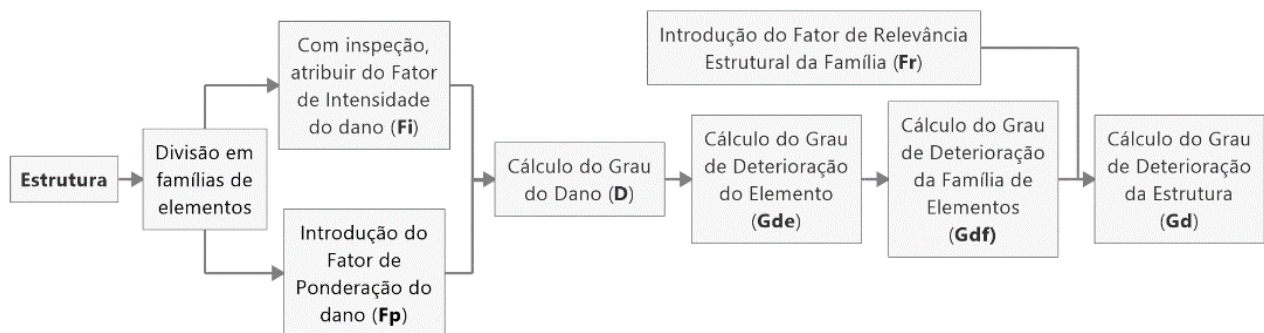


Figura 1 - Fluxograma da metodologia GDE/UnB (CASTRO, 1994 - adaptado)

As Obras de Arte Especiais são de grande importância para o desenvolvimento socioeconômico do país, sendo a manutenção algo fundamental para a prolongação e aproveitamento máximo da vida útil das estruturas. Para tal, é essencial que o sistema de gerenciamento que seja eficiente e confiável para o controle das OAEs, especialmente para o mapeamento das estruturas em estado crítico e o auxílio na tomada de decisões a serem realizadas.

Para garantir maior controle das pontes e viadutos sob sua responsabilidade, uma entidade deve idealmente utilizar um sistema de gerenciamento de OAEs, no qual seja possível a consulta de um histórico de inspeções, as quais devem preferencialmente ser detalhadas. A depender da quantidade de OAEs no banco de dados, torna-se difícil a consulta individual das mesmas, sendo a melhor forma de controle a criação de indicadores e parâmetros quantitativos que permitam a caracterização do estado de conservação, além do histórico de inspeções e manutenção de diversas estruturas.

Elbehairy (2007), afirma que um sistema de gerenciamento de OAEs pode ser definido como uma ferramenta de auxílio aos gestores e entidades responsáveis para a otimização de políticas de decisão de uma rede viária, facilitando a criação de planejamento de ações de manutenção, reabilitação ou substituição, considerando-se os objetivos a longo prazo e os recursos disponíveis. De acordo com Moscoso (2017), de maneira geral, um sistema de gerenciamento de OAEs se divide em três grupos: banco de dados, análise dos dados e suporte à decisão. Segundo a autora, as decisões tomadas pelos responsáveis são baseadas nas informações de entrada dos trabalhos realizados nas OAEs e das inspeções programadas nas estruturas.

Dada a importância de um sistema de gerenciamento de OAEs, o Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte do Distrito Federal (SIGOA-DF) foi desenvolvido como uma ferramenta de apoio à inspeção, por meio da metodologia GDE/UnB, das OAEs dessa região e, por conseguinte, auxiliar na definição de prioridades de intervenção nos elementos componentes das edificações presentes na plataforma. O uso desta ferramenta permite à equipe envolvida na gestão de obras de arte formular decisões consistentes e estruturadas, visando à otimização dos recursos disponíveis.

2. PROCEDIMENTO

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de Obras de Arte Especiais utilizando a metodologia GDE/UnB, o SIGOA-DF. Para tal, foi utilizada a linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA), baseada no software Microsoft Excel, cujo uso é familiar para grande parte dos alunos de graduação, pós-graduação e no meio empresarial e governamental em geral. Esta seção aborda a estrutura do sistema desenvolvido, bem como apresenta de forma geral suas etapas de pré-processamento, processamento e pós processamento.

A plataforma SIGOA-DF vem sendo utilizada para a inspeção de diversos viadutos do Distrito Federal, sendo feitas diversas reuniões para que a mesma se ajustasse às necessidades dos inspetores. As inspeções realizadas e as Obras de Arte Especiais cadastradas na plataforma fazem, dessa forma, parte do banco de dados alimentado ao longo dos anos de 2020 e 2021.

2.1 A utilização do VBA no desenvolvimento da plataforma

A escolha do VBA para a implementação do SIGOA-DF se deu pela sua simplicidade de implementação e pela facilidade e familiaridade de grande parte da comunidade acadêmica e do mercado de trabalho com o Excel, o software de planilhas eletrônicas mais popular do mundo. Trata-se de uma plataforma consolidada, robusta, com alto poder de processamento e de interface amigável ao usuário.

O VBA permite ainda acesso e manutenção de arquivos e diretório do sistema operacional do computador, que por sua vez pode ser conectado à nuvem, possibilitando a criação de um ecossistema integrado entre interface e banco de dados.

2.2 A estrutura do SIGOA-DF

O desenvolvimento de uma plataforma prática e intuitiva ao usuário é essencial para a boa qualidade dos dados coletados, assim como facilidade de acesso aos mesmos e aos resultados de seu processamento. Visando a organização, facilidade de uso e usabilidade, a organização do SIGOA-DF é dividida entre dois elementos principais: a interface e o banco de dados.

2.2.1 Banco de dados

O banco de dados consiste em um conjunto de informações armazenadas em nuvem, que podem ser acessadas quando a plataforma de sincronização é acessada pelo computador, sendo possível a sincronização completa ou seletiva de diretórios, além da consulta de objetos pontuais, como fichas de inspeção e fotos específicas de determinada OAE. Dessa forma, não há necessidade de armazenamento de todos os arquivos de inspeção no computador, economizando-se espaço local. Quando uma OAE é designada a um inspetor, a plataforma cria automaticamente a estrutura de diretórios, podendo ser determinadas as permissões de acesso ao inspetor. A estrutura conta com diretórios, é gerado automaticamente um link para um ponto em plataforma de mapas online, podendo ser acessado em dispositivos móveis para facilitar a localização da mesma. Além disso, é gerada uma ficha de inspeção, baseada em um modelo pré-definido, que será preenchida pelo inspetor e também mostrada adiante.

Foi utilizada ainda uma Interface de Programação de Aplicativos (*API*) que permite que sejam obtidas automaticamente imagens da localização da OAE no mapa, bem como imagens de satélite e imagens a nível de terreno de serviços de terceiros, quando disponíveis no local.

Por fim, é criada automaticamente um diretório no qual deverá ser inserido o registro fotográfico feito pelo inspetor. Este deve ser organizado por elemento, para que seja possível a realização de eventuais consultas dentro do banco de dados. A Figura 2 mostra a estrutura utilizada no banco de dados do SIGOA-DF.

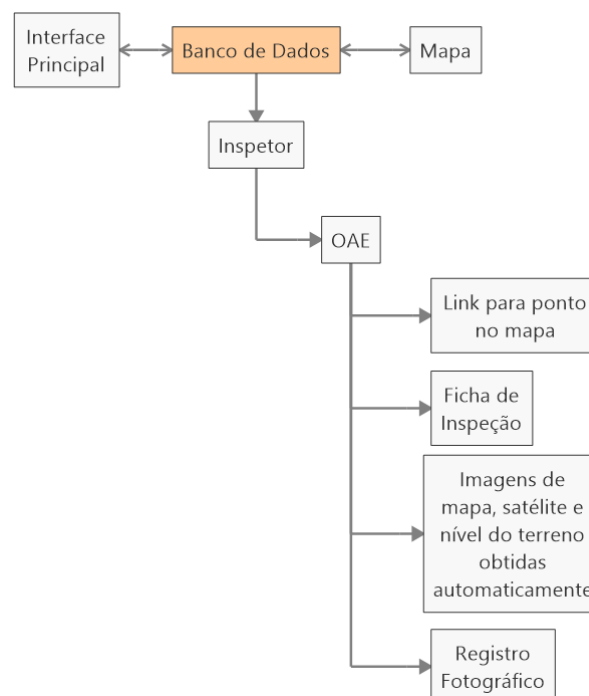


Figura 2 - Estrutura do Banco de Dados do SIGOA-DF

2.2.2 Integração a ferramentas de georreferenciamento

O banco de dados está ligado à Interface Principal, que gerencia as OAEs cadastradas e é capaz de importar e exportar arquivos de extensão KML e KMZ. Com isso, as informações básicas de uma OAE podem ser acessadas por softwares de georreferenciamento. Algumas dessas plataformas possibilitam a categorização dos pontos no mapa de acordo com informações tais como inspetor responsável, grau de dano e estado de conservação, conforme mostrado na Figura 3.

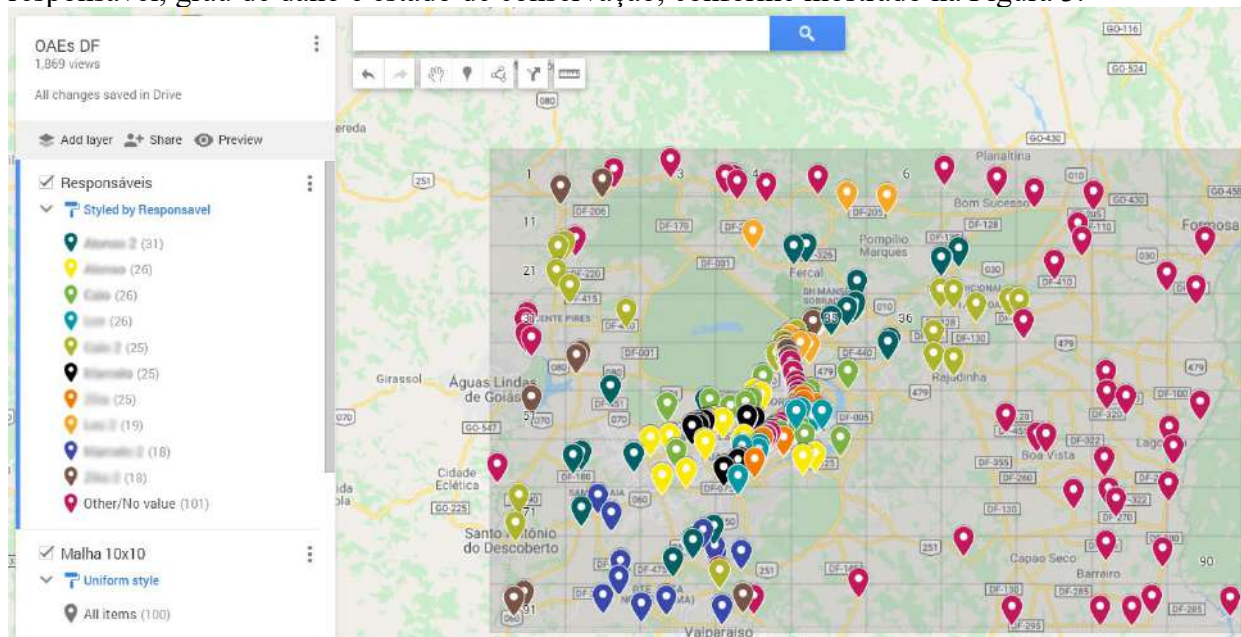


Figura 3 - Interface de mapa colaborativo com classificação por inspetor

A utilização de uma interface colaborativa permite que os inspetores tenham acesso à localização e às informações básicas das OAEs, podendo ser solicitada a adição e/ou a remoção de pontos no mapa. A localização pode ser acessada pelo GPS do celular do inspetor, facilitando o deslocamento até a estrutura.

2.3.3 Interface Principal

A interface é o espaço onde ocorrem as etapas de pré-processamento, processamento e pós-processamento dos dados contidos no banco de dados. Consiste no principal ponto de contato do usuário com a plataforma, onde este pode consultar e inserir informações, além de acessar ferramentas de análise dos dados cadastrados. A interface pode ser subdividida em dois componentes: a Interface Principal e a Interface Secundária.

A Interface Principal da plataforma consiste na área de interação do usuário com o banco de dados. Nela, pode ser consultado um resumo das OAEs que compõem o banco, bem como feito o gerenciamento dessas. O esquema da Interface Principal é apresentado na Figura 4, juntamente ao menu da aba principal da ferramenta.

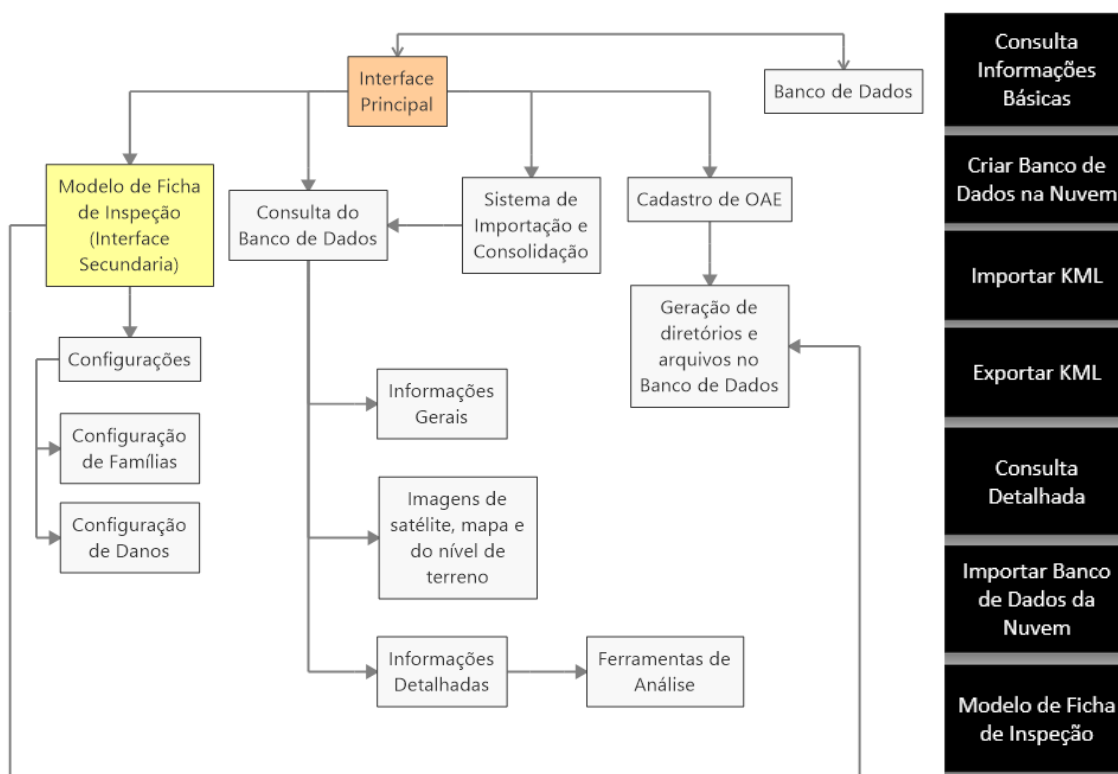


Figura 4 - Esquema da Interface Principal da Plataforma (esquerda) e Menu da Aba Principal (direita)

A Interface Principal da plataforma pode ser subdividida em quatro principais funcionalidades por ela oferecidas:

a) Modelo de Ficha de Inspeção: utilizado para a reprodução das Fichas de Inspeção a serem preenchidas pelos responsáveis por cada OAE. Este modelo consiste em uma planilha a parte, que é reproduzida com os dados de cada OAE cadastrada e inserida no banco de dados. A Ficha de Inspeção consiste na Interface Secundária, que será detalhada adiante.

b) Módulo de Consulta e Análise: composto por quatro subelementos, sendo eles uma aba com informações gerais, uma aba de consulta, uma aba com informações detalhadas e uma aba de análise dos dados detalhados, a partir da qual são obtidos os resultados apresentados neste trabalho. A aba de informações gerais consiste em um resumo das informações do banco de dados, onde podem ser consultados nome, descrição, latitude, longitude, malha, observações, responsável, além dos G_d e G_d^* calculados. Os dados dessa aba podem ser importados do arquivo KML obtido na plataforma de georreferenciamento. A partir dessas informações também podem ser gerados os diretórios e arquivos no banco de dados armazenado em nuvem, fazendo-se a filtragem da lista conforme a necessidade.

A aba de consulta, nomeada como “Principal” consiste em uma aba onde o usuário pode acessar as informações básicas das OAEs cadastradas no banco de dados, sendo possível a consulta das seguintes informações: Nome, Descrição, Tipo, Estado de Conservação, Latitude, Longitude, Malha, OBS, Responsável, G_d e G_d^* (grau de dano considerando apenas elementos de $G_{de} > 15$). A aba de consulta também permite a obtenção das imagens de satélite, posição no mapa e quatro vistas do nível de terreno. A seleção da OAE para a qual se deseja obter informações é feita por meio de um formulário de usuário, exposto na Figura 5 que possui opções de filtro por malhas,

responsáveis, tipo de estrutura, estado de conservação, responsável e observação, facilitando e agilizando eventuais consultas.

Consulta de OAEs

OAEs (26)

- 055_785_27_85_V
- 055_785_68_90_V
- 055_785_69_44_V
- 055_785_86_54_V
- 055_786_09_67_V
- 055_786_89_70_V
- 055_787_01_07_V
- 055_787_23_09_V
- 055_787_63_31_V
- 055_787_72_16_V
- 055_788_16_59_V
- 055_788_33_54_V
- 055_788_35_18_V
- 055_788_98_72_V
- 064_793_09_45_V
- 064_793_21_10_V
- 064_793_44_43_V
- 064_793_55_26_P
- 064_795_57_91_P
- 064_795_96_26_P
- 074_796_82_25_V
- 074_796_88_38_V
- 074_796_48_15_V
- 055_785_47_15_V
- 074_796_47_15_V
- 055_788_47_15_V

Selecionar OAEs por

Nome

Descrição

Filtro

Malhas 1-100

Tipo

E.C.

Resp. Leonardo Chaves

OBS.

Apenas OAEs inspeccionadas

Selecione a OAE ou digite abaixo

Mostrar mapas (Zoom: 14)

Informações Gerais	
Nome	064_793_21_10_V
Descricao	Viaduto 1 na DF-004 sobre a DF-002
Tipo	VIAD. SOBRE ROD./RUA
Estado de Conservacao	Alto
Latitude	-15.844961
Longitude	-47.9316121
Malha	64
OBS	
Responsável	Leonardo Chaves
Gd	50.21

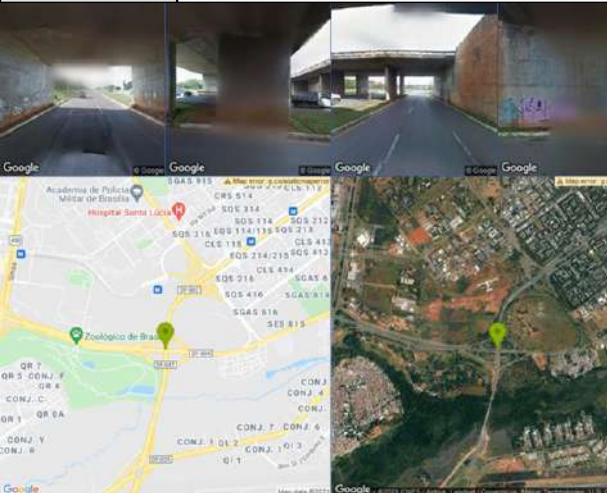
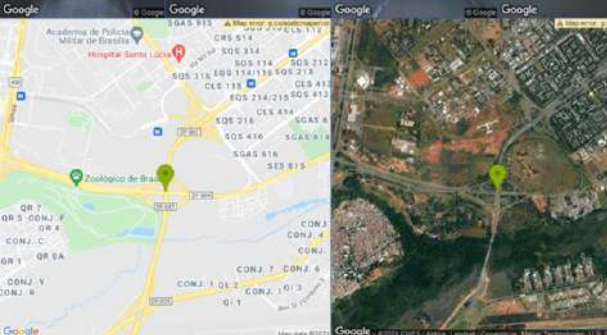



Figura 5- Consulta de Informações Básicas (esquerda) e resultados da busca (direita)

No caso da necessidade de uma consulta detalhada, o usuário pode acessar a aba “Consulta Detalhada”, na qual tem acesso a uma ferramenta de análise básica a partir da qual é possível ver informações a níveis de dano, elementos e famílias para cada OAE inspeccionada. A aba “Análise Geral” fornece uma análise estatística básica dos dados coletados, que será apresentada nos resultados deste trabalho.

c) Módulo de Importação e Consolidação: Este módulo concede ao usuário acesso ao ambiente no qual é capaz de importar os dados detalhados do banco de dados.

2.2.4 Interface Secundária – Fichas de Inspeção

A Interface Secundária consiste em fichas de inspeção geradas a partir do Modelo de Ficha de Inspeção, modelo no qual podem ser inseridas as famílias e danos padrão, bem como o *layout* de modelagem da OAE a ser inspeccionada. Nessa interface, o inspetor deve cadastrar os elementos que compõem a OAE para a realização da inspeção. O usuário pode também editar os valores padrão como o Fator de Relevância (F_r) de cada elemento, bem como os tipos e Fatores de Ponderação (F_p) dos danos.

Ao ser gerado o banco de dados das OAEs a partir da Interface Principal, cria-se uma cópia do Modelo de Ficha de Inspeção, o qual é disposto dentro do diretório criado para a OAE no banco. O esquema de funcionamento da Interface Secundária está resumido no diagrama apresentado na Figura 6.

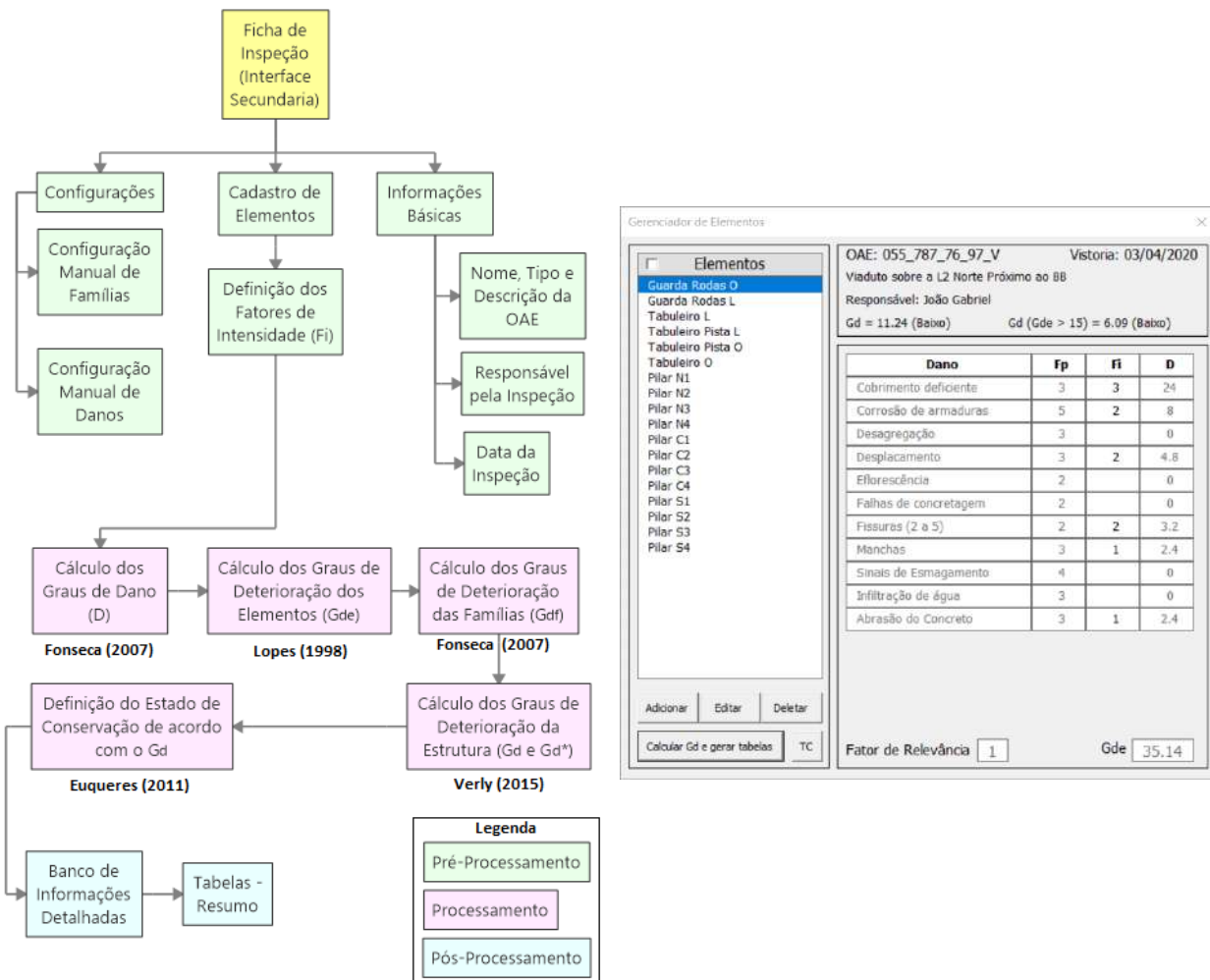


Figura 6 - Esquema representativo do funcionamento da Interface Secundária (esquerda) e Gerenciador de Elementos (direita).

A Interface Secundária permite a criação e edição de elementos dentro da OAE, sendo possível a escolha de uma família, ou tipo de elemento pré-definido, a edição ou a criação de uma nova família. Pode ainda ser gerada uma tabela para preenchimento em campo considerando os elementos cadastrados e seus respectivos danos. O intuito dessa tabela é facilitar a percepção dos pesos de cada tipo de elemento e de cada tipo de dano na estrutura global, sendo facilitado o preenchimento posterior da Ficha de Inspeção a partir da tabela impressa levada a campo. O funcionamento da Interface Secundária pode ser dividido em três etapas principais: pré-processamento, processamento e pós-processamento.

a) Etapa de Pré-Processamento: consiste na inserção de informações básicas, no cadastro de elementos e na configuração das famílias e danos, quando necessário. Quando cada elemento criado é selecionado na lista de elementos, surge uma nova lista contendo os danos a ele associados, bem como seus Fatores de Ponderação (F_p), e o Fator de Relevância (F_r) do elemento.

b) Etapa de Processamento: à medida que são preenchidos os Fatores de Intensidade (F_i) associados a um dano de um elemento, ocorre o processamento desse elemento, sendo calculado o Grau de Dano (D) e o Grau de Deterioração do Elemento (G_{de}). Concluído o preenchimento dos

dados para todos os elementos, o responsável pode pressionar o botão de cálculo para o processamento global da estrutura.

Para a etapa processamento, foi utilizada a metodologia GDE/UnB nas suas últimas versões e adaptações da literatura técnica, levando-se em consideração o Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais proposto por Verly (2015).

Em resumo, os cálculos foram feitos definindo-se primeiramente o grau de cada dano em cada elemento cadastrado. Em seguida, o grau de deterioração do elemento é calculado. A partir dos fatores de relevância das famílias, o cálculo prossegue para o grau de deterioração da família e, em seguida, para o grau de deterioração estrutural da obra analisada.

c) Etapa de Pós-Processamento: é feita a atualização dos valores de G_d e de G_d^* dentro do Gerenciador de Elementos. Além disso, a Interface Secundária fornece três tabelas.

A primeira tabela consiste em um resumo de cada elemento criado na estrutura, seus Fatores de Relevância (Fr), seus danos associados, os Fatores de Ponderação (Fp), os Fatores de Intensidade (Fi), bem como os Graus de Dano (D) de cada um deles. Além disso é apresentado o Grau de Deterioração de cada elemento (Gde).

A segunda tabela fornece uma lista de elementos relacionados a seus Graus de Deterioração (Gde). A partir das famílias em que cada elemento está inserido, a tabela fornece ainda o Grau de Deterioração da Família (Gdf) e o Fator de Relevância (Fr) a elas associado. Por fim, é exposto o Grau de Deterioração Estrutural (Gd) e o Nível de Deterioração equivalente da Estrutura, conforme proposto por Euqeres (2011).

A terceira tabela fornece informações semelhantes às fornecidas na segunda tabela, sendo, porém, consideradas apenas os valores de Gde maiores que 15.

Por fim, a partir dos dados obtidos no processamento, a Interface Secundária deixa preparados os dados detalhados para a importação pela Interface Principal. Com isso, padroniza-se o procedimento de coleta de dados para o sistema de análise das informações detalhadas.

3. RESULTADOS

Nos anos de 2020 e 2021, a plataforma desenvolvida foi utilizada por alunos da Universidade de Brasília para a inspeção de Obras de Arte Especiais do Distrito Federal. Os trabalhos de Saraiva (2020), Chaves (2020) e Pereira (2020), bem como inspeções feitas por outros alunos da universidade, consistiram na inspeção de diversas OAEs, sendo as mesmas feitas utilizando-se o SIGOA-DF. O trabalho desses alunos possibilitou o aprimoramento da ferramenta criada, tendo sido levadas em consideração sugestões de melhoria e as necessidades dos responsáveis pelas inspeções.

Foram coletados dados referentes a 168 OAEs, sendo criado um banco de informações detalhadas com aproximadamente 25000 linhas de dados. Esta seção apresenta uma análise básica dos dados preliminares coletados por meio das Fichas de Inspeção. Ressalta-se que todos os gráficos e tabelas apresentados nesse capítulo são produtos do processamento na aba “Análise Geral” da Interface Principal do SIGOA-DF.

3.1 Análise geral das OAEs inspecionadas

Do total de 356 viadutos e pontes levantados no Distrito Federal, 168 tiveram suas inspeções realizadas utilizando-se o SIGOA-DF nos anos de 2020 e 2021. Um panorama geral das inspeções é apresentado na Tabela 1, na qual observa-se que os valores de Grau de Deterioração (Gd) variaram em um intervalo de 0.91 (nível baixo) a 150.84 (nível crítico). O valor médio encontrado foi de 29.33, representando um nível de deterioração médio pelos critérios estabelecidos por Euqeres (2011).

Tabela 1 - Panorama geral das OAEs levantadas e inspeccionadas

OAEs no Banco De Dados	356
OAEs Inspeccionadas	168
% Inspeccionadas	47.2%
Gd Máximo	150.84
Gd Mínimo	0.91
Gd Médio	29.33

Ao analisar-se as 10 OAEs mais críticas, expostas na Tabela 2, são observados 9 viadutos e apenas uma ponte. Pode ainda ser constatado uma grande variação nos valores de G_d encontrados, sendo 150.84 o maior deles (crítico) e 82.98 o menor (sofrível). A estrutura mais crítica apresenta, portanto, um Grau de Deterioração aproximadamente 82% maior que a décima estrutura mais crítica do banco de dados.

Analisando-se as 10 OAEs menos críticas, também expostas na Tabela 2, são observados apenas viadutos. Neste caso, constata-se menor variação nos valores de G_d encontrados, sendo 4.10 o maior deles (baixo) e 0.91 o menor (baixo). A décima estrutura menos crítica apresenta, dessa forma, um Grau de Deterioração aproximadamente 351% maior que a estrutura menos crítica do banco de dados.

Tabela 2 - Relação das 10 OAEs mais críticas e das 10 OAEs menos críticas

OAEs mais críticas		OAEs menos críticas	
OAE	Gd	OAE	Gd
064 789 22 89 V	150.84	044 789 89 51 V	4.10
064 795 85 47 V	142.84	055 788 44 84 V	4.08
064 795 54 28 P	133.20	044 789 68 00 V	4.08
054 794 89 03 V	120.70	055 788 52 25 V	3.91
054 792 64 07 V	95.24	044 789 89 44 V	3.81
063 794 55 14 V	89.05	055 788 49 31 V	3.70
055 787 63 31 V	88.58	064 792 65 45 V	3.68
055 787 01 07 V	87.96	055 788 74 37 V	1.87
064 795 02 44 V	86.01	055 788 64 32 V	1.26
064 795 54 86 V	82.98	055 788 45 57 V	0.91

Levando em consideração todo o conjunto de dados, observa-se que a maior parte das OAEs do Distrito Federal inspeccionadas por meio do SIGOA-DF se encontram em baixo nível de deterioração (36.4%), seguido dos níveis médio (35.1%), alto (11.3%), sofrível (4.8%) e crítico (2.4%). Estes dados se encontram visualmente na Figura 7.

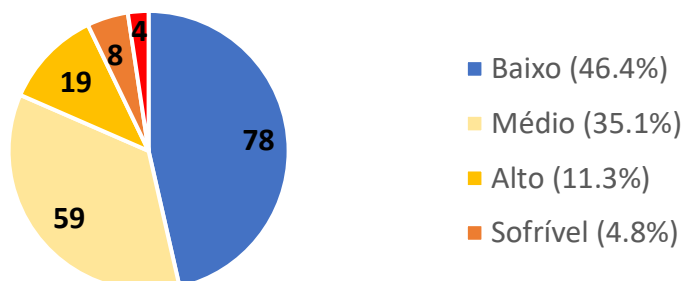


Figura 7- Níveis de Deterioração das OAEs analisadas

Os dados obtidos podem ser distribuídos em um gráfico de dispersão, apresentado na Figura 8. Observa-se que, de fato, a maior parte das estruturas analisadas se encontram nos níveis baixo e médio, diminuindo a quantidade de OAEs à medida que se aumenta o nível de deterioração, e consequentemente os G_d analisados.

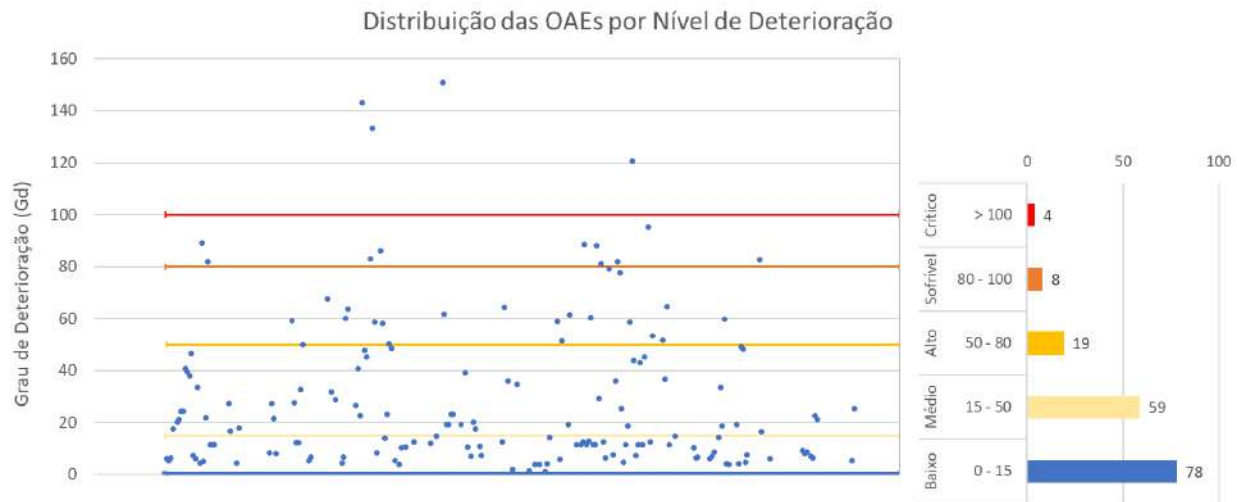


Figura 8 - Distribuição das OAEs por nível de Deterioração

A integração do SIGOA-DF a uma plataforma de georreferenciamento viabilizou a inserção dos pontos do banco de dados no mapa, sendo possível a caracterização dos pontos de acordo com o G_d calculado. Parte do mapa gerado se encontra na Figura 9, onde observa-se grande concentração de OAEs com elevada deterioração na região central da cidade (Plano Piloto).

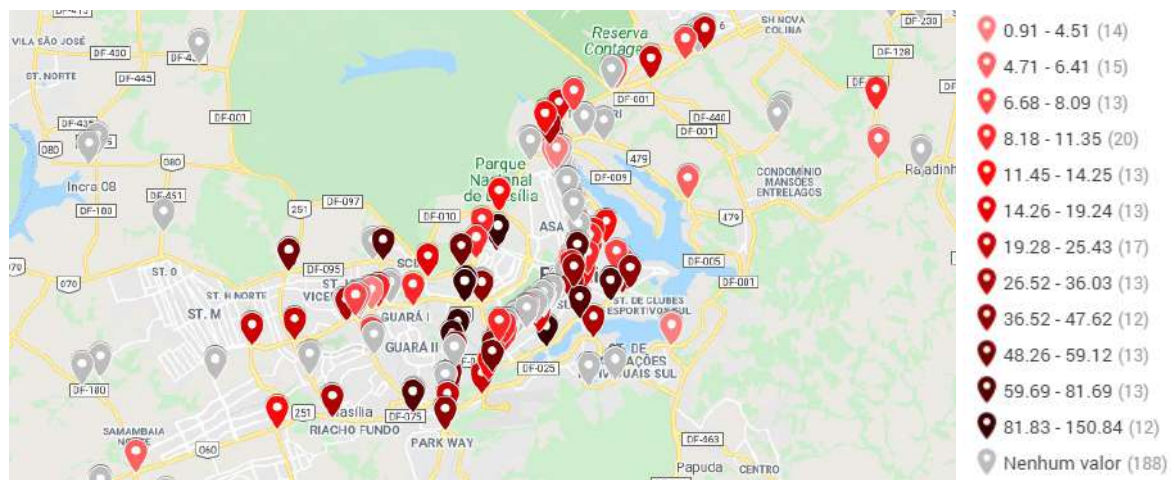


Figura 9 - Classificação das OAEs exportadas em plataforma de georreferenciamento

3.2 Análise geral das OAEs inspecionadas

Os dados coletados pela metodologia GDE/UnB utilizada na inspeção pela Ficha de Inspeção do SIGOA-DF permitem a visualização um panorama geral do grau de deterioração tanto dos elementos (G_{de}) quanto das famílias que caracterizam cada um deles (G_{df}). Para cada família, obtém-se de parâmetros como o Grau de Deterioração Médio da Família, o Grau de Deterioração

Médio dos Elementos, bem como a quantidade de elementos que a compõem. A Tabela 3 mostra os parâmetros calculados para cada família inspecionada utilizando a Ficha de Inspeção.

Tabela 3 - Análise dos parâmetros das Famílias dos dados analisados

Família	Gdf Médio	Gde Médio dos Elementos	Número Elementos Inspeccionados
Cortina	22.10	15.37	88
Cortina Central	11.61	14.55	11
Guarda Rodas	23.68	16.37	326
Longarina	16.72	10.48	85
Pilar	25.25	9.61	966
Tabuleiro	36.51	18.49	555
Transversina	18.20	8.04	76

A partir da tabela, pode-se observar que a maior deterioração ocorre nos elementos dos tipos Tabuleiro, Pilar e Guarda-Rodas, em ordem decrescente. Averigua-se ainda que esses elementos, além de mais expostos ao fluxo de veículos no geral, foram os elementos mais inspeccionados.

3.3 Análise geral dos danos

A caracterização dos danos, bem como a sua associação às tipologias ou famílias de elementos é de grande importância para um estudo mais aprofundado da deterioração das estruturas. Uma vez obtido o banco de dados com as informações detalhadas a respeito da recorrência de danos em cada elemento inspecionado, foi possível a sintetização dessas por meio da Ferramenta de Análise Geral presente no SIGOA-DF. A Tabela 4 apresenta os tipos de danos levados em consideração na metodologia GDE/UnB, assim como o número de ocorrências de cada um deles em elementos inspeccionados e os Fatores de Intensidades (F_i) Médios calculados.

Tabela 4 - Análise geral dos danos nas OAEs avaliadas

Dano	Ocorrências	%	F_i Médio
Abrasão do concreto	231	6.0%	1.48
Cobrimento deficiente	282	7.3%	1.80
Corrosão de armaduras	426	11.0%	2.06
Desagregação	237	6.1%	1.92
Deslocamento por empuxo	4	0.1%	2.50
Desplacamento	336	8.7%	2.23
Desvio de geometria	11	0.3%	1.73
Eflorescência	506	13.1%	1.89
Falhas de concretagem	368	9.5%	1.15
Flechas	2	0.1%	2.00
Infiltração de água	510	13.2%	1.51
Manchas	950	24.6%	1.83
Sinais de Esmagamento	0	0.0%	0.00

Por fim, o processamento dos dados realizado pelo SIGOA-DF possibilitou também a obtenção da recorrência dos danos específicos para cada família. Dessa maneira, pode ser feita uma análise das manifestações patológicas mais comuns em cada tipo de elemento, bem como de suas intensidades.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de uma plataforma de gestão e inspeção de Obras de Arte Especiais baseada na metodologia do Grau de Deterioração de Estruturas desenvolvida pela Universidade de Brasília (GDE/UnB). Apesar de a metodologia ter sido inicialmente desenvolvida para o estudo do grau de deterioração de edifícios em geral, as adaptações feitas na literatura trouxeram novas formulações e modificações que permitiram o aprimoramento da avaliação, possibilitando a sua aplicação também a Obras de Arte Especiais.

A revisão bibliográfica possibilitou um panorama geral das atuais soluções utilizadas no Brasil e no mundo no que tange os sistemas de gerenciamento e procedimentos de inspeção de edificações, viadutos e pontes. Ademais, recentes acidentes na cidade de Brasília, como a queda de um viaduto na zona central no ano de 2018) alertaram para a importância do gerenciamento, manutenção e fiscalização do estado de conservação de edificações para garantir a segurança e usabilidade de seus usuários.

O desenvolvimento do SIGOA-DF contribuiu para uma maior facilidade e padronização na coleta de dados referentes a diversas pontes e viadutos do Distrito Federal por estudantes da Universidade de Brasília, cujos trabalhos se basearam na utilização da metodologia GDE/UnB, aliada à ferramenta de inspeção. O desenvolvimento e aprimoramento da plataforma em paralelo à coleta e subsequente processamento dos dados garantiu a criação de uma base de dados sólida para a testagem e ajuste da plataforma.

A partir dos dados coletados por Saraiva (2020), Chaves (2020) e Pereira (2020), além de outros estudantes do curso de engenharia civil da Universidade de Brasília, foi viabilizado o processamento preliminar de 168 OAEs, além de uma análise básica. Essa análise retratou importantes informações, como as Obras de Arte Especiais em estado mais crítico no Distrito Federal, bem como as patologias mais recorrentes encontradas e o grau de deterioração de elementos, famílias e estruturas globais. A criação do banco de dados possibilitou também a sintetização de informações valiosas, das quais muitas outras análises podem ser feitas.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília, essencial no processo de formação e aprendizado do conteúdo e habilidades necessárias para a elaboração deste e outros trabalhos.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que permitiram a elaboração deste e outros trabalhos

À comissão organizadora do CONPAT 2021, pela oportunidade da submissão deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

Boldo, P. (2002), Análise Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Publicação E.DM-001A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 295 p.

Castro, E. K. (1994), Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado, Publicação Nº: E.DM-004A/94, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155 p.

Chaves, L. (2020) Avaliação de Obras de Arte Especiais da cidade de Brasília pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília. UnB

- Elbehairy, H. (2007), *Bridge management system with Integrated Life Cycle Cost Optimization*. 2007. 253-259 f. University of Waterloo
- Euqueres, P. (2011); *Metodologia de Inspeção em Estruturas de Pontes de Concreto Armado*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 168 p.
- Fonseca, R. P. (2007); *A Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Propostas de Manutenção*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 006 A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 213p.
- Klein, D., GASTAL, F., CAMPANOLO, J.L & SILVA FILHO, L. C. (1991); “Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte”, XXV Jornada Sul Americana de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, pp.185–196, novembro.
- Lopes, B. A. R. (1998); “Sistema de Manutenção Predial para Grades Estoques de Edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”. Dissertação de Mestrado, Publicado Nº: E.DM-011A/98, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 308p.
- Mitre, M. P. (2005); *Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto* / M. P. Mitre – São Paulo, 148p.
- Moscoso, Y. F. M. (2017). *Modelos de Degradação para Aplicação em Sistemas de Obras de Arte Especiais – OAEs*. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-3A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 185p.
- Pereira, M. S. (2020); *Avaliação de Obras de Arte Especiais da cidade de Brasília (lote 1) pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília*. UnB
- Saraiva, C. (2020); *Avaliação de Obras de Arte Especiais da cidade de Brasília pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília*. UnB
- Verly, R. C. (2015); *Avaliação de Metodologias de Inspeção como Instrumento de Priorização de Intervenções em Obras de Arte Especiais*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-015A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 178p.

MATRIZ DE CRITICIDADE EM ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO PRÉ-FABRICADOS

H. D. ALVES^{1*}, C. E. L. MELO²

*Autor de Contato: hisadutra@gmail.com

¹ Grupo de pesquisa Sustentabilidade, Desempenho e Reabilitações de Edificações, Laboratório de Tecnologia em Estruturas e Construção Civil na Arquitetura (LATEC), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

² Grupo de pesquisa Sustentabilidade, Desempenho e Reabilitações de Edificações, Laboratório de Tecnologia em Estruturas e Construção Civil na Arquitetura (LATEC), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma aplicação de metodologia de inspeção para avaliações da degradação de elementos de concreto armado pré-fabricados, tendo como referência o FMECA – Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade. Os indicadores são: ninhos de concretagem; fissuras/trincas; bolor/manchas de umidade; eflorescências e corrosão das armaduras. O método foi aplicado em 6 pilares de concreto armado pré-fabricados do Instituto Central de Ciências (ICC) da Universidade de Brasília. Foram identificados os graus de criticidade e modos de falha dos danos com base nas severidades e frequências. A análise da matriz de criticidade possibilita a hierarquização dos riscos, auxiliando planejamentos de ações de manutenção através da representação gráfica e numérica da prioridade das falhas identificadas.

Palavras-chave: Métodos de avaliação; FMECA; Manifestações patológicas; Concreto armado; Pré-fabricados.

Abstract

This article presents an application of inspection methodology for evaluating the degradation of prefabricated reinforced concrete elements, having as reference the FMECA - Analysis of Failure Modes, Effects and Criticality. The indicators are: concreting nests; cracks / cracks; mold / moisture stains; reinforcement efflorescence and corrosion. The method was applied to 6 prefabricated reinforced concrete pillars from the Central Institute of Sciences (ICC) of the University of Brasilia. The degrees of criticality and damage failure modes were identified based on severity and frequency. The analysis of the criticality matrix makes it possible to prioritize risks, helping to plan maintenance actions through the graphical and numerical representation of the priority of the identified failures.

Keywords: Assessment methods; FMECA; Pathological manifestations; Reinforced concrete; Precast.

Resumen

El presente trabajo presenta una aplicación de metodología de inspección para evaluar la degradación de elementos prefabricados de hormigón armado, teniendo como referencia el FMECA - Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad. Los indicadores son: hormigonado de nidos; grietas / grietas; manchas de moho / humedad; refuerzo de eflorescencia y corrosión. El método se aplicó a 6 pilares prefabricados de hormigón armado del Instituto Central de Ciencias (ICC) de la Universidad de Brasilia. Los grados de criticidad y los modos de falla del daño se identificaron en función de la gravedad y la frecuencia. El análisis de la matriz de criticidad permite priorizar riesgos, ayudando a planificar las acciones de mantenimiento a través de la representación gráfica y numérica de la prioridad de las fallas identificadas.

Palabras llave: Métodos de evaluación; FMECA; Manifestaciones patológicas; Concreto armado; Prefabricado.

1. INTRODUÇÃO

Acidentes no âmbito da construção civil como o desabamento de três edifícios no centro de Marselha, no sudeste da França, (Figura 1 A), o desabamento de parte da rodovia DF – 002, Eixo Rodoviário de Brasília (Figura 1 B) e o desabamento da laje do subsolo de uma edificação residencial na região da Asa Norte, Brasília (Figura 1 C) ocasionaram desastres irreversíveis como mortes (desabamento em Marselha) além de terem causado grandes prejuízos econômicos.



Figura 1 – Desabamentos na construção civil.

Fonte: a) <<https://www.noticiasaoiminuto.com.br/mundo/684828/edificios-desabam-no-centro-de-marselha-na-franca>>, acessado em 12 de fevereiro de 2021;

- b) <<https://www.metropoles.com/distrito-federal/asfalto-cede-no-eixo-monumental-no-viaduto-da-galeria-dos-estados?amp> >, acessado em 14 de fevereiro de 2021;
- c) <<https://cbn.globoradio.globo.com/media/audio/157833/laje-de-garagem-de-predio-desaba-em-brasilia-e-des.htm> >, acessado em 14 de fevereiro de 2021.

Essas ocorrências de desabamentos alertam para as falhas na conservação, condições de uso e falhas na manutenção as quais obras civis estão submetidas. Agentes fiscalizadores da construção civil, como o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) e Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU), estão utilizando normas e guias para realizações de inspeções técnicas em construções, sejam públicas sejam privadas. Têm-se o propósito de certificar as condições de segurança, estabilidade e conservação das construções (Vervloet, 2018).

O conhecimento sistematizado de metodologias de inspeção ainda é precário, inexistindo um conhecimento sólido das práticas de avaliação e muito menos conhecidos seus resultados por ausência de divulgação ampla (Blumenschein et al., 2015).

É esperado que através de instrumentos de monitoramento e avaliação os quais possam ser disseminados e replicados em nível nacional, existirá assim o fortalecimento das práticas de avaliação de resultados confiáveis (Blumenschein et al., 2015).

O método FMECA - Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade é um método de inspeção caracterizado como sendo um procedimento sistematizado para análise com foco na identificação de modos de falhas potenciais, suas causas e efeitos (danos) (Military Standard, 1980; Lima, 2019). Assim sendo, a partir da detecção das falhas presentes, são identificadas as causas (agentes patológicos) e assim os efeitos destes na estrutura (consequências ou outros danos ao elemento) (Silva et al., 2006).

A partir da obtenção número de prioridade de risco (NPR) é obtido como produto a matriz de criticidade, a qual caracteriza-se como ferramenta visual que possibilita de forma sucinta e clara comparações entre avaliações de diferentes elementos inspecionados (Military Standard, 1980; Zanoni e Buson, 2015; Lima, 2019).

Nas pesquisas sobre a avaliação da qualidade da habitação de interesse social, a adaptação e aplicação do método de inspeção FMECA – Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade, tendo sido utilizada para o programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV não se restringe somente ao programa e sim pode ser aplicada em outras circunstâncias tendo como principal característica o uso de matrizes de criticidade para avaliação de degradações de elementos pela umidade (Blumenschein et al., 2015; Zanoni e Buson, 2015).

Seguindo a prerrogativa de que no Brasil ainda não existe uma normativa técnica de referência unificada e nacional sobre inspeções técnicas, este artigo tem como objetivo aplicar o método FMECA para avaliar o estado de degradação de elementos de concreto armado pré-fabricados.

2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O método FMECA – Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade é uma extensão do método FMEA – Análise dos Modos de Falha e Efeito. Avalia-se o grau de criticidade dos modos de falha e sua respectiva relação com o grau de confiabilidade na edificação.

O modo de falha é a maneira como o defeito se apresenta e os modos de falha são representados como as manifestações patológicas vistoriadas *in loco* (ABNT, 2013; Zanoni e Buson, 2015).

As consequências de algum vício construtivo ou falha técnica na produção dos elementos pré-fabricados são percebidos pelos usuários da edificação como sendo os danos presentes (manifestação dos modos de falhas) (Zanoni e Buson, 2015; ABNT, 2018).

O FMECA considera além dos modos das falhas e seus danos, como também a frequência de ocorrência e o nível da gravidade ou o grau de risco (Sakurada, 2001; Machado, 2013).

Os índices de severidade e ocorrência variam entre 1 a 5 e tem como classificação a gravidade do dano (severidade) além da quantificação de cada dano (ocorrência).

O Número de Prioridade de Risco (NPR) define qual o grau de criticidade da degradação do elemento pré-fabricado encontra-se durante a vistoria. O NPR é obtido através da multiplicação entre o Índice de Severidade pelo Índice de Ocorrência. O Número de Prioridade de Risco é determinado pela equação (1):

$$\text{NPR} = \text{Índice de Severidade} \times \text{Índice de Ocorrência} \quad (1)$$

O cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) possibilita a construção da Matriz de Criticidade de cada dano, a qual avalia-se cada exemplar da amostra através da severidade e frequência da falha (Military Standard, 1980; Sakurada, 2001; Silva et al., 2006; Blumenschein et al., 2015; Zaroni e Buson, 2015).

A partir dos exemplares da amostra torna-se possível identificar o grau de risco dos elementos e a necessidade de tomadas de ações para suas reabilitações.

Com o objetivo de se identificar os danos causados pela degradação estrutural, durante a realização das vistorias técnicas procurou-se observar as manifestações patológicas listadas:

- Ninhos de concretagem;
- Fissuras/Trincas;
- Bolor/Manchas de umidade;
- Eflorescências;
- Corrosão das armaduras.

A Tabela 1 e Tabela 2 apresentam as classificações dos índices e seus critérios a serem utilizados para avaliar a degradação dos elementos estudados, os quais devem se encontrar na fase de uso, operação e manutenção da edificação. Este critério de classificação baseia-se na recomendação da ABNT NBR15575-1:2013, a qual recomenda a realização de avaliações de campo após o período mínimo de dois anos da construção ou instalação (ABNT, 2013).

Tabela 1– Classificação do Índice de Severidade (S)

Categoria de Risco	Índice de Severidade (S)	Critério de Classificação do Índice de Severidade
Desprezível	1	Riscos que não provocam nenhum dano, prejuízo ou impactam na segurança. Geralmente são reversíveis.
Mínimo	2	Riscos os quais podem provocar algum tipo de prejuízo ao usuário visualmente.
Médio (moderado)	3	Riscos que interferem diretamente na perda parcial de desempenho do sistema. Podem evoluir.
Crítico	4	Riscos de provocarem danos contra a segurança. Provocam perda de desempenho e funcionalidade do sistema.
Elevada Criticidade	5	Riscos que comprometem mais de um elemento, sendo necessária a intervenção imediata.

Tabela 2 – Classificação do Índice de Ocorrência (O)

Frequência da Falha	Índice de Ocorrência (O)	Critério de Classificação do Índice de Ocorrência	Intervalos de áreas
Muito Baixa	1	Ocorrência nula ou muito baixa, a qual gera baixo impacto em manutenções.	$0\% \leq O < 0,5\%$
Baixa	2	Ocorrência baixa a qual demanda acompanhamento somente em ações pontuais.	$0,5\% \leq O < 1\%$
Moderada	3	Ocorrência moderada a qual demanda um acompanhamento planejado em manutenções.	$1\% \leq O < 3,5\%$
Alta	4	Ocorrência alta a qual demanda intervenção o mais brevemente possível.	$3,5\% \leq O < 5\%$
Muito Alta	5	Ocorrência muito alta a qual demanda ações de manutenção corretivas imediatas.	$O > 5\%$

A fim de se experienciar o procedimento metodológico abordado, foram selecionados 6 pilares de concreto armado pré-fabricados do Instituto Central de Ciências (ICC) Norte da Universidade de Brasília. As inspeções *in locu* serviram de coletas de dados.

Em relação ao recorte de estudo, o ICC da Universidade de Brasília teve sua construção finalizada no ano de 1975. Assim sendo, a edificação em estudo encontra-se na fase de pós-ocupação. A Figura 2 mostra a planta baixa do ICC, com destaque em vermelho para o ICC Norte.

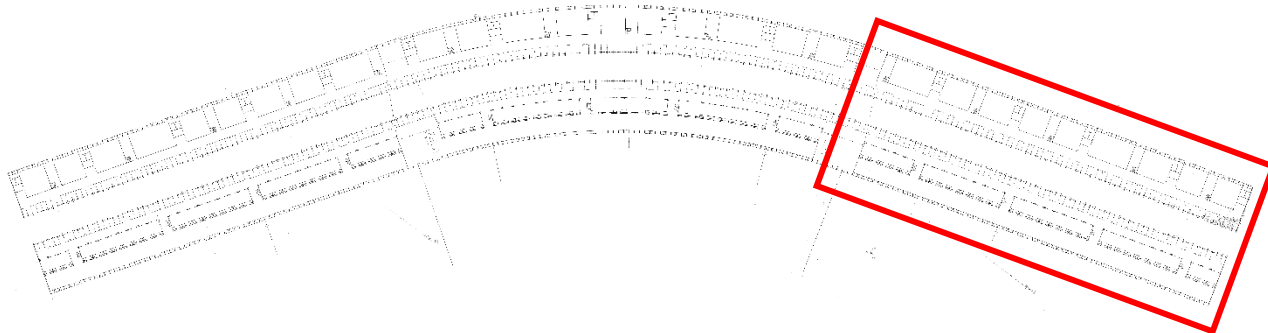


Figura 2 – Planta baixa do ICC, com destaque em vermelho da localização do ICC Norte.

Fonte: <https://ceplan.unb.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=3&Itemid=684&limitstart=0>, acessado em 01 de abril de 2021.

Os pilares selecionados do ICC foram fabricados em série e posteriormente inseridos no sistema estrutural existente: sapatas as quais possuem cavidades pré-estabelecidas onde os pilares foram encaixados e ficaram apoiados. Cada pilar é retangular e possui dimensões de projeto de 0,20 m x 1,50 m cada com altura de 10 m (Figura 3) (Fonseca, 2007).



Figura 3 - Cavidades nas sapatas com o intuito de receberem os pilares pré-moldados.

Fonte: Fonseca (2007)

Determinou-se a seleção dos 6 pilares da fachada externa leste do bloco A do ICC Norte, devido à maior exposição dos elementos à agentes de degradação. Ademais, o critério de seleção de cada pilar, ou seja, o parâmetro de comparação entre eles, baseou-se em suas diferentes condições de exposição, além de terem sido verificados como elementos que estavam mais degradados visualmente.

Assim, na linha de pilares da fachada externa leste do Bloco A do ICC Norte, foram selecionados 3 pilares sem vegetação próxima e 3 pilares com vegetação próxima.

Para melhor análise e identificação das posições de cada elemento, cada pilar foi enumerado de tal forma que sua nomenclatura expusesse a numeração referente à ordem de cada um a partir da localização do início da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU). Ou seja, a nomenclatura P1, por exemplo, significa que o pilar analisado é o primeiro pilar da fachada externa do bloco A do ICC Norte.

A Figura 4 mostra a planta baixa do recorte de estudo com as nomenclaturas adotadas dos pilares e suas localizações.

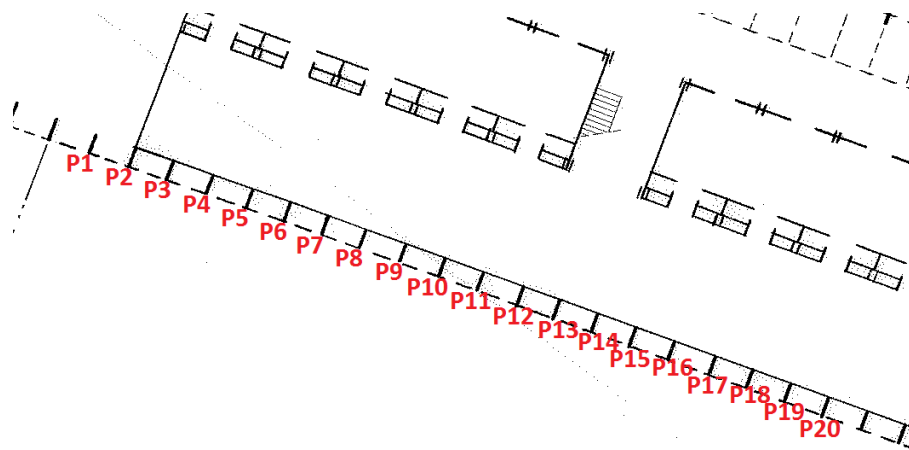


Figura 4 – Recorte e numeração dos pilares da fachada externa – Ala leste do Bloco A.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a finalidade da aplicação dos procedimentos metodológicos, foram selecionados elementos de concreto armado construídos a partir da mesma linha de produção construtiva: pré-fabricados (pré-moldados).

Por meio das vistorias, verificou-se que todo o sistema estrutural da edificação não apresenta sistema de vedação, onde os pilares como outros elementos (vigas, lajes, mezanino) estão expostos diretamente ao ambiente - sistema de concreto armado aparente.

Através das inspeções *in locu* dos 6 pilares, foram identificadas as manifestações patológicas existentes (danos), os sintomas (modo de falha potencial), as causas prováveis dos danos e seus possíveis efeitos (efeito potencial da falha).

Foram atribuídos os Índices de Severidade e Ocorrência para o cálculo do Número de Prioridade de Risco. A partir dos dados obtidos, foi elaborada uma Matriz de Criticidade além da possibilidade de se determinar o grau de criticidade das amostras analisadas. As Figuras 5 a 11 mostram a fachada de referência e os pilares vistoriados além das principais manifestações patológicas observadas nas vistorias.



Figura 5 – Linha de pilares da fachada externa sem vegetação próxima(esquerda) e com vegetação próxima (direita)– Ala leste do Bloco A.



Figura 6 - Pilar 6: ninho de concretagem e corrosão das armaduras.



Figura 7- Pilar 8: ninho de concretagem.



Figura 8 - Pilar 10: ninho de concretagem e corrosão das armaduras.



Figura 9 - Pilar 13: ninhos de concretagem e corrosão das armaduras.



Figura 10 - Pilar 15: ninhos de concretagem, bolor/manchas de umidade e corrosão das armaduras.



Figura 11 - Pilar 17: ninhos de concretagem, bolor/manchas de umidade e corrosão das armaduras.

Em relação a amostra composta por 6 pilares de concreto armado pré-fabricados, 100% dos pilares apresentam ninhos de concretagem, 83% apresentam sinais de corrosão em suas armaduras e 33% apresentam bolor/manchas de infiltração.

A Tabela 3 apresenta os danos vistoriados em cada pilar e a Tabela 4 apresenta a porcentagem dos danos sobre a amostra total dos pilares analisados.

Tabela 3 – Danos vistoriados nos pilares.

Pilar	Danos vistoriados
P6	Ninho de concretagem e corrosão das armaduras.
P8	Ninho de concretagem.
P10	Ninho de concretagem e corrosão das armaduras.
P13	Ninho de concretagem e corrosão das armaduras.
P15	Ninho de concretagem, corrosão das armaduras e bolor/manchas de umidade.
P17	Ninho de concretagem, corrosão das armaduras e bolor/manchas de umidade.

Tabela 4 – Porcentagem dos danos vistoriados na amostra.

Danos	Porcentagem sobre a amostra
Ninho de concretagem	100%
Corrosão das armaduras	83%
Bolor/Manchas de umidade	33%

Ademais, foi verificado também que os sinais de corrosão em armaduras estão diretamente associados ou com a presença de ninhos de concretagem ou com o deslocamento do concreto. Nos pilares 6, 10, 13 e 17 (Figuras 6, 8, 9 e 11) foi possível observar que a reação expansiva do processo de corrosão já acarretou perda de seção das armaduras.

Provavelmente, as principais causas que justificam as condições insatisfatórias vistoriadas são de que os ninhos de concretagem, ocasionados por um lançamento, adensamento e dosagem inadequados, formam falhas na estrutura, existindo assim vazios e porosidades na pasta de cimento onde tornam-se pontos de entrada para agentes de degradação.

As manchas de umidade/bolor, causados por elevada umidade na estrutura e presença de organismos vivos, podem acarretar uma biodegradação pela vegetação que cresce através de pequenas fissuras além de poder acarretar manifestações patológicas mais graves como a corrosão de armaduras.

E em relação à corrosão de armaduras, processo eletroquímico o qual ocasiona a expansão das armaduras, a corrosão pode acarretar fissurações, deslocamento da camada superficial do concreto, redução da seção da barra, perda de aderência entre a armadura e o concreto, além de em casos mais elevados, até mesmo o colapso da estrutura.

Realizada a análise, a Figura 12 apresenta os valores dos índices de cada pilar selecionado. A Figura 13 apresenta a matriz de criticidade dos pilares. A Figura 14 apresenta o gráfico da proporção das classificações de riscos sobre a totalidade da amostra.

PILAR	S	O	NPR
P6	4	3	12
P8	3	2	6
P10	4	3	12
P13	4	3	12
P15	4	2	8
P17	4	4	16

Critério de classificação de risco (NPR)

Grau de risco mínimo ≤ 3 ■

$3 <$ Grau de risco médio ≤ 12 ■

$12 <$ Grau de risco crítico ≤ 25 ■

Figura 12 – Valores dos índices dos pilares e critério de classificação de risco.

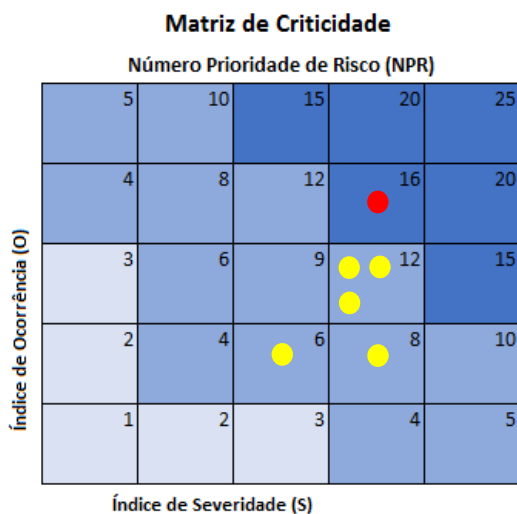


Figura 13 – Matriz de criticidade.



Figura 14 – Proporção dos resultados dos graus de criticidade da amostra total.

Em relação à quantificação dos Números de Prioridade de Risco (Figura 12), teve-se como resultado 5 pilares com grau de criticidade médio e 1 pilar com grau de criticidade crítico. Os pilares sem vegetação próxima (pilares 6, 8 e 10) obtiveram somente grau de criticidade médio, já os pilares próximos à vegetação (pilares 13, 15 e 17) obtiveram tanto grau de criticidade médio como crítico. Esse maior grau de criticidade dos pilares próximos à vegetação possivelmente está relacionado às condições de exposição diretamente interligadas à maior presença de umidade. Analisando a matriz de criticidade (Figura 13) gerada sobre a amostra, torna-se possível a avaliação de que todos os pilares contêm certo nível de deterioração estrutural. Ademais, a tendência é que esses danos evoluam com o passar do tempo, elevando assim o grau de deterioração dos elementos. No tocante da classificação dos danos de acordo com o grau de criticidade (produto da matriz de criticidade), avaliando-se os índices de ocorrência e de severidade, a amostra analisada apresenta 17% de grau de risco crítico e 83% de grau de risco médio (Figura 14).

4. CONCLUSÕES

Os resultados da análise da degradação dos pilares aqui expostos não representam uma análise da totalidade do sistema estrutural da edificação do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília. A amostra do presente trabalho fora constituída de 6 pilares de concreto armado pré-fabricados, os quais foram escolhidos a partir de parâmetros de condições de exposição (vegetação) em uma edificação de sistema estrutural de concreto armado. A análise teve como objetivo realizar uma aplicação do método FMECA em elementos de concreto armado pré-fabricados.

A classificação de cada dano através dos índices de severidade e ocorrência obteve êxito na aplicação da amostra, pois os produtos gerados, tanto a matriz de criticidade como os respectivos graus de criticidade podem servir como base de dados e referências para se guiar tomadas de ações necessárias a fim de se preservar o estado de conservação dos elementos estruturais analisados.

Os números de prioridade de risco quanto a matriz de criticidade proporciona uma análise qualitativa e quantitativa dos danos nos elementos. Assim sendo, para elementos de concreto armado pré-fabricados o procedimento metodológico FMECA possibilita a hierarquização dos riscos além de permitir uma melhor visualização da evolução dos efeitos das falhas e danos com os anos de uso da edificação.

A matriz de criticidade torna-se então uma ferramenta viável para avaliação do estado de conservação e planejamentos para ações de manutenções e intervenções. No tocante a elementos

de concreto armado pré-fabricados, esse procedimento metodológico pode ser aplicado a outros componentes estruturais (lajes e vigas) ou não estruturais (escadas e rampas).

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte do grupo de pesquisa Sustentabilidade, Desempenho e Reabilitações de Edificações e ao Laboratório de Tecnologia em Estruturas e Construção Civil na Arquitetura (LATEC), dentro da linha de pesquisa Estruturas e Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). “*PROJETO 02:140.02-001*”, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). “*NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais*”. Rio de Janeiro.
- Blumenschein, R. N. et al. (2015). “*Habitação de interesse social – projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva*”. 1ª edição. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília.
- Fonseca, R. P. (2007). “*A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção*”. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB. Brasília.
- Lima, B. B. (2019). “*Sistema de Revestimento em Mármore nas Fachadas do Congresso Nacional – Cenários do Estado de Conservação*”. Dissertação (Mestrado). Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UnB. Brasília.
- Machado, M. P. N. M. (2013). “*Manutenção Preventiva de um Edifício Hospitalar*”. Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa.
- Military Standard. (1980). MIL-1629. “*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*”. US Department Defense. Washington, DC.
- Sakurada, E. Y. (2001). “*As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos*”. Dissertação (Mestrado). Engenharia Mecânica da UFSC. Florianópolis.
- Silva, S. R. C.; Fonseca, M.; Brito, J. (2006). “*Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de edifícios*”. LNEC.
- Vervloet, S. (2018). “*Análise de indicadores para execução de inspeção predial regular obrigatória e diretrizes para o corpo técnico*”. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória.
- Zanoni, V.A.G; Buson, M. (2015). “*Matriz de criticidade na avaliação da qualidade construtiva do Programa Minha Casa Minha Vida*”. In: XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção, XV Congresso de Controlo da Qualidade na Construção, Congresso Luso-Africano da Construção, 2015, Lisboa. Anais Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.



Autoconstrução: estudos de caso sobre os riscos e suas consequências para o autoconstrutor

L.S. Silva^{1*}, C.R. Medeiros², K.R. Batista³
Autor de Contato: lucianasouza970@gmail.com;

¹ Graduada em Engenharia Civil – Centro Universitário UNIESP, Cabedelo, Brasil.

² Graduado em Engenharia Civil – Centro Universitário UNIESP, Cabedelo, Brasil.

³ Professora do Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário UNIESP, Cabedelo, Brasil.

RESUMO

A prática da autoconstrução no Brasil é muito comum, principalmente nas áreas de população com renda baixa. A falta de conhecimento técnico para a construção e elaboração de projetos podem gerar um resultado inapropriado, além das perdas materiais e financeiras que podem ceifar vidas. Este trabalho tem por objetivo apresentar os fatores que condicionam este tipo construção, seus riscos e consequências, as principais dificuldades enfrentadas pelo autoconstrutor no decorrer da obra até sua finalização bem como quão valioso é a contratação do profissional técnico habilitado. Por meio de pesquisa exploratória e levantamento bibliográfico, quatro estudos de caso trouxeram resultados que demonstram que a autoconstrução é prática entre os entrevistados e que estes refletem uma tradição cultural enraizada, os quais indicam que ao buscar apoio técnico estão aumentando os custos da obra.

Palavras-chave: Autoconstrução. Profissional habilitado. Construção civil. Riscos. Consequências

Self-construction: case studies on risks and their consequences for the self-builder

ABSTRACT

The practice of self-construction in Brazil is very common, especially in areas with low-income population. The lack of technical knowledge for the construction and elaboration of projects can generate an inappropriate result, in addition to material and financial losses that can claim lives. This work aims to present the factors that condition this type of construction, its risks and consequences, the main difficulties faced by the self-builder during the work until its completion, as well as how valuable it is to hire a qualified technical professional. Through exploratory research and bibliographical survey, four case studies brought results that demonstrate that self-construction is practical among the interviewees and that they reflect a deep-rooted cultural tradition, which indicate that when seeking technical support, the costs of the work are increasing.

Keywords: Self-construction. Qualified professional. Construction. Scratches. Consequences.

Autoconstrucción: estudios de casos sobre riesgos y sus consecuencias para el autoconstructor

RESUMEN

La práctica de la autoconstrucción en Brasil es muy común, especialmente en áreas con población de bajos ingresos. La falta de conocimientos técnicos para la construcción y elaboración de proyectos puede generar un resultado inadecuado, además de pérdidas materiales y económicas que pueden cobrar vidas. Este trabajo tiene como objetivo presentar los factores que condicionan este tipo de construcciones, sus riesgos y consecuencias, las principales dificultades a las que se enfrenta el autoconstructor durante la obra hasta su finalización, así como lo valioso que es contratar a un profesional técnico cualificado. A través de una investigación exploratoria y un relevamiento bibliográfico, cuatro estudios de caso arrojaron resultados que demuestran que la autoconstrucción es práctica entre los entrevistados y que reflejan una arraigada tradición cultural, lo que indica que al buscar apoyo técnico, los costos de la obra están aumentando.

Palabras clave: Autoconstrucción. Profesional calificado. Construcción civil. Arañazos. Consecuencias.

1. INTRODUÇÃO

A autoconstrução é uma realidade no Brasil principalmente nas pequenas cidades e periferias. Uma pesquisa realizada pelo Conselho de Arquitetura e Urbanismo aponta que uma parcela de 85% da população construiu ou reformou sem auxílio de um profissional tecnicamente habilitado, seja ele

engenheiro ou arquiteto e que “de modo geral, a contratação de profissionais especializados está ligada à renda e à escolaridade” (CAU/BR – DATAFOLHA, 2015). De acordo com Bonduki (1998), a autoconstrução é uma modalidade de construção onde o morador atua como o principal agente na provisão de sua moradia, indo desde a escolha do terreno até a construção da habitação. Muitas são as denominações atribuídas a essa forma de construir: casas domingueiras, casas de periferia, casas autoconstruídas, casas de mutirão. Devido à falta de critérios no gerenciamento e planejamento, as construções não têm cuidados prévios essenciais e principalmente nota-se a inexistência de apoio técnico por profissionais habilitados, gerando assim futuras ampliações e retrabalhos constantes. A baixa qualidade dessas construções também é uma forte característica (KOWALTOWSKI e PINA, 1995). Sem dúvida os maiores adeptos a esse modo de construção é a população de baixa renda tendo como fator principal a falta de recursos financeiros e em muitos casos à falta de informação. A autoconstrução é tida como uma solução para suprir a necessidade de habitação dessa população pois, os próprios moradores participam de forma direta na construção de suas casas (MARICATO, 1979). O estudo no contexto dessa realidade apresenta uma grande importância aos adeptos da construção empírica que são baseados pelos conhecimentos “copiados” e apoiados nas experiências obtidas ao longo dos anos. A Falta de conhecimento acerca das burocracias necessárias para regularização das construções é bem comum em autoconstruções, os proprietários não buscam informações sobre as documentações necessárias para regularizar sua construção e estarem amparados para que sua obra não sofra embargos e/ou multas (MARICATO, 1979). Mas o que seria uma construção irregular? Segundo Werna (2001), trata-se de algo que está fora da norma, implicando no desrespeito aos princípios mais básicos da construção civil, como por exemplo a não observância ao uso e ocupação do solo, desrespeito ao recuo e até mesmo a invasão de terreno público ou terreno vizinho. A deficiência dos processos construtivos é real, e gera manifestações patológicas que surgirão em algum momento, em curto ou longo prazo que comprometem a qualidade da edificação e algumas delas podem trazer consequências negativa à saúde dos usuários (BRAGA, 2001). A autoconstrução está sujeita à diversos riscos desde à falta de segurança da edificação em si e a exposição dos trabalhadores durante a execução da obra. A norma de desempenho ABNT NBR 15.575/2013 (Edificações habitacionais — Desempenho), prevê requisitos mínimos que promovem segurança, durabilidade e qualidade às construções; para que as edificações ofereçam segurança no seu uso e operação. Todo o processo construtivo interfere de forma direta no desempenho da habitação, os autoconstrutores por não possuírem conhecimento técnico acabam não prevendo alguns erros que podem pôr em risco a segurança da edificação a curto ou longo prazo. A exposição dos trabalhadores a acidentes durante a execução da obra é algo corriqueiro, visto que os autoconstrutores não seguem as orientações das normas de segurança submetendo esses trabalhadores a eventuais acidentes de trabalho, quando sequer utilizam os Equipamentos de Proteção Individual - EPI's (ABNT NR 6, 1978), estando totalmente sujeitos e expostos aos riscos de acidente de trabalho tais como: quedas, choques elétricos, perfurações, problemas na pele entre outros. A LEI N° 11.888, de dezembro de 2008, “assegura às famílias de baixa renda assistência técnica pública e gratuita para o projeto e a construção de habitação de interesse social.” Porém nota-se que no país a exploração do que prevê a lei ainda é bem inibida, a população não tem conhecimento acerca da possibilidade de obter assistência técnica junto à prefeitura, em consequência acabam se submetendo aos riscos que à autoconstrução sugere. Essa assistência evitaria as reformas e ampliações mal planejadas, a baixa qualidade construtiva, os custos excessivos, uso de materiais de baixa qualidade e falta de segurança construtiva. O objetivo principal deste trabalho é apresentar edificações que foram construídas com recursos precários e mão de obra não especializada e apurar os fatores que levam à autoconstrução, tendo o modo empírico de construir como o sistema construtivo adotado. A análise tem a finalidade de

mostrar como esse modo de construir é real e trazer conscientização dos riscos e a necessidade de se contratar um profissional tecnicamente habilitado como o engenheiro civil.

2. ESTUDOS DE CASO

Este estudo contempla a experiência de quatro edificações residenciais. Onde através de visitas foram realizados levantamento fotográfico, levantamento arquitetônico e aplicação de questionário com o objetivo de analisar os proprietários/autoconstrutor e entender o fator influenciador da adoção desse método de construir e suas principais dificuldades no decorrer da obra até sua finalização.

Os casos I, II e III são de residências localizadas na cidade de Gurinhém-PB. O caso IV é de uma edificação localizada na cidade de João Pessoa- PB.

2.1 Caso I

A residência encontra-se na fase inicial de sua construção, trata-se de uma residência unifamiliar um dos exemplos mais típicos de autoconstrução, construída com mão de obra participativa (amigos e familiares) e remunerada.

O autor principal do projeto foi o próprio morador que relata: “*como tenho um pouco de conhecimento, eu mesmo fiz a planta baixa e conversei com alguns amigos e em seguida mostrei ao pedreiro*”, algo muito comum na autoconstrução como mostra a Figura 1, o proprietário pensa nas disposições dos cômodos e confia a execução ao pedreiro que por sua vez apoia-se nas suas experiências adquiridas por observações e prática.

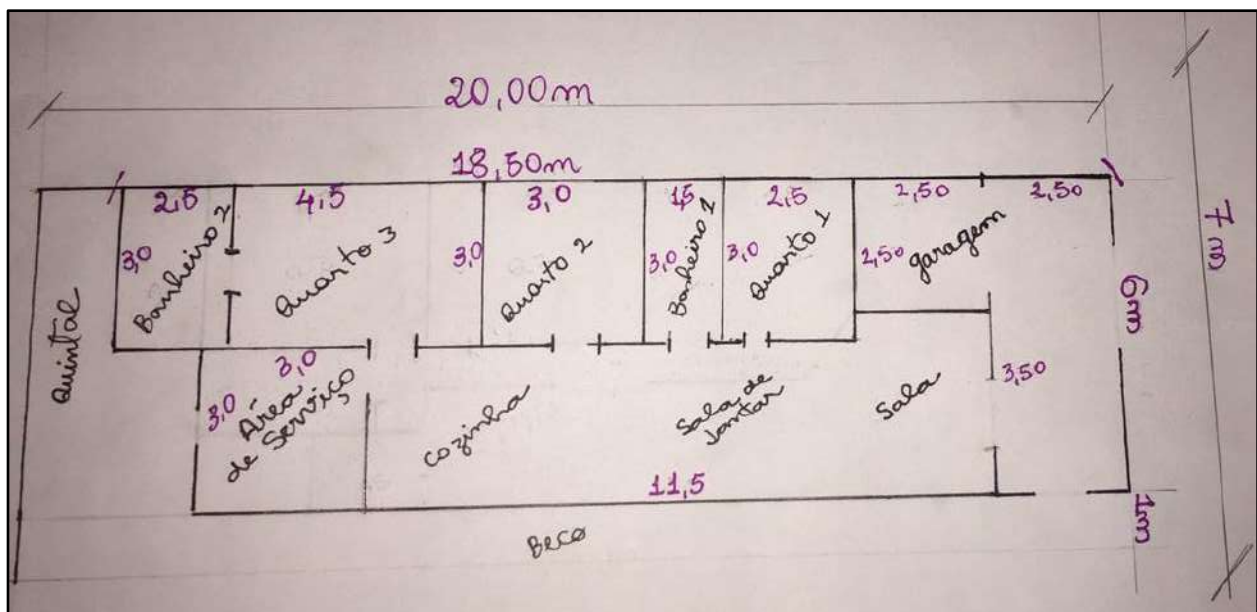


Figura1: Planta baixa desenhada pelo proprietário

2.2 Caso II

O segundo caso nos mostra uma residência unifamiliar com térreo e mais dois pavimentos. O pavimento térreo será usado como salão de recepção para festas, o segundo pavimento será

habitação e o terceiro a área de lazer. A construção encontra-se em processo de construção. Foram previstas três etapas até a finalização da obra, cada etapa é feita em um intervalo de um ano.

A edificação tem um ano de construída, a área total do terreno é de 184,00m² e área construída de 105,00m². A laje utilizada foi a pré-moldada treliçada com lajotas EPS (Isopor).

Dentre algumas observações destacamos a ausência de uso de EPI's pelos funcionários como prevê a NR 35 (Figura 4), e ausência de recuo lateral (Figura3).

Esta obra executada por um pedreiro experiente, o qual demonstra ter bons conhecimentos, adquiridos no exercício de sua atividade profissional. Nota-se que os processos construtivos foram bem pensados, as alturas dos elementos estruturais são proporcionais, porém observa-se que seus conhecimentos adquiridos o levam a trabalhar sob possível superdimensionamento desses elementos, o que pode gerar custos desnecessários, porém contribui para uma maior segurança estrutural; a mão de obra foi 100% remunerada. Não houve etapa de ajuda mútua.

O principal autor do projeto foi o proprietário sob orientação do pedreiro contratado. O proprietário relata que sua maior dificuldade se deu na definição da dimensão dos cômodos e suas divisões; a escolha e definição dos materiais é dada pela qualidade dos mesmos.

Toda estrutura foi definida e dimensionada pelo pedreiro desde a fundação até a laje de coberta no cabeçalho da planta desenhada pelo pedreiro (Figura 2) é possível ver o quantitativo dos vergalhões, e pregos utilizados: 140 vergalhões N° 10; 104 vergalhões N° 4.2; 350 estribos 11x17; 5Kg de prego caiba; 5Kg de prego ripa; 10 Kg de arame.



Figura 2: Foto da planta “estrutural” esenhada pelo pedreiro



Figura 3: Ausência de recuo lateral



Figura 4: funcionário sem uso dos EPI'S

2.3 Caso III

O estudo de caso III contempla uma residência construída há dois anos. O lote possui uma área de 140,00 m² e área total construída de 153, 00 m² (térreo + pavimento superior).

O projeto foi elaborado pelo proprietário. Parte da obra teve mão de obra remunerada, porém o proprietário participou ativamente da execução, ampliações e reformas. O projeto não contemplou recuos laterais como a maioria das edificações autoconstruídas.

As Figuras 5 e 6 apresentam os levantamentos arquitetônicos realizados no local com destaque às indicações temporais das fases de ampliação da edificação. Atualmente a ampliação encontra-se na 4ª fase. As Figuras 7 e 8 apresentam a fotografia da escada e de sua estrutura.

FASE I – Contemplou o pavimento térreo, até a laje que posteriormente receberia parte do pavimento superior.

Cabe destacar que as vigotas treliçadas para concepção da laje foram produzidas e moldadas “in loco”, pelo pedreiro não respeitando o devido dimensionamento, apresentam vazios de concretagem, popularmente conhecidos como “bicheiras”, e armadura aparente (Figuras 7 e 8). O piso da escada apresenta variedade nas suas medidas, os pisos variam entre 28cm e 32cm embora as medidas estejam dentro do que a NBR 9050 – (Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos) prevê, as dimensões não são constantes, já a altura dos espelhos varia entre 18cm e 20cm, a norma prevê alturas dos espelhos entre 16cm e 18cm. (NBR 9050, 2004).

FASE II - Início da construção do pavimento superior.

FASE III – Trata-se de uma edícula (puxadinho) construído no fundo da residência.

FASE IV – Nas visitas realizadas observamos que os escoramentos foram feitos de forma bem artesanal com o que se tinha em mãos. Outro fato constatado foi a medida da altura das vigas, é comum entre os projetistas adotar 10% do comprimento do vão para definição da altura das vigas, neste caso as vigas em questão medem em torno de 22 cm e o vão possui 3,00 m, embora a NBR 6118/14 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento não cite uma altura pré-definida para vigas, levando em consideração que não há um controle quanto à resistência do concreto utilizado e cuidado nas escolhas das armadura e seus devidos espaçamentos, a edificação está sob um risco elevado de apresentar problemas estruturais. Na Figura 9, destacamos um furo feito na viga para passagem das instalações hidráulicas, esse furo pode comprometer a resistência da viga aos esforços e momentos a NBR 6118/14 determina uma série de critérios para quando houver a necessidade de furos nos elementos estruturais, uma das recomendações é que o furo não seja feito próximo aos apoios. A Figura 10 mostra as encanações expostas às intempéries.

2.3.1 Levantamento Arquitetônico da Habitação CASO III:



Figura 5: Destaque das fases de ampliações Pav. Térreo, Caso III



Figura 6: Destaque das fases de ampliações Pav. Superior, Caso III

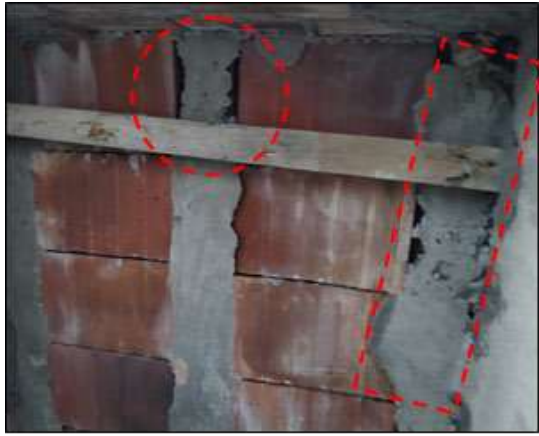


Figura 7: Detalhe de “bicheira” na vigota treliçada



Figura 8: Armadura aparente



Figura 9: Furo na viga, feito para passagem das instalações hidráulicas.



Figura 10: Encanações aparentes, expostas as intempéries

2.4 Caso IV

O último caso é de uma residência unifamiliar localizada no bairro de Muçumago, João Pessoa, Paraíba, onde o proprietário informou que o mesmo a construiu. A casa foi construída a cerca de 12 anos, sem consulta a um profissional de engenharia civil. Os métodos construtivos foram realizados conforme experiências passadas do proprietário. Com o passar do tempo a casa apresentou manifestações, tais como: fissura, infiltração, trincas, mal funcionamento da instalação elétrica, neste caso percebeu-se a ausência de quadro de distribuição elétrico.

Como essa construção já tem 12 anos de edificada foi possível observar diversas manifestações patológicas, muitas delas, provavelmente, advindas da construção executada sem o devido acompanhamento técnico. A partir dos registros fotográficos trataremos sobre algumas dessas fissuras que acabam incomodando esteticamente e visualmente, tais manifestações patológicas podem interferir na durabilidade na edificação e trazer alterações na característica da estrutura.

De acordo com Paulo Grandiski (2010 p. 1 apud Corsini):

“Em uma visão geral, simplificada, as origens das fissuras de uma edificação podem surgir na fase de projetos – arquitetônico, estrutural, de fundação, de instalações –, de execução da alvenaria, dos vários sistemas de acabamento e, inclusive, na fase de utilização, por mau uso da unidade”.

As Figuras 11 refere-se a uma fissura localizada no hall de entrada da residência, a qual, conforme estudos elaborado por Ercio Thomaz (2010 p. 3 apud Corsini), provavelmente é proveniente da vibração provocada pelos veículos trafegando na rua, bem como proximidades com obras, situações que podem ter favorecido o surgimento das fissuras, pois vibrações contribuem para tal

quando não se seguem normas construtivas e/ou se executa uma obra sem acompanhamento técnico, visto que as fundações podem ter sido assentadas em camada inadequada do solo, provocando recalque; ou mesmo pela ausência de vergas e contravergas, elementos componentes do sistema de vedação em alvenaria; outros exemplos de erros construtivos que colaboram para o defeito: Formulação do produto e erros na aplicação, carga do uso calculada inadequadamente, problemas com o fluxo de água ou lençol freático, falhas de execução, ausência de projeto e muitos outros.

A Figura 12, refere-se a uma fissura localizada na parte superior da porta de entrada da residência, fissura como essa geralmente são superficiais e menos preocupantes e não ocasionam perigos às estruturas nem aos moradores principalmente por ser uma parede não estrutural (no caso desta moradia). Segundo Thomaz geralmente, fissuras na alvenaria representam menos riscos do que em vigas e pilares. (Thomaz, 2010 p. 3 apud Corsini), ocasionalmente são causadas por mudanças de temperatura, descolamento dos materiais (material de qualidade inferior instalado).



Figura 11: Fissura no hall de entrada



Figura 12: Fissura acima da porta de entrada

As Figuras 13 e 14 são de uma infiltração de grandes proporções na sala trazendo diversos transtornos aos moradores. A infiltração se apresenta nos sentidos ascendentes. A falta da correta aplicação de técnicas construtivas e acompanhamento técnico certamente levaram a uma execução de fundação e alvenaria sem nenhum tipo de impermeabilização, o que provoca infiltração por capilaridade; bem como negligência na execução do telhado provocando infiltrações quando chove, visto que a água desce pela parede. A moradia se torna, portanto, um ambiente úmido, onde se apresenta “mofos” nos móveis e doenças respiratórias.



Figura 13: Infiltração da Sala

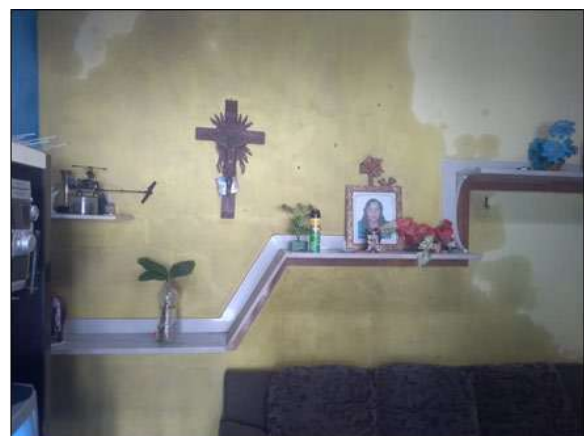


Figura 14: Infiltração da Sala

3. RESULTADOS

Com base nas entrevistas e observações in loco percebe-se que a autoconstrução é prática entre os entrevistados, as quais são reflexos de tradições culturais enraizadas. A busca por dicas e conselhos dos pedreiros e amigos com certa experiência no decorrer da obra é bem comum. Nota-se que os processos de produção adotados estão totalmente fora dos padrões normativos, são executados de forma artesanal, há falta de critérios na definição e dimensionamento dos elementos estruturais, sendo estes definidos por observação e comparação de experiências anteriores.

Verificou-se também total falta de elaboração ou mesmo um esboço simples de projetos de instalações hidrossanitárias e elétrico, não há nenhum tipo de dimensionamento, as tubulações, responsáveis pelas instalações hidrossanitárias geralmente encontram-se expostas às intempéries o que compromete sua vida útil. Em todos os casos não respeitaram os afastamentos laterais.

Para entender o fator influenciador da adoção da autoconstrução e as principais dificuldades enfrentadas pelos proprietários foi realizada uma entrevista com perguntas básicas quanto ao projeto, materiais utilizados, mão de obra e importância da ajuda técnica.

3.1 Sobre o Projeto:

Dos entrevistados na pesquisa 100% relataram que tiveram dificuldades no projeto arquitetônico, principalmente no dimensionamento e disposição dos ambientes, dificuldade comum entre os principais autores, os proprietários, essas dificuldades resultaram em modificações do projeto pré-definido, para adequação de novos cômodos e ajustes das dimensões.

Todos entendem a importância de ter um projeto, embora não tendo ideia de valores mencionaram que estariam dispostos a pagar entre R\$ 400,00 e R\$ 4.000,00 pelo projeto.

3.2 Sobre os Materiais:

Em sua maioria também citaram que buscaram materiais conforme preço, devido à falta de conhecimento técnico. Outro fator observado foi que não realizaram medição para compra de material e à medida que os materiais iam acabando eles compravam, tornando assim o custo ainda maior pois a quantidade gera desconto, o construtor pode comprar direto do distribuidor, tornando a obra ainda mais onerosa. Em sua totalidade o concreto foi produzido in loco sem controle de Fck podendo, futuramente, gerar patologias.

3.3 Sobre a Mão de Obra:

A mão de obra dos casos apresentados foi mista, ou seja, parte remunerada e parte ajuda mútua, apenas o Caso II optou por mão de obra totalmente remunerada.

Percebe-se, portanto, que a adoção da autoconstrução se dá pela condição financeira. Os construtores acreditam que a contratação de um profissional técnico é cara e inviável, relatam que o custo que essa contratação gera atrasaria a construção, “O que gastaria nessa parte já compro de materiais”, relata um dos entrevistados.

No geral as obras foram realizadas sem estimativas de custo, conseqüentemente, todas apresentaram custos acima do esperado ao final da construção. O pensamento do proprietário é sempre o mesmo: economizar.

Alguns ficaram com dúvidas quanto à fundação e acabaram fazendo baseado em experiências anteriores dos pedreiros. Os autoconstrutores confiam cegamente nos seus saberes e nas experiências dos pedreiros contratados, ficam satisfeitos com os resultados obtidos.

4. CONCLUSÃO

As discussões apresentadas no entorno da pesquisa expuseram as principais características da autoconstrução por uma perspectiva geral, enfatizando os principais riscos aos quais essa modalidade construtiva está sujeita bem como a geração de despesas excessivas na obra, pois a falta de projeto e planejamento geram custos e desperdícios o dito, “barato que sai caro” visto que a obra planejada gera economia e supera os gastos com a contratação de engenheiro ou arquiteto. Toda essa discussão aponta para a necessidade de atenção evidenciando a importância da contratação e um devido acompanhamento por um profissional devidamente qualificado e habilitado com finalidade de conscientização acerca dos problemas que a ausência de qualificação técnica pode trazer, não só após a finalização da obra, mas durante sua construção. Os trabalhadores se submetem a riscos com a falta dos Equipamentos de Proteção Individual - EPI e Equipamentos de Proteção Coletiva - EPC, e orientações quanto à necessidade de uso deles, além de trabalharem de forma clandestina, que em um eventual acidente de trabalho não haverá um aparato legal.

Outro risco apresentado é a não preocupação com a legalização da obra, sujeitando os mesmo a embargos e/ou multas, colocando em risco a finalização da obra, visto a despesa “inesperada” para a legalização dela.

Os processos construtivos, no geral, foram realizados de modo empírico, oferecendo risco a seus ocupantes, pois se embasam em outras experiências de construção, as quais não servirão para uma outra construção, visto que muitos fatores são determinantes para a definição do processo construtivo mais adequado à cada situação.

REFERÊNCIAS

Almeida, S. L. L. C (2019). Um olhar sobre a autoconstrução , 33 pag. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Gerenciamento de Obras do Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Associação Brasileira de Normas Técnica. (2004). *NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnica. (2013). *NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnica. (2014). *NBR 6118: Projeto de estrutura de concreto – procedimento*. Rio de Janeiro.

Balthazar, R. D. S. (2012). A permanência da autoconstrução: um estudo de sua prática no município de vargem grande paulista. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Bonduki, N. (1998). *Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria*.

Braga, M. L. A. (2001). *Projeto para produção da autoconstrução*. (2001). 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia e Construção de Edifício, Instituto de Pesquisas Tecnológica de São Paulo - IPT, São Paulo.

CAU/BR Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil. Pesquisa CAU/BR e Datafolha 2015. Disponível em: <https://www.caubr.gov.br/pesquisa2015/> Acesso em: 15 mar. 2020.

Corsini, Rodnei. Trinca ou fissura: Como se originam, quais os tipos, as causas e as técnicas mais recomendadas de recuperação de fissuras. São Paulo: Techne Pini, jun. 2010. Disponível: <http://techne.pini.com.br/engenhariacivil/>

Ferro, S. A casa popular, Arquitetura Nova. São Paulo, São Paulo, Grêmio da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1979.

Fragozo, S. D. (2016). *O Desempenho das Construções no Processo de Autoconstrução de Habitações Populares*. 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Grandiski, Paulo. Entrevista concedida a Rodnei Corsini. Jul. 2010 *Trinca ou fissura: Como se originam, quais os tipos, as causas e as técnicas mais recomendadas de recuperação de fissuras*. São Paulo: Techne Pini, jun. 2010. Disponível: <http://techne.pini.com.br/engenhariacivil/160/trincaoufissuracomoseoriginmquaisostipos2854881.aspx>. Acesso em: 16 jul. 2010.

Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. (2033). *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas.

Lei nº 11.888, de 24 de dezembro de 2008. Assegura às famílias de baixa renda assistência técnica pública e gratuita para o projeto e a construção de habitação de interesse social e altera a Lei nº 11.124, de 16 de junho de 2005.

Maricato, E. “*Autoconstrução, a arquitetura possível*”. In: MARICATO, E. (org) *A produção capitalista da casa (e da cidade) no Brasil industrial*. São Paulo: Alfa Ômega, 1979.

Ministério de Trabalho. *Norma Reguladora Nº – 35: Trabalho em altura*. Portaria SIT nº 313, de 23 de março de 2012. Publicada no D.O.U em 27 de março de 2012.

Ministério de Trabalho. *Norma Reguladora Nº – 6: Equipamento de proteção individual – EPI*. Portaria MTb nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Publicada no D.O.U em 07 de julho de 1978.

Souza, M. F.; Stephan, I. I. C.; Carvalho, A. W. B. *Modos de vida e modos de habitar na moradia autoconstruída*. Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (online), v. 16, p. 37-54, 2018.

Manifestações patológicas oriundas da falta de estanqueidade em pavilhão de laboratórios de uma instituição de ensino pública

L. Cardoso Gabriel^{1*}, W. da Silva Pereira², A. Cruz Passuello³

*Autor de Contacto: eng.larissagabriel@gmail.com

¹Engenheira Civil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA, Brasil

²Engenheiro Civil. Docente da Faculdade FACTIVA, Valença – BA, Brasil

³Doutora em Engenharia Civil pela Università Politécnica delle Marche. Docente da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA, Brasil

^{1, 2, 3} Grupo de Pesquisa para Preservação e Ocupação Seguro do Ambiente Construído (GP-POSAC)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar um levantamento de manifestações patológicas oriundas de umidade descendente verificando o possível comprometimento da estanqueidade em um dos pavilhões de laboratórios de uma instituição de ensino federal. Para a identificação e classificação das manifestações patológicas utilizou-se o método de Lichtenstein e a norma de inspeção do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE. Foram realizadas inspeções visuais na cobertura, fachada e interior da edificação, levantando ocorrências, localizações, classificando as manifestações patológicas, seus graus de risco e possíveis causas. As causas prováveis identificadas foram ligadas à utilização inadequada da impermeabilização, vedação das paredes, erros de execução e a falta de manutenção.

Palavras-chave: Manifestações Patológicas; Inspeção; Estanqueidade; Umidade Descendente.

Pathological manifestations arising from the lack of watertightness in the laboratory pavilion of a public educational institution

ABSTRACT

The objective of this work aims to carry out a survey of pathological manifestations arising from descending humidity, verifying the possible impairment of watertightness in one of the laboratory pavilions of a federal educational institution. For the identification and classification of pathological manifestations, the Lichtenstein method and the inspection standard of the Brazilian Institute of Engineering Assessments and Expertise – IBAPE. Visual inspections were carried out on the building's roof, facade and interior, surveying occurrences, locations, classifying pathological manifestations, their degrees of risk and possible causes. The probable causes identified were linked to the improper use of waterproofing, wall sealing, execution errors and the lack of maintenance.

Keywords: Pathological Manifestations; Inspection; Watertightness; Descending Humidity.

Manifestaciones patológicas derivadas de la falta de estanqueidad en el pabellón del laboratorio de una institución educativa federal.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un relevamiento de las manifestaciones patológicas derivadas del descenso de la humedad, comprobando la posible alteración de la estanqueidad en uno de los pabellones de laboratorio de una institución educativa federal. Para la identificación y clasificación de las manifestaciones patológicas se utilizó el método de Lichtenstein y el estándar de inspección del Instituto Brasileño de Evaluación y Pericia en Ingeniería - IBAPE. Se realizaron inspecciones visuales en la cubierta, fachada e interior del edificio, identificando ocurrencias, ubicaciones, clasificando las manifestaciones patológicas, sus grados de riesgo y posibles causas. Las causas probables identificadas estuvieron vinculadas al uso inadecuado de impermeabilizaciones, sellado de muros, errores de ejecución y falta de mantenimiento.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas; Inspección; Estanqueidad; Humedad descendente.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho que uma edificação apresentará durante a sua vida útil está condicionado a decisões e ações realizadas ao longo de todas as etapas que envolvem o seu processo executivo. A concepção

inadequada de uma edificação, o projeto deficiente e a execução sem qualidade conduzirão a problemas patológicos que poderão requerer ações de manutenção corretiva não esperadas, extremamente precoces e, em grande parte dos casos, com custos excessivos.

Anomalias decorrentes de falhas nas especificações projetivas e falhas construtivas podem permitir o acesso de agentes causadores de deterioração dos elementos construtivos, podendo comprometer inicialmente as questões relacionadas a habitabilidade da edificação, mas também, posteriormente, conduzir a processos patológicos mais severos, que poderão comprometer a integridade estrutural da construção. A presença de umidade constante nas edificações é um agente deletério importante e causa uma série de inconvenientes aos usuários, sendo motivo do desencadeamento de inúmeras manifestações patológicas. Problemas de umidade interna nas edificações podem ser gerados por decisões errôneas no projeto, mas principalmente por falhas na etapa de execução que permitirão o acesso da água por umidade ascensional, ou então, devido à falta de estanqueidade em relação a cobertura ou elementos de vedação. Além disso, uma programação ineficiente ou inexistente de manutenção poderá conduzir ao início do problema, mas principalmente acelerar o processo de degradação quando não ocorrer a solução imediata do problema que está conduzindo a falta de estanqueidade.

Este trabalho busca realizar um levantamento de manifestações patológicas oriundas de umidade descendente verificando o possível comprometimento da estanqueidade em um dos pavilhões de laboratórios de uma instituição de ensino federal, cuja construção foi finalizada em 2013. A edificação está localizada no município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil e abriga, entre outros espaços, 27 laboratórios dos cursos de engenharias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desempenho das edificações

Segundo a Norma Regulamentadora Brasileira – NBR 15575, o desempenho de uma edificação é definido como o comportamento em uso de um edifício e seus sistemas (fundação, estrutura, piso, vedações, cobertura etc.), considerando as funções específicas no qual ele foi projetado (ABNT, 2013). A avaliação deste desempenho ocorrerá com base na avaliação de critérios estabelecidos a partir das exigências dos usuários relativas à segurança, a habitabilidade e a sustentabilidade.

As exigências de segurança visam a proteção do usuário da edificação, frente a integridade estrutural, a ocorrência e propagação de incêndios, bem como pela segurança de uso e operação dos próprios componentes que integram a construção. A habitabilidade pode ser entendida como o conjunto de aspectos que interferem na qualidade de vida e comodidade dos usuários, considerando a satisfação de suas necessidades físicas, psicológicas e socioculturais. Levando em consideração esse conceito, é possível associar a habitabilidade como conforto associado a questões térmicas, acústicas, tátil, de luminosidade, estanqueidade, segurança, salubridade e demais quesitos envolvidos na fruição e construção do espaço construído (ABNT, 2013). Por fim, em termos de requisitos de sustentabilidade, os critérios de análise de desempenho focam na durabilidade e manutenibilidade da edificação como um todo. A durabilidade do edifício e seus sistemas é comprometida quando o elemento passa a não atender as funções para qual foi projetado (ABNT, 2013).

O intervalo de tempo entre o início do uso e o momento em que o desempenho mínimo estabelecido em projeto passa a ser comprometido, é denominado de vida útil. Esse período de vida útil é caracterizado pelas influências no valor teórico determinado em projeto (vida útil de projeto), seja por fatores internos em que os usuários podem controlar como manutenção e intempéries ou então, por fatores externos como ações da natureza em que não é possível o controle. Já a manutenibilidade das construções está associada a facilidade de manutenção dos elementos

construtivos, a fim de favorecer as inspeções prediais e possíveis intervenções que devem estar previstas no manual de uso, operação e manutenção da edificação (ABNT, 2013).

2.2 Patologia das construções

Entende-se como mecanismos de deterioração das estruturas os processos que levam a queda de desempenho dos elementos e sistemas que compõem as edificações. A área da ciência que se ocupa justamente do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos que levam a ocorrência de falhas e degradação das estruturas é denominada Patologia das Construções (Souza e Ripper, 1998).

De acordo com Souza e Ripper (1998) é extremamente importante conhecer as origens da deterioração, não apenas para a aplicação de terapias como também para que os problemas não retornem. Na área da patologia das construções, utiliza-se o termo manifestações patológicas para designar os sintomas dos processos de deterioração das edificações. Estes sintomas sofrem influência devido as características físicas, químicas ou mecânicas dos materiais, podendo ocorrer nas áreas internas ou externas, dependendo do uso, alterando o comportamento das construções e refletindo diretamente em seu desempenho.

O processo de construção de uma edificação é constituído de etapas que incluem o planejamento, o projeto, a escolha de materiais, a execução propriamente dita, bem como o seu uso ao longo do tempo. Sendo assim, a causa dos problemas patológicos das edificações pode ser gerada a partir de quaisquer dessas etapas (Costa Junior e Silva, 2003). Segundo Pina (2013), os tipos de manifestações patológicas mais comuns nas construções, que podem representar riscos à segurança dos usuários, são corrosão de armaduras, trincas, fissuras, rachaduras, degradação do concreto, manchas, descolamento de revestimento e infiltração, onde esta última pode vir a ser a causa do desencadeamento de todas as anteriores.

2.3 Manifestações patológicas devido a umidade descendente

A umidade se comporta como facilitador do desenvolvimento da maioria dos processos de deterioração das edificações, cujos sintomas se apresentarão sob a forma de manifestações patológicas. Podem ter diferentes proveniências nas edificações, derivando tanto da exposição a uma atmosfera úmida como também pelo contato direto da sua superfície com a água líquida. De acordo com Bertoline (2010), a origem da umidade nas edificações pode ocorrer através de quatro (4) situações distintas: umidade por elevação, umidade por vapor, umidade descendente (ou de precipitação) e umidade da construção.

A umidade proveniente da água pluvial é a umidade com origem descendente, que pode ser provocada pela ação direta da água da chuva nas paredes das edificações ou, então, por infiltração devido a ineficiência de alguma parte construtiva, tais como cobertura, calhas, fissuras no reboco, sistema de impermeabilização, etc (Bertoline, 2010). Algumas formas de presença da umidade podem ser detectadas a partir de manifestações patológicas como manchas, mofo, descascamento, descolamentos, eflorescência, fissuras, trincas, entre outras. Elas podem surgir tanto em elementos de vedação, como as alvenarias, quanto na estrutura como as de concreto armado (Cechinel et al., 2007).

Para a proteção das edificações contra a presença de umidade são utilizados sistemas como cobertura, sistema pluvial, impermeabilização, entre outros. Estes artificios precisam garantir a estanqueidade à edificação e quando não são executados de forma correta surgem as manifestações patológicas.

O sistema pluvial de uma edificação tem como objetivo conduzir a água proveniente das chuvas. De acordo com a NBR 10844, em instalações prediais de águas pluviais as instalações devem obedecer aos critérios como: estanqueidade, limpeza fácil, suportar variações térmicas, resistir às intempéries, entre outros (ABNT, 1989). Manifestações patológicas como manchas em forros e

paredes, goteiras e mofo devido a ação da umidade descendente podem ocorrer por diversos fatores, tais como: soldas incompletas ou rompidas em telhas e calhas, caimento de água falho, calhas instaladas de maneira errada, fixação insuficiente dos rufos, entupimento por falta de manutenção, falta ou falha de impermeabilização entre outros (Souza, 2008).

Segundo Yazigi (2009) existe uma diversidade de sistemas de impermeabilização, alguns desses sistemas podem ser de membranas flexíveis moldadas *in loco* como emulsões asfálticas, mantas flexíveis pré-fabricadas como as mantas asfálticas e membranas rígidas moldadas *in loco* como a argamassa rígida. Sistemas rígidos são indicados para elementos de pouca movimentação e que não serão expostos a variações térmicas e exposição à radiação solar, já os sistemas flexíveis são para elementos que são expostos e sofrem movimentação. A escolha de um sistema de impermeabilização ideal varia de acordo com a necessidade da edificação, sendo analisados fatores como custo, tipo de estrutura a ser aplicada, vida útil, tamanho da obra etc.

A ausência de projetos de impermeabilização intensifica a frequência de insucessos na estanqueidade de uma construção. Deve-se os insucessos da impermeabilização principalmente a inexistência do Projeto de Impermeabilização, a desqualificação da mão de obra, a utilização de materiais fora da norma, influência dos projetos arquitetônico e estrutural na impermeabilização, entre outros (Soares, 2014).

3. MÉTODO

3.1 Método da pesquisa

Para a atingir os objetivos propostos nesta pesquisa foi realizado um estudo de caso no Pavilhão de Laboratórios de uma instituição pública localizada no município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil, por meio de inspeções do local, identificando as manifestações patológicas causadas pela entrada de água pluvial. A inspeção foi realizada através de registros fotográficos da cobertura, fachada e interior da edificação, quantificando as manifestações, avaliando a ocorrência nos elementos construtivos e suas localizações, além de classificá-las de acordo com o grau de risco.

Este trabalho se delimitou apenas às inspeções visuais, não sendo realizados exames complementares como ensaios laboratoriais ou na estrutura (destrutivos ou não). Foi realizada uma reflexão sobre os tipos de sintomas presentes, suas possíveis causas e graus de riscos associados. A edificação escolhida foi construída em 2013, sendo escolhida justamente devido à pouca idade da edificação (considerando a data da inspeção) e por apresentar um número expressivo de manifestações patológicas que estão comprometendo seu desempenho.

Para a identificação das manifestações patológicas foi utilizado o método de Lichtenstein (1986), no que se refere aos conceitos de levantamento de subsídios e o diagnóstico da situação. O levantamento de subsídios é a etapa onde são obtidas as informações essenciais para o entendimento das manifestações patológicas que podem ser obtidas através de vistoria do local, levantamento do histórico e resultado de análises. O levantamento de subsídios também incluiu os projetos arquitetônicos e estruturais fornecidos pela instituição. O diagnóstico da situação é o entendimento dos fenômenos avaliando as possíveis causas e efeitos das manifestações patológicas na vida útil da estrutura. Neste estudo foi realizado a partir da delimitação quanto a presença da umidade descendente (precipitação) e identificação dos indícios da falha de estanqueidade da estrutura.

Os ambientes foram vistoriados isoladamente e o levantamento das manifestações patológicas seguiu os requisitos mínimos da Norma Nacional de Inspeção do IBAPE (IBAPE, 2012). As inspeções foram realizadas em três momentos distintos com o objetivo de analisar o comportamento da edificação frente a estanqueidade. A primeira inspeção foi realizada na fachada e cobertura, no dia 31 de maio de 2019, após precipitações pluviométricas. A segunda inspeção foi

realizada na parte interna da edificação em um período anterior às constantes chuvas, no dia 3 de junho de 2019. Já a terceira inspeção foi realizada no dia 12 de junho de 2019 após períodos de chuvas, tornando possível a avaliação de quais foram as áreas mais afetadas.

O registro fotográfico das áreas internas foi realizado por uma câmera fotográfica com 20.3 megapixel. A fachada e cobertura foram inspecionadas a partir do registro fotográfico e vídeo de dois drones um com uma câmera de bordo equipada com um sensor CMOS de 20 megapixels de 1” e outro com uma câmera equipada com um sensor CMOS de 1/2.3” de 12 megapixels acopladas. O tratamento das informações coletadas ocorreu através da divisão das manifestações patológicas em grupos, quais sejam: manchas e mofo, descascamento, descolamento, eflorescência, fissuras e trincas, corrosão das armaduras e corrosão da estrutura metálica. Para cada grupo de manifestação foram identificados os elementos construtivos e sua localização no Pavilhão de Engenharias. A localização foi analisada contabilizando a ocorrência nas diferentes regiões da edificação. As ocorrências foram correlacionadas com as áreas de abrangência, sendo identificados as relações entre elas e as possíveis causas referentes à falta de estanqueidade. As manifestações patológicas foram classificadas segundo o grau de risco aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio, tendo como base a norma do IBAPE (2012), sendo estes: Crítico; Médio; Mínimo.

Para a formulação das possíveis causas buscou-se evidências para a realização do diagnóstico, correlacionando o interior e o exterior da edificação, analisando as suas influências. Desta forma foram registrados os possíveis diagnósticos e contabilizado o percentual de incidências das manifestações patológicas através de gráficos e tabelas, analisando os graus de risco associados, afim que gerar prioridades para intervenções futuras.

3.2 Caracterização do objeto de estudo

O município de Cruz das Almas está localizado a 146 quilômetros de Salvador, capital do estado, possuindo um clima tropical quente úmido, onde os meses de março e agosto apresentam os índices pluviométricos mais altos e os meses de setembro e fevereiro os mais baixos. Porém, nos meses de menores índices pluviométricos permanece umidade é alta. A pluviosidade varia entre 900 e 1300 mm, a temperatura média anual é de 24,5°C e umidade relativa de 80% (Lima Filho; Coelho Filho; Heinemann, 2013). O fato de ser uma cidade úmida favorece a presença de umidade nas edificações, conduzindo ao surgimento de um maior número de manifestações patológicas, particularmente naquelas edificações que apresentem fragilidade na sua estanqueidade, especialmente no que se refere a umidade descendente.

A estrutura do Pavilhão utilizado no estudo pode ser dividida em duas partes, conforme pode ser visto na Figura 1. A primeira parte é caracterizada pela edificação propriamente dita, composta por estrutura em concreto armado, com lajes pré-moldadas, alvenaria de vedação em bloco cerâmico e fachada revestida com revestimento cimentício e pintura. A laje superior da cobertura é protegida por telhas metálicas. A segunda parte é caracterizada por uma rampa de acesso que foi construída para dar acessibilidade ao pavimento superior. É uma estrutura mista composta por uma estrutura metálica, com lajes pré-moldadas e vedação em bloco cerâmico. A primeira parte está dividida em quatro Alas (A - térreo, B - térreo, C – 1º andar e D – 1º andar), contendo no total 27 laboratórios, 4 banheiros (2 no primeiro andar e 2 no térreo) e áreas de circulação como corredores, recepção e escadas (UFRB, 2019). Na Figura 2 é apresentada a fachada da edificação de estudo.



Figura 1 - Divisão da Estrutura do Pavilhão de Laboratórios
Fonte: O autor (2019).



Figura 2 – Fachadas do Pavilhão de Laboratórios
Fonte: O autor (2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 são apresentados os percentuais das manifestações patológicas encontradas na edificação de estudo. No total foram identificadas 281 ocorrências relacionadas com o comprometimento da estanqueidade.

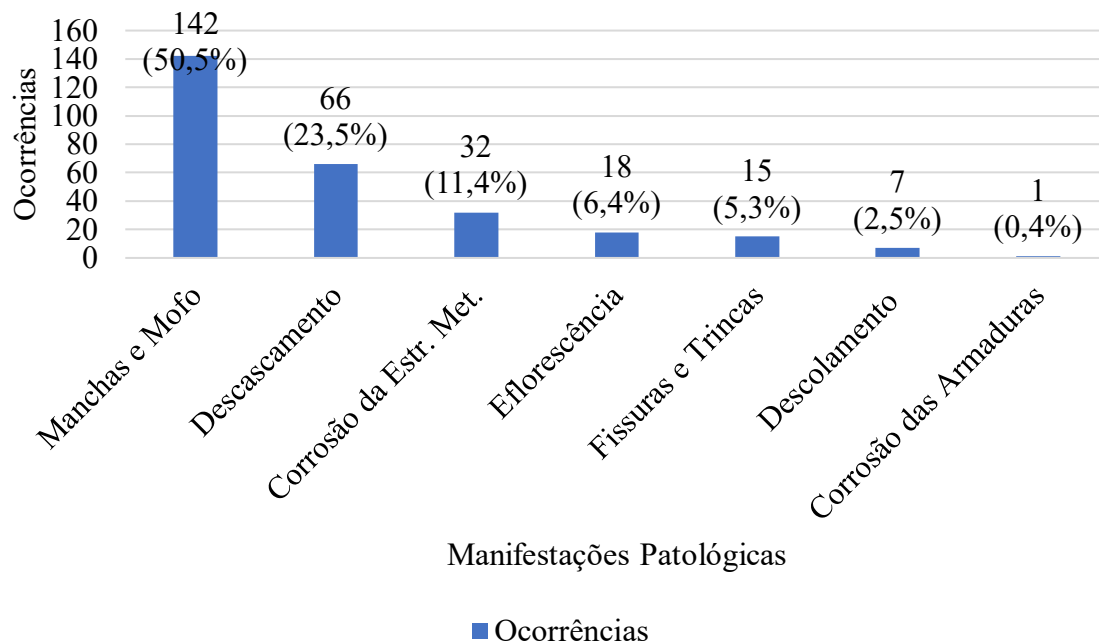


Figura 3 - Ocorrências e Percentuais das Manifestações Patológicas.

É possível observar que das 281 ocorrências de manifestações, 50,5% são do grupo de manchas e mofo, que em diversos casos teve sua presença associada ao descascamento das pinturas, presente em 23,5% das ocorrências, e a formação de fissuras e trincas, presentes em 5,3%. As fissuras e trincas contabilizadas são somente aquelas que visualmente poderiam estar relacionadas com a umidade excessiva.

A maior ocorrência de manchas e mofo já era esperado, já que essas são as manifestações que indicam o primeiro indício da presença de umidade na edificação. Por outro lado, a corrosão de

armaduras apareceu com um percentual menor de ocorrência. Este resultado também era esperado, já que a idade da construção é bastante recente (6 anos).

Na Figura 4 é possível demonstrar o caso de um dos laboratórios que está localizado na Ala C. Neste ambiente toda a lateral em contato com o meio externo apresenta manchas e descascamentos em estado avançado, além de apresentar infiltrações e vazamentos em vigas, pilares e forro.



Figura 4 – Imagem da esquadria de um dos laboratórios da edificação.

Fonte: O autor (2019).

No Quadro 1 é apresentada uma síntese das ocorrências de manifestações patológicas distribuídas por localização na edificação, bem como os graus de risco atribuídos a cada uma delas. É possível constatar que a rampa de acesso é o local mais degradado da edificação, totalizando 26,7% das manifestações patológicas encontradas em toda a edificação, seguida pela fachada com 16,7%, as alas C e D (1º andar), com 16,4% e 15,3%, respectivamente, a áreas comuns com 12,5% e por fim, as alas do térreo, B, com 7,8%, e A, com 4,6%. Em relação aos graus de risco, percebe-se que 49,8% das manifestações patológicas foi enquadrada com grau de risco mínimo, 27,8% médio e 22,4% crítico. As manchas e mofo, que foram as manifestações mais recorrentes na edificação, apresentaram 82 ocorrências classificadas como grau mínimo, 35 como grau médio e 25 como grau crítico.

LOCALIZAÇÃO	OCORRÊNCIAS E GRAUS DE RISCOS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS																		TOTAL				
	Fissuras e Trincas			Manchas e Mofo			Descascamento			Descolamento			Corrosão da Estrutura Metálica			Corrosão das Armaduras			Eflorescência			Número	Percentual
	CR	ME	MI	CR	ME	MI	CR	ME	MI	CR	ME	MI	CR	ME	MI	CR	ME	MI	CR	ME	MI		
ALA A				2		10															1	13	4,6
ALA B		1	5	1	4	5		1	5													22	7,8
ALA C	3			10	3	16	5		8												1	46	16,4
ALA D		1		6	5	18			4	9												43	15,3
ÁREAS COMUNS			1	2	8	16			2	4								1			1	35	12,5
RAMPA					4	12	5	9	6				19	13					3	2	2	75	26,7
FACHADA			4	6	9	5		3	5	2	2	3							1	3	4	47	16,7
PARCIAL	3	2	10	25	35	82	10	19	37	2	2	3	19	13	0	0	0	0	1	4	7	281	100,0
TOTAL	15			142			66			7			32			1			18				
GRAUS DE RISCO	CRÍTICO (CR)						MÉDIO (ME)						MÍNIMO (MI)										
NÚMERO	63						78						140										
PERCENTUAL	22,4						27,8						49,8										

Quadro 1 – Síntese das ocorrências e graus de riscos das manifestações patológicas

Fonte: O autor (2019).

Na Figura 5 são apresentadas as informações de como as manifestações patológicas estão distribuídas nos diferentes elementos construtivos. É possível perceber que as vigas, a parte superior da parede de vedação e a laje somam quase 70% das manifestações patológicas. Este resultado, analisado em

concomitância com o Quadro 1, indica que a presença de umidade que está causando os processos de deterioração está associada com a vinda de água da cobertura, muito possivelmente causada por uma ineficiência da estanqueidade da laje e das telhas metálicas presentes. Considerando que a presença de umidade constante causa processos progressivos de deterioração, é possível esperar que as manifestações que foram classificadas com grau mínimo e médio acabem se agravando rapidamente, caso os problemas de estanqueidade da cobertura não sejam resolvidos imediatamente.

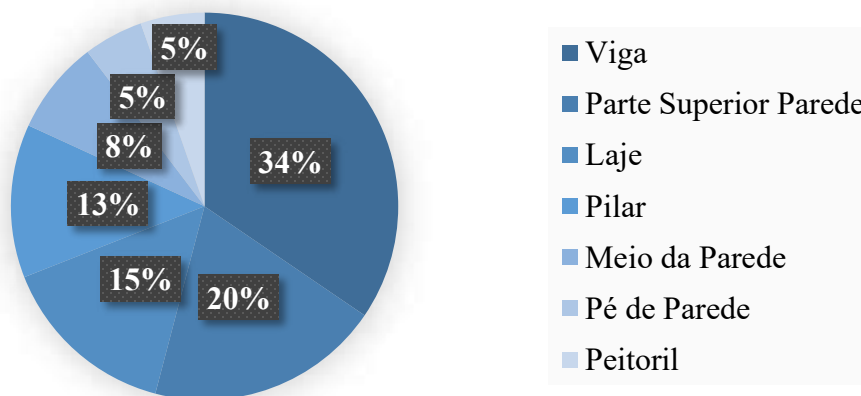


Figura 5 - Ocorrência em Elementos Construtivos

Fonte: O autor (2019).

As 75 ocorrências de manifestações patológicas na rampa de acesso estão relacionadas aos grupos de manchas e mofo, descascamento, corrosão da estrutura metálica e eflorescências causadas pela lixiviação do hidróxido de cálcio do concreto da laje, afetando em sua maioria vigas, lajes e parte superior das paredes. Entre as manifestações identificadas foi possível identificar um número considerável de graus crítico e médio, um exemplo de manifestações de grau crítico é a corrosão da estrutura metálica, que foi observada com perda significativa da seção de sua estrutura localizada na rampa. Devido ao estado de conservação da estrutura, a sua utilização foi interdita, presando pela segurança dos usuários. Através da Figura 6 é possível observar algumas dessas ocorrências indicando também eflorescências com formação de estalactites devido a umidade presente na laje pré-moldada.

De acordo com o projeto arquitetônico a rampa deveria possuir telhas metálicas, em sua cobertura, assim como na primeira parte do Pavilhão, porém desde o princípio a rampa encontra-se sem proteção em sua laje através da instalação de telhas metálicas. Além do fato de não haver uma cobertura adequada, é possível observar deficiências no sistema de impermeabilização e vedação da parede, com acúmulo de água na cobertura e até presença de vegetação. A situação em que se encontra a cobertura da rampa é demonstrada na Figura 7.



Figura 6 - Manifestações Patológicas em Rampa.
Fonte: O autor (2019).



Figura 7 - Cobertura da Rampa.
Fonte: O autor (2019).

A fachada apresenta 47 ocorrências que estão ligadas aos problemas de impermeabilização das calhas e a inexistência de pingadeiras. Em vários pontos da fachada é possível observar descolamentos e eflorescência, desde a situações de grau mínimo, até casos em que há comprometimento da coloração da cerâmica ou até mesmo quando não há mais revestimento. Na Figura 8 é apresentado um dos casos em relação ao descolamento presente na Ala C. De modo geral estão relacionados à fachada 10% das manifestações, dos quais são localizados 5% nos elementos peitoril e 5% pé de parede, conforme pode ser visto na Figura 5. As ocorrências da Ala B, zona da edificação que apresentou o segundo menor percentual, tem seus elementos localizados nas faces próximas à fachada com 22 ocorrências ao total.

Apesar de ser identificada apenas uma ocorrência durante a inspeção, foram observados indícios de corrosão como manchas marrom avermelhadas principalmente nas faces das lajes e vigas da fachada, porém não foi possível a confirmação somente com as imagens obtidas pelo drone. A exposição de armadura, indicando o estado inicial da corrosão, somente foi localizada em uma única situação em local que o cobrimento do concreto foi retirado para a passagem de eletrocalhas, conforme mostra a Figura 9. O aparecimento de Poliestireno Expandido (EPS) com manchas e mofos demonstraram a possibilidade de corrosões não visíveis.



Figura 8 - Destacamento em Fachada Localizada na Ala C.
Fonte: O autor (2019).



Figura 9 - Indícios de ocorrência de Corrosão de Armaduras.
Fonte: O autor (2019).

Ao analisar os dois períodos de inspeção do interior da edificação observou-se que dos 27 (vinte e sete) laboratórios, 9 (nove) apresentaram vazamentos após os períodos de chuvas, comprovando que as manifestações patológicas estão relacionadas com um problema ainda existente de falta de estanqueidade. Inclusive, a maioria das manifestações desse ambiente estão classificadas em graus de risco médio e crítico. A presença da umidade acaba inutilizando parte dos laboratórios ou todo seu funcionamento, influenciando também os elementos de acabamentos como forro e piso.

Um dos laboratórios localizados na Ala C apresenta os maiores problemas de falta de estanqueidade. Além de infiltrações em vigas e pilares, após as chuvas o ambiente apresentou poças de água no piso. Através da Figura 10 é possível observar poças no meio da sala, comprometendo totalmente a utilização do cômodo para a função projetada.

Considerando o maior número de manifestações patológicas nas Alas (C e D) do pavimento superior, é possível considerar que a ocorrência dos sintomas esteja associada a falhas na impermeabilização da laje da cobertura e no sistema pluvial. Na Figura 11 observa-se uma vista superior onde percebe-se a degradação da impermeabilização das calhas de concreto, com manchamento escurecido pela presença constante de umidade, como também manchas esbranquiçadas que poderiam estar sendo geradas pela lixiviação do hidróxido de cálcio.



Figura 10 - Laboratório de Modelagem em Hidrologia e Recursos Hídricos.
Fonte: O autor (2019).



Figura 11 - Degradação da Impermeabilização das Calhas.
Fonte: O autor (2019).

Problemas como o apresentado na Figura 11 foram localizados em toda a área superior a laje, sendo também identificado próximos aos rufos. Podem estar relacionados ao uso inadequado dos materiais para impermeabilização e falta de manutenção. Em todas as vigas localizadas abaixo dessas calhas e rufos foi possível identificar manifestações patológicas, muitas vezes classificadas com grau crítico. O projeto mostra que a impermeabilização realizada nas calhas é do tipo membrana asfáltica, um tipo de impermeabilização flexível. Entretanto, é preciso considerar que estes elementos estão constantemente expostos às radiações solares, precisando estar associados com dispositivos para proteção mecânica e climática.

As alas C e D, áreas comuns e fachada apresentam maiores ocorrências em vigas, parte superior da parede, pilares e lajes. A ocorrência dos processos de deterioração podem estar sendo influenciados por desempenho inadequado da impermeabilização, sistema pluvial e cobertura. Na Figura 12 é apresentada uma zona da cobertura, onde é possível identificar acúmulos de água, deterioração da impermeabilização e deformações nas telhas metálicas. A cobertura tem grande influência na garantia da estanqueidade, evitando assim que a umidade descendente gere deterioração na edificação. Além de inadequada impermeabilização foram identificados acúmulos

de água nas telhas metálicas indicando que não há a devida inclinação e direcionamento para o escoamento das águas pluviais, além de deformações e furos que permitem a passagem de água. Associado à instalação do ar-condicionado existe a presença dos *shafts*, onde são passadas as tubulações. Nestes espaços foram identificadas manifestações patológicas do tipo manchas, mofo e descascamento, justamente devido à presença constante de umidade. A falta de estanqueidade pode estar associada a perfuração da laje para passagem de tubulação, instalação de ar-condicionado ou outros dispositivos, sem que tenha sido previsto o reparo da impermeabilização. Os usuários do espaço informaram que há certa de um ano, partes da cobertura da Ala D e os locais próximos aos shafts das instalações dos ar-condicionados sofreram intervenções, com aplicação de mantas asfálticas. Constataram que esta intervenção reduziu conseqüentemente as ocorrências da Ala A (térreo), localizada logo abaixo da Ala D. Entretanto, percebe-se, a partir da identificação de manchas de umidade que ainda existe infiltração no local das passagens de tubulações, conforme é possível ver na Figura 13.

A entrada de água descendente (precipitação) devido à falta de estanqueidade da cobertura também é refletida nos materiais do forro, que acabam se deteriorando. A não realização de manutenção nos forros intensifica a sua deterioração, provocando a perda da sua funcionalidade. Inclusive, identificou-se ausência de parte do forro em alguns laboratórios e zonas dos corredores.



Figura 12 – Irregularidades nas telhas e zonas de instalação de ar-condicionado.
Fonte: O autor (2019).



Figura 13 – Manchas de umidade na laje do shaft - Ala D.
Fonte: O autor (2019).

5. CONCLUSÃO

Através do levantamento das manifestações patológicas foi possível concluir que as manchas e mofos foram as manifestações com maiores ocorrências e influenciaram todos os elementos construtivos analisados nessa pesquisa. O elemento construtivo com maior número de ocorrências foram as vigas, que estiveram ligadas a falta de estanqueidade da cobertura e fachada. Já a corrosão das armaduras foi a manifestação com menor ocorrência.

A realização das inspeções em três períodos diferentes permitiu a análise do comportamento da edificação referente ao seu desempenho frente a falta de estanqueidade da edificação. Os problemas de cobertura estão relacionados a deterioração da impermeabilização e a utilização de sistemas pluviais e de impermeabilização inadequados, além da falta de manutenção e vedação ineficiente das paredes, influenciando na constante degradação dos elementos construtivos que refletem no surgimento das manifestações patológicas. O comportamento em cadeia da degradação é observado devido as maiores conseqüências estarem relacionadas ao primeiro andar da edificação, com a

presença de vazamentos e infiltrações que comprometem a habitabilidade, e o térreo possuir menores influências estando relacionadas à parte externa e vedação.

O grau de risco mínimo foi diagnosticado com maior frequência o que demonstra que a edificação vem dando sinais em relação a queda do desempenho, porém a falta de manuais e frequências nas manutenções acarretam a intensificação dessas manifestações. O total de manifestações com graus médio e crítico somados está próximo ao total de grau mínimo o que demonstra o quão importante é observar os sinais das manifestações como pontos de vazamentos e forros danificados, afim de que se conheça as origens e sejam realizadas intervenções para que esses problemas não retornem. É possível concluir que a durabilidade do Pavilhão de Engenharias e seus sistemas está sendo comprometida com uma conseqüente redução da vida útil. A edificação não possui desempenho mínimo de utilização em função da falta de estanqueidade, o que gera processos de deterioração. Algo inesperado devido ao fato de que a edificação apresenta apenas 6 anos de uso.

Mesmo havendo erros executivos e utilização de materiais inadequados é de extrema importância para a edificação a existência de manuais e o cumprimento das suas orientações durante sua vida útil. Quando não há essa orientação são realizadas intervenções como as que ocorreram no pavilhão, solucionando apenas alguns problemas pontuais e não havendo solução da origem do problema em si. É preciso a realização de manutenção preventiva e corretiva afim preservar o desempenho de projeto, garantindo os requisitos da norma como a habitabilidade, além de reduzir os custos associados a manutenção e recuperação.

6. AGRADECIMENTOS

A Coordenadoria de Infraestrutura e Meio Ambiente – CIMAM da UFRB pelo fornecimento dos projetos arquitetônicos e estruturais que auxiliaram o levantamento de dados e a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) por toda a estrutura disponibilizada.

7. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1989). *NBR 10844: Instalações Prediais de Águas Pluviais*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho*. Rio de Janeiro.

Cechinel, B. M. et al. (2007). “*Infiltração em Alvenaria, estudo de caso em edifício na grande Florianópolis*”. Caderno de publicações acadêmicas. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IF – SC.

Costa Junior, M. P.; Silva, M. G. (2003). A Influência do Processo Produtivo no Controle de Patologias e nos Processos de Manutenção. *Revista Engenharia, Ciência e Tecnologia*, v. 6, n. 4, 2003.

IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. (2012). “*Norma de Inspeção Predial Nacional*”. São Paulo – SP.

Lichtenstein, N. B. (1986). *Patologia das Construções Procedimento para Diagnóstico e Recuperação*. Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Cidade Universitária – SP.

Lima Filho, A. F.; Coelho Filho, M. A.; Heinemann, A. B. (2013). Determinação de épocas de semeadura do feijão caupi no Recôncavo Baiano através do modelo CROPGRO. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 12, p 1294-1300.

- Pina, G. L. (2013). *“Patologia nas habitações populares”*. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da UFRJ, 2013.
- Soares, F. F. (2014). *A importância do Projeto de Impermeabilização em Obras de Construção Civil*. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da UFRJ.
- Souza, M. F. (2008). *Patologias Ocasionadas Pela Umidade Nas Edificações*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG.
- Souza, V. C. M.; RIPPER, T. (1998). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Pini.
- Universidade Federal Do Recôncavo Da Bahia (UFRB). (2019). *Infraestrutura Pavilhão de Engenharia*. Disponível em <<https://www.ufrb.edu.br/cetec/estrutura-administrativa/infraestrutura#pavilhao-de-engenharia>> Acesso em abril de 2019.
- Yazigi, W. (2009). *A Técnica de edificar*. 10. ed. São Paulo: Pini: SindusCon.

CORROSÃO EM RESERVATÓRIO DE CONCRETO ARMADO EM FASE DE OBRA, ESTUDO DE CASO: POTENCIAL DE CORROSÃO, FRENTE DE CARBONATAÇÃO E PREVISÃO DE VIDA ÚTIL

G. Modesti^{1*}, C. C. Albert², L. A. Modesti¹
*Autor de Contato: gmodesti@avalisinos.com.br

¹ Avalisinos Engenharia e Consultoria, Novo Hamburgo, Brasil

² Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio do Sinos, São Leopoldo, Brasil

RESUMO

Este estudo apresenta a análise e diagnóstico de um reservatório de água em concreto armado, com sinais de corrosão e eflorescências, num empreendimento em fase de obra. Foram realizadas inspeções do reservatório, ensaios de potencial de corrosão, frente de carbonatação, análise documental do concreto e foi estimada a evolução da frente da carbonatação ao longo do tempo. A estrutura foi dimensionada para classe de agressividade inferior ao recomendado e vícios construtivos resultaram em cobrimentos insuficientes, concreto mais permeável e avanço prematuro da carbonatação. Potenciais de corrosão mais negativos concentraram-se em zonas de reparos com argamassas com aditivos impermeabilizantes. De acordo com o modelo de previsão de vida útil, a estrutura não terá a durabilidade requerida.

Palavras chave: concreto armado; corrosão; potencial de corrosão; carbonatação; vida útil.

CORROSION IN WATER TANK OF REINFORCED CONCRETE DURING CONSTRUCTION PHASE, CASE STUDY: CORROSION POTENTIAL, CARBONATION DEPTH AND PREDICTED SERVICE LIFE

ABSTRACT

This study presents the analysis and diagnosis of a water tank of reinforced concrete with signs of corrosion and efflorescence, which is part of a building in the construction phase. The tank was inspected, corrosion potential and carbonation depth were measured, the documentary analysis of the concrete was carried out, and the evolution of the carbonation front over time was estimated. The structure was designed for an aggressiveness level lower than the recommended, and construction defects resulted in insufficient concrete cover, more permeable concrete, and premature advance of carbonation. More negative corrosion potentials were concentrated in repair areas with mortars with waterproofing additives. According to the predicted service life model, the structure will not have the required durability.

Keywords: reinforced concrete; corrosion; corrosion potential; carbonation; predicted service life.

CORROSIÓN EN UN TANQUE DE AGUA DE HORMIGÓN ARMADO EN FASE DE CONSTRUCCIÓN, ESTUDIO DE CASO: POTENCIAL DE CORROSIÓN, FRENTE DE CARBONATACIÓN Y VIDA ÚTIL PREVISTA

RESUMEN

Este estudio presenta el análisis y diagnóstico de un tanque de agua de hormigón armado con signos de corrosión y eflorescencia, que forma parte de un edificio en fase de construcción. Se inspeccionó el tanque, se midió el potencial de corrosión y profundidad de carbonatación, se realizó el análisis documental del hormigón y se estimó la evolución del frente de carbonatación en el tiempo. La estructura fue diseñada para un nivel de agresividad menor al recomendado, y los defectos de construcción dieron como resultado una cobertura de concreto insuficiente, concreto más permeable y avance prematuro de carbonatación. Los potenciales de corrosión más negativos se concentraron en las áreas de reparación con morteros con aditivos impermeabilizantes. Según el modelo de vida útil previsto, la estructura no tendrá la durabilidad requerida.

Palabras clave: hormigón armado, corrosión; potencial de corrosión; carbonatación; vida útil.

1. INTRODUÇÃO

A corrosão do aço no concreto armado é a principal responsável pela deterioração precoce das estruturas, conforme Angst (2018). A consequência direta da corrosão é a redução da seção da armadura, podendo resultar em diminuição da resistência mecânica dos elementos e riscos estruturais em casos avançados (Hansson, 2016). Complementarmente, as tensões internas geradas pelos produtos de corrosão provocam a fissuração e o destacamento do concreto de cobrimento, bem como a perda de aderência entre o aço e o concreto. Manchas de produtos de corrosão também podem ser identificadas na superfície da estrutura (Gentil, 2014; Mehta e Monteiro, 2014).

Em condições normais, o ambiente alcalino do concreto proporciona a formação de um filme de passivação no aço, o qual controla a movimentação iônica na interface aço/concreto e protege o metal das reações eletroquímicas de corrosão. Ocorre que agentes agressivos podem desestabilizar e romper este filme protetor, com destaque para o efeito de CO₂ e íons cloreto (Hansson, 2016;

Andrade e Bujak, 2013; Chemrouk, 2015). No caso da carbonatação, o CO_2 atmosférico penetra pela rede de poros do concreto e consome a reserva alcalina de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ da solução de poros, resultando na queda do pH e despassivação da armadura. Já os íons cloreto atacam o filme de passivação pontualmente e catalisam as reações eletroquímicas, gerando corrosão acelerada em pites (Gentil, 2014). A umidade do concreto pode intensificar tais processos, sendo que concretos carbonatados costumam apresentar taxas de corrosão até 100 vezes maiores quando sujeitos a umidade elevada, de acordo com Stefanoni et. al. (2018, 2019). Ainda, ciclos de molhagem e secagem são especialmente críticos para a corrosão.

Para o dimensionamento das estruturas, é essencial determinar o nível de agressividade ambiental a que o elemento estará exposto, conforme disposto na NBR 6118 (ABNT, 2014), visto que o ambiente influencia significativamente a corrosão (Lima, 2011). Para reservatórios em concreto armado, a variação do nível de água e a presença de cloretos na água potável caracterizam condição crítica, requerendo atenção especial dos projetistas. No entanto, esta atenção costuma ser negligenciada, sendo comum o dimensionamento de reservatórios a exemplo do restante da estrutura, apesar do cenário mais agressivo a que o concreto está exposto neste ambiente.

Vícios construtivos podem intensificar os mecanismos de corrosão e antecipar a sua iniciação e, portanto, o final da vida útil da estrutura, conforme Chemrouk (2015). É o caso do mal uso ou ausência de espaçadores durante a execução, implicando em camadas de concreto de cobertura insuficientes para a armadura (Angst et. al., 2020). Concretos muito permeáveis com relações a/c e fcks abaixo do recomendado facilitam o ingresso dos agentes agressivos (Chemrouk, 2015). Além disso, reparos no revestimento da armadura devem ser realizados com materiais de desempenho similar ao concreto do todo, a fim de não gerar gradientes de potencial e induzir o estabelecimento de células eletroquímicas (Gentil, 2014). Uma vez que a corrosão tenha iniciado, destaca-se a importância da realização de diagnóstico especializado para determinar o seu grau de severidade e previsão da vida útil residual da estrutura. Assim, há amparo técnico para a tomada de decisões a respeito dos procedimentos de reparo ou eventual demolição necessários.

Desta forma, o objetivo do estudo é apresentar a inspeção e análise realizada em um reservatório de água superior, em concreto armado, com sinais de corrosão e eflorescências. O elemento é parte de um prédio residencial de padrão construtivo alto, com vinte pavimentos, localizado na região Sul do Brasil. O reservatório possui estrutura, paredes e cobertura em concreto armado, tendo sido concretado há aproximadamente 2 anos, porém ainda fora de uso, pois o empreendimento está em fase de obra. Neste período, o reservatório esteve preenchido com água por apenas cerca de 3 meses, quando surgiram as manifestações patológicas. No restante do tempo, esteve vazio. O procedimento experimental consistiu na inspeção do reservatório, seguido pela realização de ensaios não destrutivos, com verificação da profundidade de carbonatação e potencial de corrosão da estrutura. A partir destes resultados e da análise documental do concreto, foi estimada a evolução da frente da carbonatação ao longo do tempo, pelo modelo de Possan (2010), a fim de determinar a vida útil da estrutura do reservatório em diferentes cenários. Reforça-se a importância da análise da corrosão em estruturas reais, a fim de integrar o conhecimento científico à aplicação prática na construção civil, processo ainda em avanço lento na realidade brasileira.

2. METODOLOGIA

Verificou-se, por meio de análise visual, a existência de manifestações patológicas, realizando-se o mapeamento destas. Estas foram analisadas frente à idade da estrutura e métodos construtivos, baseando-se em anamnese prévia. A inspeção foi restrita ao compartimento do reservatório acima da “Laje 4”, indicado na Figura 1, tendo em vista que as manifestações patológicas se repetem da mesma forma em todos os outros compartimentos, porém em menor grau.

Conforme informações do projeto estrutural, foi previsto concreto com $f_{c_k} = 30$ MPa, cobrimentos para laje em 20 mm e cobrimentos para vigas e pilares em 25 mm. O concreto foi definido com relação a/c de 0,55 e consumo mínimo de cimento de 320 kg/m³. Sendo assim, deduz-se que foi considerada a classe de agressividade ambiental (CAA) III (agressividade forte) na relação a/c, consumo de cimento e f_{c_k} . Já para os cobrimentos, o projeto considerou a classe de agressividade ambiental (CAA) II, com redução de 5 mm no cobrimento, em função de ter sido adotado concreto com classe de resistência acima do mínimo para a classe desta zona de agressividade, em consonância com a NBR 6118 (ABNT, 2014). Importante destacar que os cobrimentos nominais especificados na normativa consideram uma tolerância (Δc) de 10 mm (erro de execução aceitável). Desta forma, é admissível, após a finalização da execução, 10 mm a menos do que o especificado para garantir o atendimento ao seu critério. Ou seja, em vigas e pilares da CAA II, onde está especificado cobrimento nominal de 30 mm, se admite, após a execução, cobrimento mínimo de 20 mm.

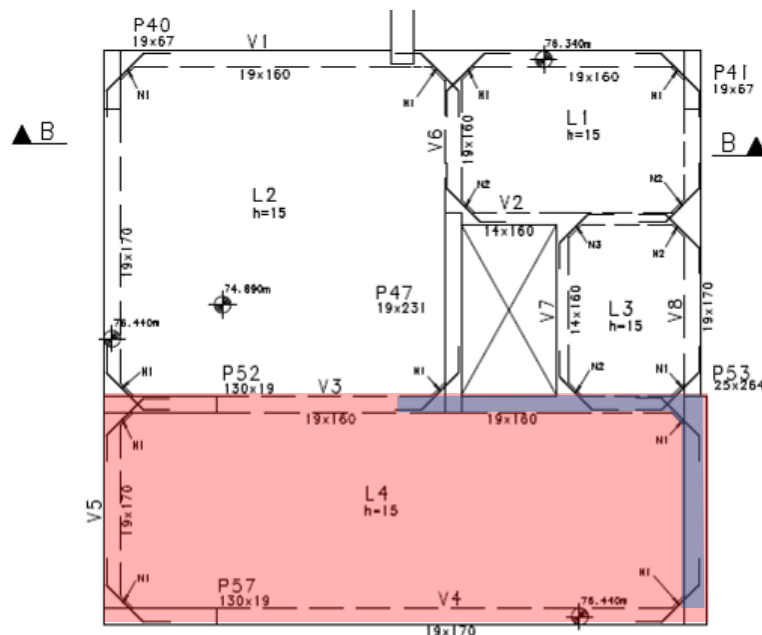


Figura 1. Indicação (em vermelho) do compartimento inspecionado, com destaque (em cinza) para zona de medição dos potenciais de corrosão.

Em relação ao concreto utilizado, foi informado pela incorporadora, que na dosagem fora adicionado aditivo impermeabilizante por cristalização. Entretanto, não consta na “carta traço” apresentada pelo fornecedor de concreto informações relativas ao produto. Complementarmente, os furos dos travamentos das formas foram tamponados com argamassa com aditivo impermeabilizante que, conforme informações do fabricante, costuma atingir 40 MPa aos 28 dias. Foi informado que o controle tecnológico do concreto indicou que foi atendido o f_{c_k} especificado para o concreto do reservatório.

2.1 Ensaios não destrutivos

Realizou-se o ensaio de pacometria para identificação da posição das armaduras a fim de balizar o ensaio de potencial de corrosão. O ensaio de potencial seguiu as recomendações da RILEM TC154-EMC (RILEM, 2003) e da ASTM C876 (ASTM, 2015). Tal análise foi restrita a 25% da área de paredes na V03 (metade da área de parede) e P53 (totalidade), tendo em vista a repetição das manifestações patológicas ao longo da estrutura. A Figura 1 indica a zona de ensaios, em azul.

No procedimento do potencial de corrosão, foi realizada pré-molhagem de toda a superfície de medição, conforme o “Método A” da ASTM C876 (ASTM, 2015). O eletrodo de referência utilizado foi de Cobre/Sulfato de Cobre (Cu/CuSO₄). Foi utilizado grid de aproximadamente 0,30 m entre pontos de medição na parte central dos vergalhões horizontais e verticais, com verificações pontuais em locais com presença de óxido de ferro. Ressalta-se que o ensaio foi realizado com temperatura aproximada de 15°C, sem precipitação nos cinco dias anteriores ao ensaio. A Figura 2 ilustra a medição do potencial de corrosão, com conexão do voltímetro à armadura e movimentação do eletrodo de referência ao longo da estrutura.

A análise de resultados se deu por meio de mapas de contorno equipotenciais, conforme item 9 da ASTM C876 (ASTM, 2015) e item 6.6.1 da RILEM TC154-EMC (RILEM, 2003), visando identificar pontos de maior probabilidade de despассивação de armaduras e corrosão. Baseado nestes levantamentos, determinaram-se os locais para verificação das condições reais das armaduras por meio de janela de inspeção, bem como da posição da frente de carbonatação e do cobrimento efetivo. Ao total, foram abertas 12 janelas de inspeção. A frente de carbonatação foi determinada por meio da aspersão de timolftaleína (1% em solução) que assume cor azul em pH acima de 10,5 e torna-se incolor em pH inferior à 10,5, conforme a Figura 2.

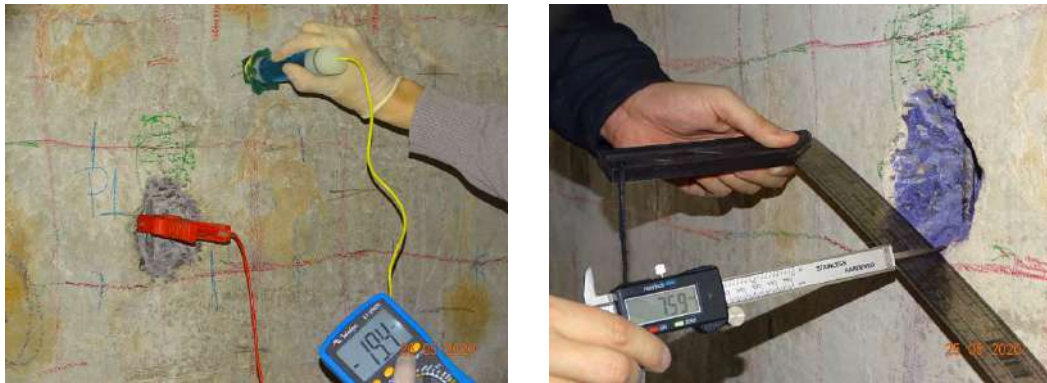


Figura 2. Exemplo da verificação do potencial de corrosão, frente de carbonatação e cobrimentos.

2.2 Previsão da vida útil

As informações coletadas, somadas ao controle tecnológico do concreto, especificações de projeto e das normas pertinentes, foram utilizadas em modelo de previsão de vida útil, buscando verificar a probabilidade de atendimento aos critérios de vida útil previstos na NBR 15575-2 (ABNT, 2013). Utilizou-se o modelo de Possan (2010), exposto em (1), para previsão de carbonatação, tendo em vista ter sido elaborado considerando o estado da arte nacional bem como as características dos produtos nacionais (ex: cimento). O modelo de carbonatação foi utilizado pois, até o momento da inspeção, o reservatório esteve durante a maior parte do tempo vazio, com influência mínima de cloretos e mais relacionada à carbonatação. As variáveis consideradas são expostas na Tabela 1.

$$y = k_c \left(\frac{20}{f_c} \right)^{k_\varepsilon} \cdot \left(\frac{t}{20} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \exp \left[\left(\frac{k_{ad} \cdot ad^{\frac{3}{2}}}{40 + f_c} \right) + \left(\frac{k_{co_2} \cdot CO_2^{\frac{1}{2}}}{60 + f_c} \right) - \left(\frac{k_{UR} \cdot (UR - 0,58)^2}{100 + f_c} \right) \right] \cdot k_{ce} \quad (1)$$

Tabela 1. Variáveis adotadas no modelo de previsão de vida útil de Possan (2010).

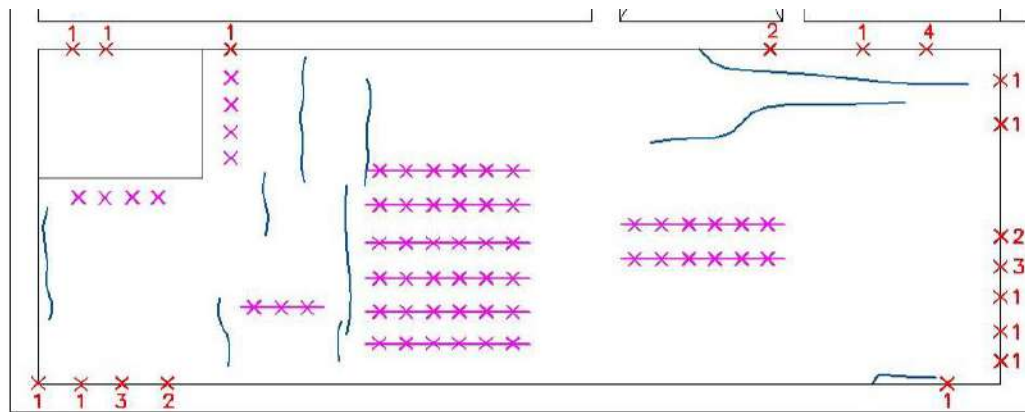
Variável	Cimento CP II F	Descrição da variável
----------	--------------------	-----------------------

y		profundidade de carbonatação média do concreto em mm
fc	30 MPa	resistência característica à compressão axial do concreto, em MPa. Variado em +/- 5 MPa para determinação dos cenários otimista e pessimista. Mesmo procedimento realizado considerando f_{ck} da CAA III e ABNT NBR 12655
kc	21,68	fator variável referente ao tipo de cimento empregado (CP II F)
kfc	1,5	fator variável referente à resistência à compressão axial do concreto, em função do tipo de cimento utilizado (CP II F)
t	variável	idade do concreto, em anos, variando de 0 a 53 anos (50 anos de VUP + 3 anos de execução)
ad	0	teor de adição pozolânica no concreto, em % em relação à massa de cimento
kad	0,24	fator variável referente às adições pozolânicas do concreto, em função do tipo de cimento utilizado
UR	0,76	umidade relativa média, em %*0,01, vide dados históricos.
kur	1100	fator variável referente à umidade relativa, em função do tipo de cimento utilizado (CP II F)
CO2	0,0415	teor de CO2 da atmosfera, em %, equivalente a 415 ppm.
kco2	18	fator variável referente ao teor de CO2 do ambiente, em função do tipo de cimento utilizado (CP II F)
kce		fator variável referente à exposição à chuva, em função das condições de exposição da estrutura
Observação: O fator kce foi considerado como 1,30, equivalente à ambiente interno protegido da chuva e sem água até os 3 anos (obras). Durante o uso foi reduzido para 0,65 por estar submerso. Variado em +/- 10% para determinação dos cenários otimista e pessimista.		

3. RESULTADOS

Foram identificadas as seguintes manifestações patológicas na superfície do reservatório, indicando em croqui sua posição na Figura 3. As Figuras 4 e 5 exemplificam os danos.

- Armaduras aparentes na laje de cobertura e nas mísulas, devido ao cobrimento insuficiente dos vergalhões;
- Corrosão das armaduras aparentes;
- Manchas de produtos de corrosão pontuais com lixiviação de produtos pulverulentos e de cor marrom;
- Eflorescências na laje de cobertura, devido à lixiviação de sais solúveis presentes no concreto.



Legenda

- × Pontos com bolhas de corrosão na viga-parede
- × Pontos com bolhas de corrosão na laje de teto
- ××× Armaduras aparentes
- Eflorescência

Figura 3. Mapeamento das manifestações patológicas no reservatório analisado.



Figura 4. Armaduras em processo de corrosão e eflorescências molhadas, pela infiltração de água que ocorre na laje superior (face superior ainda sem impermeabilização).



Figura 5. Exemplo de armadura aparente na mísula e de pontos de corrosão (bolhas) de arames nas vigas parede.

As armaduras aparentes e corrosão provocadas pela deficiência de cobrimento estão diretamente relacionadas à execução, sendo provocadas pela utilização inadequada dos espaçadores, seja pelo elevado espaçamento entre si ou por movimentações durante a concretagem (pressão e vibração).

As eflorescências estão relacionadas à precipitação de sais solúveis que são carregados à superfície pela presença de umidade (Menezes et. al., 2006). Junginger e Medeiros (2002) complementam que a manifestação patológica tende a ocorrer quando há coexistência de: água, sais solúveis em água e condições ambientais e de estrutura que proporcionem a percolação e evaporação da água (fluxo de água). É o caso de concretos porosos, devido à relação a/c elevada, e em ambientes com umidade, como o verificado no reservatório. Por fim, ressalta-se que não foram identificadas fissuras com abertura superior ao limite estabelecido na NBR 6118 (ABNT, 2014).

3.1 Mapas de potencial de corrosão

O ensaio de potencial de corrosão foi realizado nas partes previamente indicadas do reservatório, englobando a viga V3 e parte da P53. Apresenta-se nas Figuras 6 e 7 os mapas de contorno equipotenciais para os elementos analisados, indicando, em caixas cinza, as janelas para conexão do equipamento e, em círculos roxos, os locais de janela de inspeção abertas posteriormente. Todos os potenciais são em relação ao eletrodo padrão Cu/CuSO₄.

A partir da análise da distribuição dos potenciais da Figura 8, verifica-se que 83% dos potenciais identificados estão entre -10mV e -70 mV, 8% estão entre -70mV e -100mV e 11% entre -100mV e -142mV. Os picos mais eletronegativos estão em locais adjacentes às vedações com argamassa com aditivo impermeabilizante, onde se atinge potenciais de até -142mV, destoando do restante. Os gradientes de potencial são pequenos e, de forma geral, indicam a passivação das armaduras.

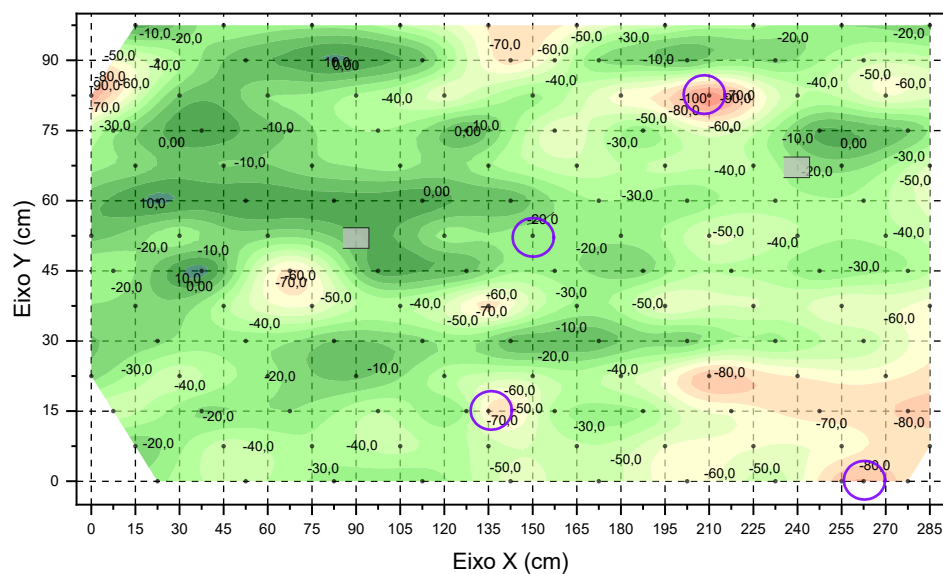


Figura 6. Mapa de linhas de contorno equipotenciais para a V3 (parede longitudinal).

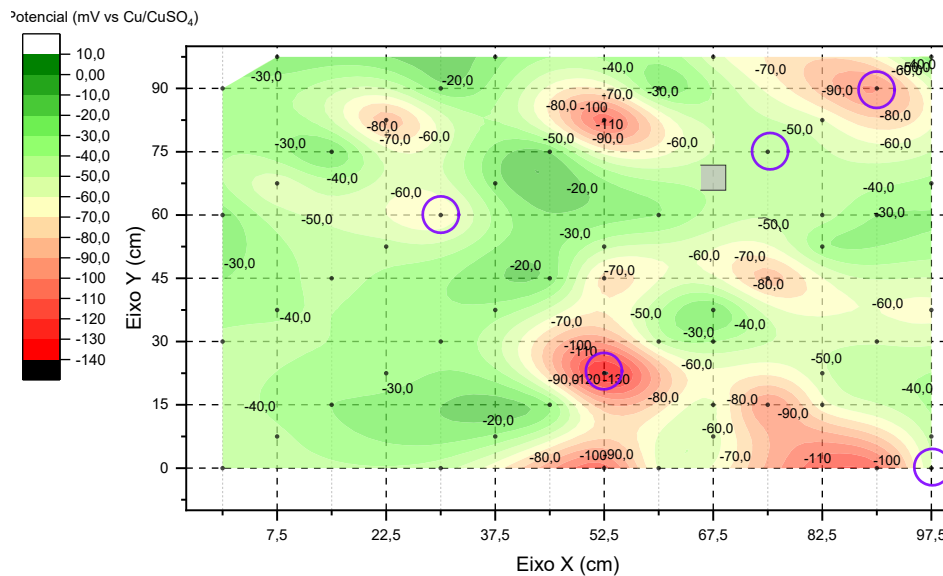


Figura 7. Mapa de linhas de contorno equipotenciais para o P53 (parede transversal).

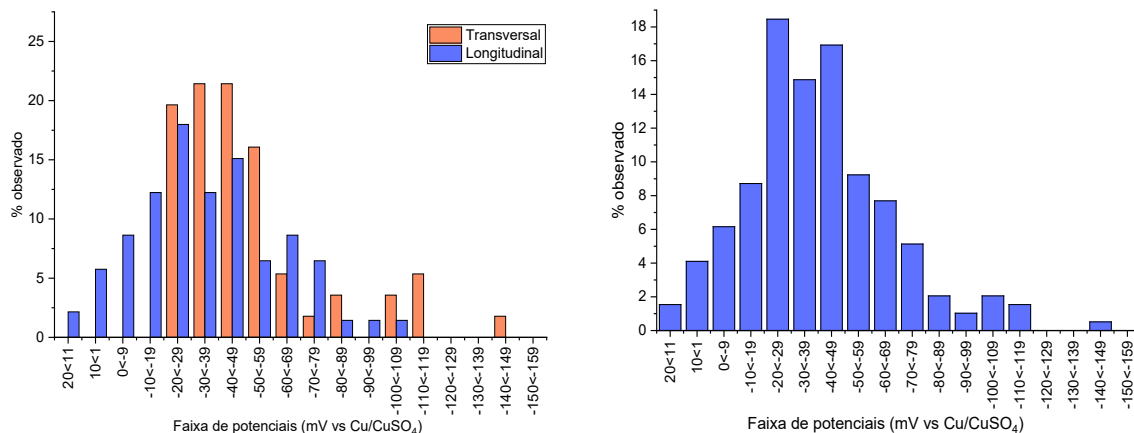


Figura 8. Distribuição dos potenciais para (a) cada parede e (b) considerando o conjunto.

3.2 Janelas de inspeção, frente de carbonatação e estado das armaduras

A partir do mapeamento, selecionaram-se 9 locais adicionais (somados às 3 janelas originais para conexão do equipamento) para abertura de janelas de inspeção, exibidos na Figura 9. Foram selecionados pontos em 3 situações distintas:

- Potenciais dentro da faixa média para constatação da situação geral das armaduras;
- Potenciais em valores mais eletronegativos, para identificação da pior situação das armaduras;
- Potenciais em regiões de gradientes elevados, para identificação de eventuais despassivações localizadas.



Figura 9. Indicação das janelas de inspeção.

Apresenta-se na Tabela 2 a frente de carbonatação e cobrimentos das janelas de inspeção. Verificou-se uma frente de carbonatação média de 4,6 mm após 2 anos, com média mínima em uma janela específica de 2,1 mm (janela 9) e máxima de 6,7 mm (janela 3). Em relação aos cobrimentos, em sua maioria estão entre 11,5 mm e 18,8 mm, com duas janelas iguais ou inferiores a 4,0 mm e uma atingindo 30,3 mm.

Tabela 2. Frentes de carbonatação e cobrimentos das janelas de inspeção.

Janela	Ecorr (mV)	Frente de carbonatação (mm)				Cobrimento (mm)		CAA II NBR 6118	Corrosão	Observação
		1	2	3	Média					
1	-	4,6	4,6	7,6	5,6	30,3	30,3	Sim	Não	Passivado
2	-	4,3	3,7	5,3	4,4	14,5	14,5	Não	Não	Passivado
3	-	8,2	5,0	7,0	6,7	18,8	18,8	Sim	Não	Passivado
4	-75	3,4	5,6	2,8	4,0	11,5	11,5	Não	Não	Passivado, corrosão no arame
5	-27	6,8	5,5	3,5	5,3	17,1	17,1	Sim	Não	Passivado
6	-108	8,3	4,4	0,0	4,2	18,2	18,2	Sim	Não	Passivado (Adit. Imp.)
7	-87	5,1	2,4	2,9	3,5	3,6	3,6	Não	Sim	Corrosão ponta sem cobrimento
8	-67	4,3	4,0	3,3	3,9	13,7	13,7	Não	Não	Passivado
9	-142	0,8	5,6	0,0	2,1	15,6	11,6	Não	Não	Passivado (Adit. Imp.)
10	-45	5,3	8,3	6,2	6,6	13,1	13,1	Não	Não	Passivado
11	-101	3,6	2,9	3,1	3,2	21,5	21,5	Sim	Não	Passivado (Adit. Imp.)
12	-51	5,7	3,8	6,4	5,3	4,0	4,0	Não	Sim	Corrosão arame e gancho

Nota-se que, das 12 janelas, apenas em cinco situações o cobrimento atende ao mínimo previsto para a CAA II de 15 mm para vigas e pilares (25 mm – 10 mm). Nos demais casos, o cobrimento restou inferior ao necessário. Nenhuma armadura atenderia a CAA IV. Nas janelas 7 e 12, exibidas na Figura 10, constatou-se princípio de corrosão do aço. Isso ocorre devido ao baixo cobrimento já atingido pela frente de carbonatação, resultando na despassivação daquelas armaduras. Especificamente em relação à janela 12, o cobrimento de 4 mm se refere a um gancho que se desprende da malha durante a concretagem, sendo que o cobrimento das armaduras principais foi de 13 mm, ainda aquém do necessário para atendimento à NBR 6118 (ABNT, 2014), porém suficiente para mantê-la passivada nas condições atuais.



Figura 10. Detalhe do gancho da J12 e do vergalhão com cobrimento mínimo na J7, ambos com princípio de corrosão.

Comparando a situação real com os potenciais verificados, nota-se que aqueles inferiores a -100 mV se referem a locais próximos de reparos com a argamassa com aditivo impermeabilizante. Nestas regiões, pelas diferenças de aeração, umidade e porosidade do meio, estabelece-se uma diferença de potencial nas armaduras, sem relação com probabilidade de corrosão (pois permanece passivada). A diferença entre a maior distribuição de potenciais (-40 mV) indicativos de passivação e daqueles com indícios de início de corrosão foi de aproximadamente 40 mV.

Quanto à passivação das armaduras, as janelas de inspeção comprovam a situação estimada pelo ensaio de potencial de corrosão, de passivação majoritária das armaduras, tendo em vista que a frente de carbonatação, na situação atual, é inferior ao cobrimento de concreto. As exceções ocorrem nos locais com cobrimentos inferiores a 5 mm nas lajes e paredes.

Adicionalmente, foram abertas janelas de inspeção superficiais nos locais com pontos de corrosão. Identificou-se que a corrosão era proveniente dos arames que restaram superficiais, dentro da faixa já despassivada, porém a armadura principal estava passivada. A corrosão acelerada destes locais (manchas) ocorreu quando houve o enchimento do reservatório, que aumentou a umidade superficial porque o concreto estava poroso (o que acelerou a carbonatação) e a armadura era superficial, situações que aceleraram o processo corrosivo.

3.3 Análise das características do concreto

Em relação a NBR 6118 (ABNT, 2014), constatou-se pela documentação que o concreto fornecido possui relação a/c de 0,67 (205 l de água para 308 kg de cimento), superior ao limite máximo de 0,60 especificado para a CAA II, acima de 0,50 pela NBR 12655 (ABNT, 2015) e acima de 0,55 especificado pelo projetista. Isto provocou concreto com maior porosidade e permeabilidade a agentes agressivos, até o momento CO_2 e, durante o uso, cloretos presentes na água do reservatório. Nas condições atuais, com o reservatório vazio, considerando a umidade relativa média anual da região de 76%, tem-se maior velocidade de carbonatação, porém baixa velocidade de corrosão quando despassivado. Uma vez cheio de água, a velocidade de carbonatação tende a diminuir, pois o concreto estará saturado. Entretanto, as zonas de molhagem e secagem, como a face inferior da tampa superior e zonas próximas ao topo, tendem a ter umidade em faixa de corrosão acelerada.

A resistência à corrosão das armaduras por cloretos é determinada pela relação entre hidroxilas (pH) e os íons cloretos livres (Cl^-), conhecida como relação $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ (Andrade e Bujak, 2013). À medida que ocorrer o ingresso de cloretos (fase de uso), as zonas carbonatadas, onde o pH do concreto é menor, apresentarão menor resistência a estes agentes agressivos. Isso ocorre porque a sua resistência está diretamente relacionada com a quantidade de hidroxilas na solução dos poros do concreto (maior teor crítico de cloretos em pH elevado (Modesti, 2020; Revert et. al., 2018). Como consequência, tem-se a maior probabilidade de corrosão por cloretos nos locais com pH reduzido, com período de iniciação mais curto pelo efeito combinado de cloretos e carbonatação (Figueira et. al., 2018; Zhu et. al., 2016).

Reforça-se que foram consideradas em projeto as características para classe de agressividade ambiental II e III. Porém, no caso de reservatórios de água cuja superfície esteja diretamente exposta à água tratada (que possui cloretos), como a projetada, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), o reservatório deveria ter cobrimento enquadrado como CAA IV (cobrimento de 50mm para vigas e 45mm para lajes), vide alínea C da Tabela 7.2 da norma. Complementarmente, a NBR 12655 (ABNT, 2015) especifica que em reservatórios, considera-se $f_{ck} \geq 35$ MPa e relação $a/c \leq 0,50$. Portanto, verifica-se que o projeto não atendeu a estes requisitos.

3.4 Modelos de previsão de vida útil

Considerando a frente de carbonatação real e as características do concreto empregado, utilizou-se o modelo de Possan (2010) para previsão da evolução da frente de carbonatação ao longo da fase de uso. O modelo foi ajustado para considerar que a presença de água. Embora a velocidade de corrosão por carbonatação seja mínima no trecho da estrutura saturado, no trecho próximo ao topo e na tampa superior, há molhagem e secagem, acelerando este processo. Além disso, a redução de pH também provoca a diminuição da resistência à cloretos, sendo importante a sua determinação. Não foram utilizados modelos de evolução de cloretos, devido às incertezas existentes na sua utilização em estruturas novas, ainda sem presença efetiva do agente agressivo. Entretanto, considerando a alta permeabilidade do concreto, provocado pela elevada relação a/c, entende-se

muito provável que o agente agressivo atinja a armadura, assim como no caso da carbonatação. Foram feitas três simulações partindo da situação que atende a CAA (classe de Agressividade Ambiental) IV, depois CAA II, por fim a situação atual.

3.5.1 Projeção com concreto atendendo a NBR 12655 e cobrimentos atendendo a CAA IV da NBR 6118

A Figura 11 exibe a evolução da frente de carbonatação ao longo do tempo para as condições ideais de atendimento à NBR 12655 (ABNT, 2015) para as características do concreto e cobrimentos relativos à CAA IV da NBR 6118 (ABNT, 2014). Neste caso, com adequação aos itens mais conservadores das normativas, a frente de carbonatação não atingiria as lajes nem as vigas parede durante toda a vida útil da estrutura, com margem de segurança superior à 25 mm (pois a carbonatação se torna irrelevante frente aos cloretos). Portanto, esta é a situação ideal que garantia segurança estrutural ao reservatório por todo o período.

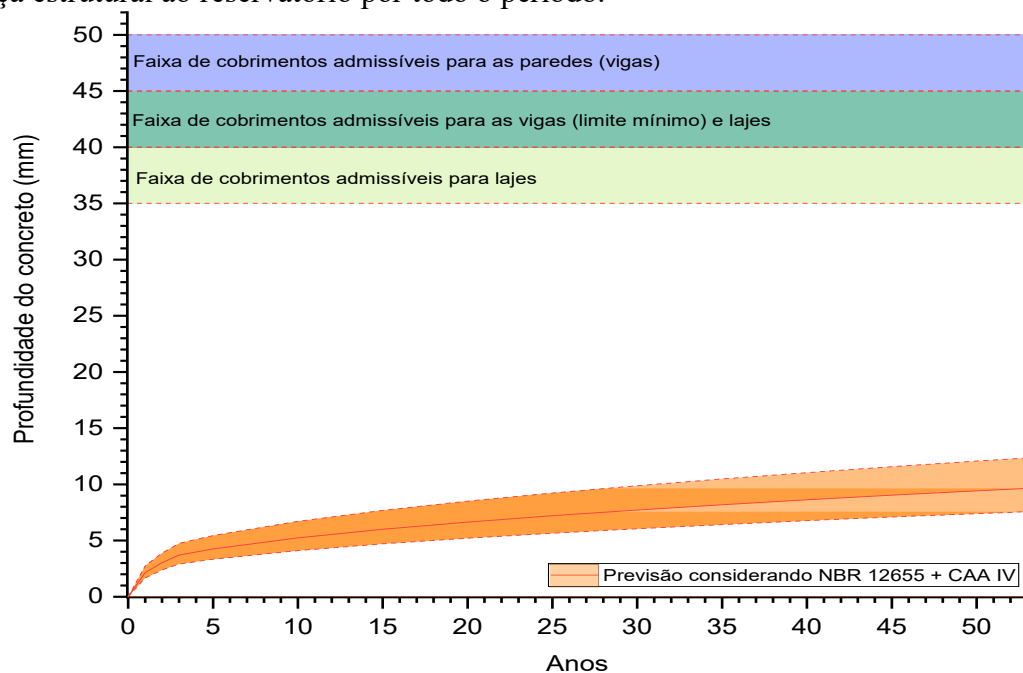


Figura 11. Evolução da frente de carbonatação para concreto atendendo a NBR 12655 e cobrimentos atendendo a CAA IV da NBR 6118.

3.5.2 Projeção com mesmo concreto do projeto e cobrimentos atendendo a CAA II da NBR 6118

Nesta segunda situação, adotou-se o concreto mais poroso e com menor f_{c_k} utilizado na situação real, mas considerando-se os cobrimentos determinados na NBR 6118 (ABNT, 2014) para a CAA II, especificados em projeto. Os resultados são apresentados na Figura 12.

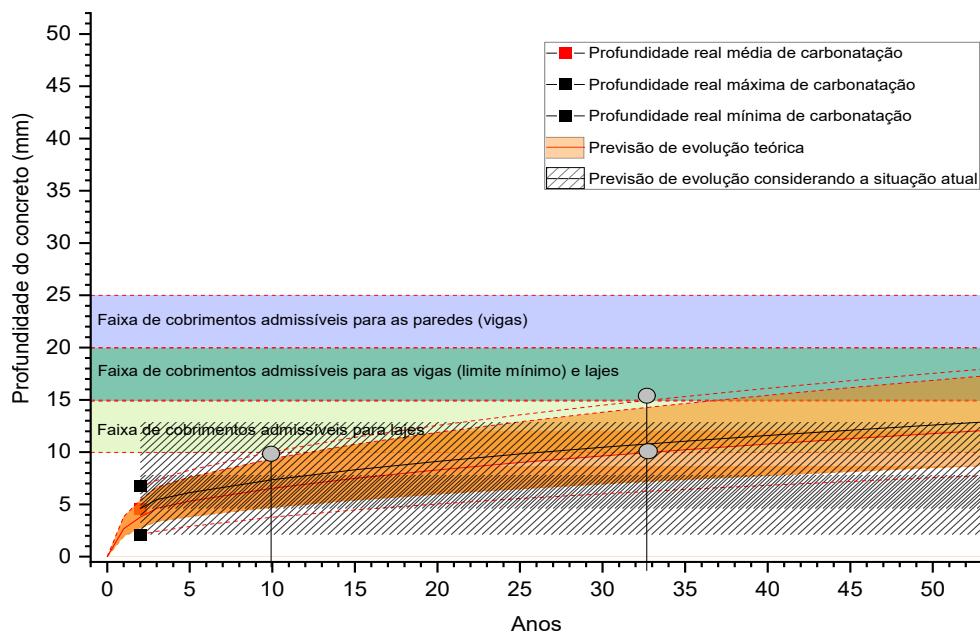


Figura 12. Evolução da frente de carbonatação para concreto do projeto e cobrimentos atendendo a CAA II da NBR 6118.

A frente de carbonatação poderia atingir as armaduras das lajes somente em 10 anos (nas condições atuais, já ocorreu em 2 anos) de forma localizada e pontual. É mais provável que isto iniciasse somente após 30 anos, com pequena probabilidade de que a frente de carbonatação não atingisse as armaduras. Por outro lado, a frente de carbonatação poderia atingir as armaduras das vigas parede somente após 30 anos (nas condições atuais, já ocorreu em 2 anos) de forma localizada e pontual, sendo possível que não houvesse despassivação generalizada durante os 50 anos de vida útil. Portanto, mesmo com a utilização do concreto inadequado, caso os cobrimentos utilizados respeitassem a normativa NBR 6118 (ABNT, 2014), a vida útil da estrutura seria prolongada.

3.5.3 *Projeção na situação real, com concreto mais poroso, menor f_{c_k} e menor cobrimento*

Apresenta-se na Figura 13 a evolução da frente de carbonatação ao longo dos anos (hachurado em linhas cinzas), o cobrimento mínimo e máximo identificado nas janelas de inspeção, bem como a faixa usual de cobrimentos. Faz-se a ressalva que na laje de cobertura existem armaduras aparentes, que já estão despassivadas e em processo de corrosão.

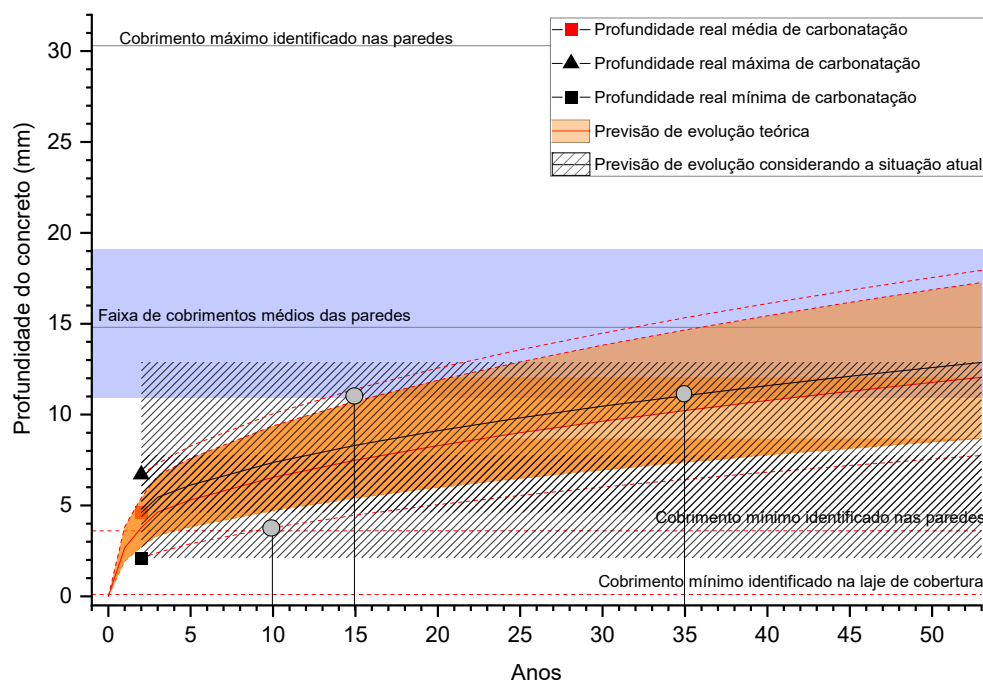


Figura 13. Evolução da frente de carbonatação ao longo dos anos na situação real, com concreto mais poroso, menor f_{ck} e menor cobrimento.

A partir do modelo de previsão de vida útil, é possível determinar que:

- Cobrimentos inferiores a 5 mm já tendem a estar despassivados, indicado pelas manchas de corrosão existentes;
- A partir dos 10 anos da estrutura, os locais despassivados tendem a aumentar progressivamente, pela frente de carbonatação mínima atingir os cobrimentos mínimos;
- Locais com cobrimentos na faixa média de cobrimentos, entre 11 e 18 mm, tendem a iniciar a despassivação a partir dos 15 anos, com probabilidade alta a partir dos 35 anos, quando a frente de carbonatação média atinge esta espessura;
- Há alta probabilidade de que os agentes agressivos atinjam os cobrimentos médios durante os 50 anos de vida útil previstos na NBR 15575-1 (ABNT, 2013);
- A existência de frentes de carbonatação superiores ao máximo determinado pelo modelo de previsão de vida útil na idade atual provavelmente está relacionado à alta relação a/c , superior aos limites da NBR 6118 (ABNT, 2014).

4. CONCLUSÃO

Após as análises realizadas, constatou-se que as manifestações patológicas existentes relacionadas à corrosão devem-se à deficiência de cobrimento das armaduras do reservatório, ou seja, à fase de execução. Os pontos de corrosão isolados que se manifestam nas paredes são, em sua maioria, ocasionados por arames que restaram superficiais e despassivaram por carbonatação do concreto de cobrimento. As manchas e aglomerados de produtos de corrosão que surgiram na superfície foram ocasionados pela despassivação por carbonatação das armaduras que tiveram corrosão acelerada, uma vez que o reservatório foi preenchido temporariamente com água e houve aumento de umidade no local. Por outro lado, as eflorescências estão relacionadas à lixiviação de sais solúveis, se manifestando na laje de cobertura onde, na face superior (externa) há acúmulo de água da chuva que penetra no concreto e provoca a lixiviação na face inferior.

Da análise dos materiais utilizados e informações recebidas, verificou-se que o concreto fornecido possui relação a/c acima do limite especificado na NBR 6118 (ABNT, 2014) para qualquer classe de agressividade ambiental (CAA). Ainda, a normativa indica a necessidade de ser considerado nestes casos os cobrimentos da CAA IV e a NBR 12655 (ABNT, 2015) especifica maior fck e menor relação a/c, sendo que no projeto foi considerada a CAA III para o concreto e CAA II para os cobrimentos.

A existência de pontos de corrosão nesta fase impossibilita o atendimento à vida útil da NBR 15575-1 (ABNT, 2013). A partir dos ensaios eletroquímicos, janelas de inspeção e modelos de previsão de vida útil, determinou-se que há alta probabilidade de que a estrutura tenha novos locais com corrosão, não atingindo a vida útil de 50 anos especificado na Norma. Isto ocorre, pois as características do concreto utilizado e cobrimentos existentes são insuficientes para garantir a durabilidade necessária.

As verificações de durabilidade foram determinadas através de modelos de previsão de vida útil para carbonatação, fenômeno que vêm ocorrendo antes do preenchimento do reservatório e que continuará a ocorrer nas zonas de molhagem e secagem do reservatório (partes superiores e tampa, por exemplo). Não foram utilizados modelos de previsão de vida útil por cloretos, tendo em vista as incertezas dos modelos existentes para estruturas novas, onde ainda não houve penetração deste agente agressivo.

Conforme recomendações da NBR 16747 (ABNT, 2020), as manifestações patológicas e o prognóstico da estrutura indicam a inexistência de durabilidade adequada para a estrutura, trazendo, caso não sejam realizadas adequações, prejuízos à segurança do elemento estrutural. O item é enquadrado como oriundo da fase de projeto e de execução e possui prioridade de reparo elevada, pois provoca a perda de desempenho, compromete a durabilidade e eleva demasiadamente o custo de manutenção.

5. REFERÊNCIAS

- Andrade, C., Buják, R. (2013), Effects of some mineral additions to Portland cement on reinforcement corrosion. *Cement and Concrete Research*. (53):59-67. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.06.004>
- Angst, U. M. (2018), Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete. *Materials and Structures*, 51(1):1-20. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1131-6>
- Angst, U., Moro, F., Geiker, M., Kessler, S., Beushausen, H., Andrade, C., ..., Serdar, M. (2020), Corrosion of steel in carbonated concrete: mechanisms, practical experience, and research priorities—a critical review by RILEM TC 281-CCC. *RILEM Technical Letters*. (5):85-100. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2020.127>
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2015). *NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2020). *NBR 16747: Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento*. Rio de Janeiro.
- ASTM International. (2015). *ASTM C876-15 Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*. <https://doi.org/10.1520/C0876-15>
- Chemrouk, M. (2015). The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete. *Procedia Engineering*, 125, pp. 713-724. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.112>

- Figueira, R. B., Sadovski, A., Melo, A. P., Pereira, E. V. (2017), Chloride threshold value to initiate reinforcement corrosion in simulated concrete pore solutions: The influence of surface finishing and pH. *Construction and Building Materials*. (141):183-200. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.004>
- Gentil, V. (2014), “*Corrosão*”. 6. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, p. 360.
- Hansson, C. M. (2016), An introduction to corrosion of engineering materials. In: Poursae A. “*Corrosion of Steel in Concrete Structures*”. [s. l.], Woodhead Publishing, pp. 3-18.
- Junginger, M., Medeiros, J. S. (2002). Ação da eflorescência de carbonato de cálcio sobre o vidro de placas cerâmicas. *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. (9).
- Lima, M. G. (2011), Ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto. In: Isaia, G. C. “*Concreto: Ciência e Tecnologia*”, São Paulo, IBRACON, v. 1, cap. 21, pp.733-772.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (2014), “*Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais*”. 2 ed. São Paulo, IBRACON, p. 751.
- Menezes, R. R., Ferreira, H. S., Neves, G. D. A., Ferreira, H. C. (2006), Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção-revisão. *Cerâmica*, 52(321): 37-49.
- Modesti, G. (2020), “*Avaliação do efeito da composição da solução dos poros na qualidade da passivação e resistência à corrosão da armadura do concreto*”, Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, p. 130.
- Possan, E. (2010), “*Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano*”, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, p. 260.
- Revert, A. B., De Weerd, K., Hornbostel, K., Geiker, M. R. (2018), Carbonation-induced corrosion: Investigation of the corrosion onset. *Construction and Building Materials*. (162):847-856. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.066>
- RILEM, T.C. (2003), “Recommendations of RILEM TC 154-EMC: electrochemical techniques for measuring metallic corrosion half-cell potential measurements—potential mapping on reinforced concrete structures,” *Materials and Structures*, 36(261):61-471.
- Stefanoni, M., Angst, U. M., Elsener, B. (2018), Electrochemistry and capillary condensation theory reveal the mechanism of corrosion in dense porous media. *Scientific reports*, 8(1):1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25794-x>
- Stefanoni, M., Angst, U. M., Elsener, B. (2019), Kinetics of electrochemical dissolution of metals in porous media. *Nature materials*, 18(9):942-947. <https://doi.org/10.1038/s41563-019-0439-8.03.132>
- Zhu, X., Zi, G., Cao, Z., Cheng, X. (2016), Combined effect of carbonation and chloride ingress in concrete. *Construction and Building Materials*, (110):369-380. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.034>

Inspeção Predial em Edifício Histórico – Estudo de Caso da Capela de Leitão da Cunha no Município Trajano de Moraes – RJ

A. C. G. Lessa¹, R. G. Faisca^{2*}, P. F. P. C. Fazzioni³, C. S. T. Carmo⁴, N. A. Bernardino⁵
*renatafaisca@id.uff.br

¹ Graduanda do Curso Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil

² Docente do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil

³ Doutor em Engenharia Civil, Empresa TSR, Niterói, RJ, Brasil

⁴ Doutorando em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

⁵ Mestrando do Curso de Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil

RESUMO

O artigo fundamenta-se na área de Engenharia Diagnóstica. Objetiva-se a Inspeção Predial, a classificação dos níveis de criticidade das manifestações patológicas, empregando-se a metodologia GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), e a determinação das possíveis soluções construtivas às fachadas e cobertura da Capela de Leitão da Cunha, localizada em Trajano de Moraes, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Ademais. Foi feita uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos, livros técnicos e normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, destacando-se a ABNT NBR 16747:2020, recentemente publicada. A inspeção limitou-se às fachadas do edifício e sua cobertura devido à inacessibilidade ao seu interior. Por ser uma edificação antiga, concluiu-se que seu estado não está em deterioração avançada, o que facilita um plano de manutenção predial adequado.

Palavras-chave: Inspeção Predial; Edifícios Históricos; Engenharia Diagnóstica; Manifestações Patológicas.

ABSTRACT

The article is based on the area of Diagnostic Engineering. The objective of the Building Inspection is to classify the criticality levels of pathological manifestations, applying the GUT (Gravity, Urgency and Trend) method, and determine the possible constructive solutions to the facades and coverage of the Leitão da Cunha Chapel, located in Trajano de Moraes city, State of Rio de Janeiro, Brazil. In addition, a bibliographic search was carried out on scientific articles, technical books, and technical standards of the Brazilian Association of Technical Standards, highlighting the recently published ABNT NBR 16747: 2020. The inspection was limited to the building's façades and their coverage due to the inaccessibility to the interior area. As it is an old building, it was concluded that its condition is not in advanced deterioration, which facilitates an adequate building maintenance plan.

Keywords: Building Inspection; Historic Buildings; Diagnostic Engineering; Pathological Manifestations.

RESUMEN

El artículo está basado en el área de Ingeniería Diagnóstica. El objetivo de la Inspección de Edificación es clasificar los niveles de criticidad de las manifestaciones patológicas, aplicando la metodología GUT (Gravedad, Urgencia y Tendencia), y determinar las posibles soluciones constructivas a las fachadas y cobertura de la Capilla Leitão da Cunha, ubicada en Trajano de Moraes, Estado de Rio de Janeiro, Brasil. Además, se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos científicos, libros técnicos y normas técnicas de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas, destacando la recientemente publicada ABNT NBR 16747: 2020. La inspección se limitó a las fachadas del edificio y su cobertura debido a la inaccesibilidad a su interior. Al tratarse de un edificio antiguo, se concluyó que su estado no se encuentra en deterioro avanzado, lo que facilita un adecuado plan de mantenimiento del edificio.

Palabras clave: Inspección de Edificios; Edificios históricos; Ingeniería de diagnóstico; Manifestaciones patológicas.

1. INTRODUÇÃO

Na Engenharia Civil, a importância da excelência na concepção, no cálculo e na construção de uma edificação são partes integrantes de um projeto. Além disso, uma etapa essencial é a manutenção da edificação. O presente trabalho aborda as manifestações patológicas existentes em uma edificação no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. No âmbito deste estado, foi sancionada a Lei Estadual nº 6400, em 05 de março de 2013, tornando obrigatória a realização de Autovistoria em edifícios comerciais, residenciais e prédios públicos. Porém, a referida lei não instituiu obrigatoriedade em edifícios históricos que não são tombados. A inexistência, nesse caso, da inspeção predial e, conseqüentemente, de adequada manutenção faz com que esses edifícios, cada vez mais se deteriorem e percam a sua história, tanto da própria construção, como também do contexto cultural ao longo dos anos. Logo, torna-se fundamental o conhecimento e a determinação dos agentes causadores das manifestações patológicas para determinar a manutenção adequada a fim de que a edificação seja preservada.

1.1 Inspeção Predial

A inspeção predial é um serviço que se insere na disciplina de Engenharia Diagnóstica, que compreende a investigação técnica a fim de melhorar a qualidade da edificação. Segundo (Gomide *et. al.*, 2015), a inspeção predial é definida como sendo “a análise técnica de fato, condição ou direito relativo a uma edificação, com base em informações genéricas e na experiência do engenheiro diagnóstico.” A inspeção predial atesta o estado do imóvel e lista as manifestações patológicas existentes, o que faz com que essa possua diversos objetivos como, por exemplo, auxiliar o plano de manutenção predial.

A primeira norma técnica sobre Inspeção Predial no Brasil foi desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias (IBAPE) de São Paulo. Sua primeira publicação foi em 2001, alcançando a nível nacional no ano de 2012 (IBAPE, 2012). Durante algum tempo, foi a única norma que apresentava critérios para a realização do serviço de inspeção predial, já que antes de sua primeira publicação inexistia uma norma específica para tal serviço. Seu objetivo também apresenta a determinação dos procedimentos e conceitos referentes ao assunto.

A NBR 16747:2020 é a norma atual da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, que aborda o assunto de inspeções predial e define suas diretrizes e procedimentos, entrou em vigor em maio de 2020. A NBR 16747:2020 pode ser aplicada aos edifícios com diferentes tipologias, públicas ou privadas. Essa norma estabelece conceitos, diretrizes, terminologia e procedimentos relativos à inspeção predial, uniformizando a metodologia a ser empregada e definindo as suas etapas mínimas necessárias ao serviço. A inspeção predial, conforme definição da NBR 16747:2020, consiste em uma avaliação global da edificação, observando-se o estado de conservação e a conformidade da sua manutenção com a ABNT NBR 5674:2012, a qual estabelece os requisitos para a gestão do sistema de manutenção de edificações. Segundo a NBR 5674:2012, o sistema de gestão de manutenção deve incluir meios para preservar as características originais da edificação e prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes.

1.2 Manifestações Patológicas em Edifícios Históricos

As construções possuem um valor cultural muito alto, pois a partir destas é registrada a evolução da humanidade e das sociedades. Conhecer o modo como estas foram construídas e os materiais que as compõem é fundamental para uma atuação precisa na preservação ao longo do tempo (Franco *et. al.*, 2020). Segundo (Teixeira e Silva, 2020), o estudo de causas e efeitos das manifestações patológicas são imprescindíveis na concepção de estratégias de intervenções para a preservação do patrimônio. Já um estudo sobre as manifestações patológicas é de essencial importância, quando se pretende adquirir qualidade nas intervenções realizadas nas obras do patrimônio e, também, colaboram para prevenção dos danos (Temp. *et al.*, 2020).

As manifestações patológicas podem ser classificadas em anomalias ou falhas e de acordo com o seu grau de risco. As anomalias envolvem perda de desempenho do tipo funcional ou construtiva, enquanto as falhas são tipificadas pela perda de desempenho relacionadas ao uso, operação e manutenção. As anomalias ainda podem ser divididas em endógena ou construtiva, caso sua origem for devido ao projeto ou à execução; exógena quando sua origem for devido à fatores externos e funcional, quando acontece devido ao envelhecimento natural.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias (IBAPE, 2012), as falhas podem ser classificadas como de planejamento, de execução, operacionais ou gerenciais. As falhas de planejamento ocorrem devido à inexistência de um plano de manutenção ou à sua inadequação. Enquanto as falhas de execução, referem-se às falhas que decorrem da inadequada execução do plano de manutenção.

Segundo a NBR 16747:2020 da ABNT, as manifestações patológicas podem ser categorizadas como graus de urgência, sendo prioridade 1 quando ocorre o comprometimento do desempenho, segurança dos usuários, ou seja, quando pode gerar graves riscos, tanto para a edificação quanto para as pessoas e meio ambiente. A prioridade 2 quando ocorre o comprometimento parcial do desempenho, mas que não gere sérios riscos aos usuários. Já a prioridade 3, está no nível mais baixo, visto que na maioria das vezes envolvem questões estéticas que não causam nenhum risco grave e que não necessitem de ações urgentes. Assim, é possível elaborar uma lista de prioridades, onde as manifestações patológicas são organizadas, de acordo com a classificação do grau de risco e intensidade, pela ordem da mais crítica para a mínima.

(Prieto *et. al.*, 2017) propõem que as ações para reforma e restauração devem ser avaliadas após identificação e análise das patologias mais relevantes que influenciam diretamente na perda de funcionalidade e desempenho da edificação, para isso foram estudados edifícios históricos de igrejas paroquiais em Sevilha, Espanha, onde as manifestações patológicas foram associadas com a obsolescência funcional dos edifícios.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse trabalho, é aplicada a metodologia da obtenção da lista de prioridades através da matriz GUT, uma ferramenta que auxilia na priorização de resolução de problemas, nesse caso, consiste em pontuar a manifestação patológica constatada de acordo com a gravidade, urgência e tendência, onde cada aspecto possui um peso e o peso final da manifestação patológica é obtido multiplicando-se todos os pesos. A ordem de prioridade é então formada em sequência decrescente, onde a manifestação patológica com maior peso é considerada um grau de criticidade maior. (Araújo, 2018) utilizou a Matriz de GUT para auxiliar o restauro de três igrejas históricas dos séculos XVII e XVIII no Estado do Rio Grande do Norte. Com a metodologia, foi possível identificar os danos mais relevantes de cada edificação. (Braga *et. al.*, 2019) aplicou a metodologia da Matriz GUT na análise das manifestações patológicas em edificações históricas em Sobral, Ceará, Brasil, mostrando que é uma importante ferramenta de gestão da manutenção de edificações. Neste trabalho, utilizou-se a sugestão de classificação segundo a matriz GUT, proposta por (Gomide *et. al.*, 2019), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos níveis de criticidade segundo a metodologia GUT.

Grau	Nota	Gravidade	Urgência	Tendência
Máximo	10	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
Alto	8	Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
Médio	6	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
Baixo	3	Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante
Mínimo	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Fonte: (Gomide *et. al.*, 2019).

3. ESTUDO DE CASO

A edificação estudada é a Capela de Leitão da Cunha, uma edificação histórica existente no interior do estado do Rio de Janeiro. A Capela situa-se na localidade Leitão da Cunha no município de Trajano de Moraes, que está situado na região serrana do norte fluminense, onde há fazendas históricas oriundas do período imperial. Para maiores detalhes sobre a edificação em estudo, consultar (Lessa, 2021).

A capela encontra-se em uma propriedade particular, sendo posteriormente doada à Mitra. Após pesquisas, foi apurado que como consiste em uma edificação doada, não é possível precisar a data de sua construção. Entretanto, é possível que date do século XIX, devido ao seu estilo arquitetônico, muito característico das capelas encontradas no interior do Brasil. Vale ressaltar que não há registros de tombamento histórico da edificação.

Com o intuito de estudar a edificação, foi realizada uma visita preliminar na Capela, onde foi possível obter informações importantes. Foi constatada que a estrutura da edificação possivelmente é composta por tijolos maciços. Adicionalmente, foi apurado que a edificação passa por uma reforma interna, tornando-se impossível o acesso ao seu interior, visto que se encontrava fechada à visitação. Por esse motivo, a limitação do estudo é a verificação das manifestações patológicas existentes nas fachadas externas e na cobertura da edificação.

Constatou-se, que a edificação em questão, não possui manifestações patológicas críticas e/ou estruturais. A maioria das manifestações são oriundas do processo de degradação e envelhecimento natural da edificação, problemas de umidade e falhas decorrentes da inadequada ou falta de manutenção.

As manifestações patológicas encontradas, na fachada frontal e fachada sul, são vegetação na escadaria, vegetação na cobertura, falta de telhas no beiral, descolamento de parte do revestimento argamassado e manchas escuras na parede, como mostra a Figura 1.



Figura 1. Manifestações patológicas verificadas na fachada frontal. Fonte: (Lessa, 2021).

Na fachada Leste, foram verificados os seguintes problemas: manchas escuras no revestimento, falta de telhas no beiral, esquadrias danificadas e descolamento do revestimento argamassado, como apresenta a Figura 2.



Figura 2. Manifestações patológicas verificadas na fachada leste. Fonte: (Lessa, 2021).

Na fachada oeste foram verificadas as seguintes patologias: umidade ascendente, manchas escuras no revestimento, fissuras, falta de telhas no beiral, esquadrias danificadas e descolamento do revestimento argamassado, como mostra a Figura 3.



Figura 3. Manifestações patológicas verificadas na fachada oeste. Fonte: (Lessa, 2021).

Já na fachada Norte, foram encontrados vegetação nas paredes, acúmulo de entulhos de obra, partes com descolamento do revestimento argamassado, falta de telhas no beiral e manchas escuras no revestimento, como apresenta a Figura 4.



Figura 4. Manifestações patológicas verificadas na fachada norte. Fonte: (Lessa, 2021).

4. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta as informações sobre as manifestações patológicas encontradas nas fachadas da Capela, de acordo com o tipo, e apresenta a classificação dos níveis de criticidade, segundo a metodologia GUT. Com isso, é possível definir uma lista de prioridades das manifestações patológicas, como sendo a falta de telhas no beiral e os descolamentos dos revestimentos argamassados, as quais são indicadas como as patologias prioritárias a serem reparadas. A partir dessas informações, é possível definir as possíveis causas das manifestações patológicas e propor soluções, as quais são apresentadas no Quadro 1. As patologias também foram classificadas segundo o grau de urgência estabelecido pela norma NBR 16747:2020.

Tabela 2. Classificação dos níveis de criticidade segundo a metodologia GUT.

Manifestação Patológica	Gravidade	Urgência	Tendência	Total
Descolamento do revestimento argamassado	6	6	10	360
Falta de telhas no beiral	6	6	10	360
Vegetação na cobertura	3	6	10	180
Vegetação na escadaria	3	6	10	180
Manchas escuras na parede	3	6	10	180
Fissuras	3	3	10	90
Esquadrias danificadas	3	3	10	90
Acúmulo de entulho de obra	3	1	10	30

Quadro 1. Fatores causadores e soluções para as manifestações patológicas verificadas.

Manifestação Patológica	Classificação	Causa	Solução	Grau de urgência segundo NBR16747
Fissuras	Anomalia	Intempéries	Recomposição do revestimento danificado	Prioridade 1
Manchas escuras na parede	Anomalia	Falta de impermeabilização	Impermeabilização e pintura das fachadas	Prioridade 1
Descolamento do revestimento argamassado	Anomalia	Falta de impermeabilização	Recomposição do revestimento, impermeabilização e pintura das fachadas	Prioridade 2
Vegetação na cobertura	Falha	Falta de manutenção do telhado	Limpeza da cobertura	Prioridade 1
Vegetação na escadaria	Falha	Falta de manutenção e limpeza	Limpeza e impermeabilização da escadaria	Prioridade 1
Esquadrias danificadas	Falha	Envelhecimento natural	Troca das esquadrias danificadas	Prioridade 1
Acúmulo de entulho de obra	Falha	Falta de adequada manutenção e limpeza	Retirada do entulho	Prioridade 1
Falta de telhas no beiral	Falha	Falta de manutenção no beiral	Revisão do telhado, impermeabilização e reforma do beiral ¹	Prioridade 2

Nota 1: É necessário um estudo para não interferir na arquitetura original da edificação.

Inicialmente foram verificadas as manifestações patológicas existentes na edificação estudada, com isso foi possível aplicar a metodologia GUT proposta por (Gomide *et. al.*, 2019) com o objetivo de definir as patologias mais importantes presentes na construção, definindo seus níveis de criticidade conforme apresentado na Tabela 2. Como as manifestações patológicas estão organizadas por ordem de maior gravidade, conseqüentemente, obtém-se a lista de prioridades das manifestações. De posse da lista, é possível classificar as patologias em falhas e anomalias para posteriormente classificá-las segundo o grau de urgência proposto pela norma NBR 16747:2020, conforme o Quadro 1. Nesse quadro, verifica-se a predominância de problemas classificados como falhas, indicando a falta de manutenção na edificação. Analisando as manifestações patológicas e as respectivas causas, constata-se que os principais problemas ocorreram no sistema de cobertura. Portanto, como solução prioritária, destaca-se a revisão da cobertura, limpeza, troca de telhas e recomposição de alguns elementos do telhado, impermeabilização e pintura. Em seguida, os serviços de recomposição do revestimento, impermeabilização e pintura das fachadas. Cabe salientar que as fachadas ficaram bem danificadas devido aos problemas que ocorreram no sistema cobertura.

Foi possível constatar que a classificação das prioridades, a partir da norma NBR 16747:2020, corroboram com os dados verificados através da aplicação da metodologia GUT para a análise das

patologias. Portanto, o emprego da norma NBR 16747:2020 em complemento a metodologia GUT, torna-se fundamental para a proposta de um plano de manutenção da edificação adequado.

5. CONCLUSÃO

O presente artigo atingiu seu objetivo, pois analisou questões referentes às manifestações patológicas, listou e classificou as encontradas na edificação histórica em estudo, a partir da revisão bibliográfica e da análise da edificação, confirmando-se a importância da inspeção predial para a segurança das edificações.

O diagnóstico das patologias de um edifício visa identificar e avaliar manifestações, caracterizando anomalias e falhas. Verificar e ser capaz de detectar os mecanismos de formação inicial das patologias. Estabelecer grau de prioridade, procedimentos e recomendações para o tratamento e prevenção. A partir de um diagnóstico, é possível planejar as atividades e decidir desde pequenos reparos e reformas, até recuperação e restauração da edificação. Todas as observações e informações coletadas buscam levantar o histórico das manifestações patológicas da edificação.

As patologias encontradas na Capela de Leitão da Cunha indicam os problemas que surgiram ao longo de sua existência, tornando-se importante a preservação de suas características históricas e culturais. Foi aplicada a metodologia GUT, por meio da classificação dos níveis de criticidade de acordo com as manifestações patológicas existentes na edificação histórica. A partir da lista de prioridades foi possível constatar que as falhas devido à falta de telhas no beiral e os descolamentos dos revestimentos argamassados são indicados como as patologias prioritárias a serem reparadas na Capela de Leitão da Cunha. Na análise da lista, constatou-se que a cobertura da edificação representa o pior caso encontrado no objeto de estudo, visto que as manifestações patológicas devido à falta de telhas no beiral e a vegetação na cobertura, somam ao todo criticidade de 540 pontos. Outro quesito importante que deve ser destacado é o fato de a situação da cobertura influenciar diretamente no descolamento do revestimento argamassado, que é a segunda principal patologia verificada. Essa influência foi fundamentada pelo fato de que tal descolamento se encontra na parte superior do edifício, sendo então descartada a umidade por ascensão capilar.

Foi possível validar que a metodologia GUT é adequada para avaliar as manifestações patológicas, inclusive corroborando com a recente norma NBR 16747:2020.

Destaca-se a importância da inspeção dos edifícios históricos, visto que percolam diversas gerações de um povo, contando toda a sua história e costumes. É muito importante, que cada vez mais, a inspeção e a manutenção predial sejam difundidas para que tais edifícios possam ter uma adequada manutenção, fazendo com que a história nunca se apague.

Como trabalho futuro, sugere-se que seja elaborado um manual para auxiliar com as medidas de conservação e manutenção dos prédios históricos, incluindo um programa de manutenção corretiva a fim de recuperar o desempenho perdido.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal Fluminense pelo suporte financeiro.

7. REFERÊNCIAS

- Araújo, A. T. O. (2018). “*Estudo das alvenarias de edificações históricas - arquitetura religiosa - do período colonial, no Rio Grande do Norte, com ênfase no sistema construtivo, manifestações patológicas e aplicação da matriz GUT*”. 195f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). “*NBR 16747: Inspeção Predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento*”. Rio de Janeiro., RJ, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). “*NBR 5674: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção*”. Rio de Janeiro., RJ, Brasil.
- Braga, I. C., Brandão, F. S., Ribeiro, F. R. C., Diógenes, A. G. (2019), “*Aplicação da Matriz GUT na análise de manifestações patológicas em construções históricas*”, Revista ALCONPAT, 9(3), pp. 320 – 335, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.400>.
- Franco, A. C., Carmo, C. S.T. e Faisca, R. G. (2020). “*Mapeamento de Manifestações Patológicas em Edifícios Utilizando HBIM*” V Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios (CIRMARE), Rio de Janeiro., RJ, Brasil.
- Gomide, T. L. F., Gullo, M. A., Neto, J. C. P. F, Flora, S. M. D. (2019), “*Inspeção Predial Total*”. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil.
- Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias – IBAPE. (2012), “*Norma de Inspeção Predial Nacional*”. São Paulo, SP, Brasil.
- Lei Estadual nº 6400 (2013), Rio de Janeiro. <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/c8aa0900025feef6032564ec0060dfff/cda5d615434eca4983257b260067692d>. Acesso em 30 maio 2021.
- Lessa, A. C. G. (2021), “*Inspeção Predial Aplicada à Edifício Histórico – Estudo de Caso Capela de Leitão da Cunha no Município Trajano de Moraes, RJ*”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, RJ, Brasil.
- Prieto, A. J., Silva, A., Brito, J., Macías-Bernal, J. M., Alejandre, F. J. (2017). “*The Influence of Pathological Situations on Churches Functionality: An Approach Based on Historical Records, International Journal of Architectural Heritage*”, 11:4, 566-587, DOI: 10.1080/15583058.2016.1272011.
- Teixeira, B., Costa & Silva, A. J. (2020). “*Elaboração de Mapa de Danos de Prédio Histórico: um estudo de caso em fachadas com revestimento em pintura da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco*”. Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. Fortaleza, CE, Brasil.
- Temp, A. L., De Moura Machado, B., Donelles Venquiaruto, S., Beatriz Scherer, C., Zoch de Carvalho, L. (2020). “*Avaliação da degradação de fachadas de edificações do Patrimônio Histórico do Município de Alegrete – RS*”. Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. Fortaleza, CE, Brasil.

ESTUDO DE CASO: DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO.

C.M. QUINTÃO*¹, C.S.P. RODRIGUES¹, F.K.CARDOSO¹, M.C.R. CASTRO¹,
S.V.POMPILHO¹, D.C.S. GARCIA²

*¹ Autor de Contacto: cristiano.quintao@copasa.com.br

¹ COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.

² DEMC- Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.

RESUMO

Este trabalho consiste em um estudo de caso com o objetivo de analisar as manifestações patológicas de uma estrutura de concreto armado degradada em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e sugerir reparos necessários para sua conservação. Realizaram-se vistorias no local, inspeção visual do concreto, descrição das manifestações patológicas e ensaios de caracterização do concreto (carbonatação e teor de sulfatos incorporados). A partir de visitas na ETE, observou-se que as estruturas dos reatores anaeróbios apresentaram várias manifestações patológicas, contudo, as armaduras ainda se encontram passivadas. Além disso, o teor de sulfatos incorporados é considerável apenas na superfície do concreto, reduzindo nas camadas mais internas. Após a análise das manifestações patológicas foram sugeridos reparos necessários para a conservação da estrutura.

Palavras chave: Estação de tratamento de Esgoto; Reator UASB; concreto armado; manifestações patológicas em concreto; ataque por sulfatos.

RESUMEN

Este trabajo consiste en un estudio de caso con el objetivo de analizar las manifestaciones patológicas de una estructura de hormigón armado degradado en una Estación de Tratamiento de las Aguas Residuales (EDAR) y sugerir las reparaciones necesarias para su conservación. Se realizaron inspecciones in situ, inspección visual del hormigón, descripción de las manifestaciones patológicas y ensayos para la caracterización del hormigón (carbonatación y el contenido de sulfatos incorporados). De las visitas a la EDAR, se observó que las estructuras de los reactores anaeróbicos presentaban varias manifestaciones patológicas, sin embargo, los refuerzos aún se encuentran pasivados. Además, el contenido de sulfatos incorporados es alto en la superficie del hormigón, reduciéndose en las capas más internas. Luego de analizar las manifestaciones patológicas, se sugirieron las reparaciones necesarias para la conservación de la estructura.

Palabras clave: Estación de Tratamiento de las Aguas Residuales; Reactor UASB; hormigón armado; manifestaciones patológicas en el hormigón; ataque por sulfatos.

ABSTRACT

This work is a case study and its aim is to analyze pathological manifestations in degraded reinforced concrete structure in a Wastewater Treatment Plant and suggesting necessary repairs for its conservation. On-site inspections, visual inspection of the concrete, description of the pathological manifestations and tests in concrete (carbonation and sulfate content) were carried out. From visits to the Wastewater Treatment Plant, it was observed that the structures of the anaerobic reactors presented several pathological manifestations, however, the steel are still passivated. In addition, the content of incorporated sulfates is high on the concrete surface, reducing in the innermost layers. After analyzing the pathological manifestations, the necessary repairs for the conservation of the structure were suggested.

Keywords: Wastewater treatment Plant, UASB reactor; reinforced concrete; pathological manifestations in concrete; attack by sulfates.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de tratamento dos esgotos são formados por uma série de operações unitárias empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis, ou para transformação destas substâncias em outras formas aceitáveis. A remoção dos poluentes no tratamento, para adequar o lançamento a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade estabelecido pela legislação vigente, está associada aos conceitos de nível e eficiência de tratamento (COPASA, 2021).

Os processos de tratamento de esgoto são divididos em sistemas aeróbio e anaeróbio. O tratamento anaeróbio é efetuado por bactérias que não necessitam de oxigênio para sua respiração, dos quais há três tipos bastante difundidos: tanque séptico, o filtro anaeróbio e o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo, denominado reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) (Chan et al., 2009).

O reator UASB foi inicialmente desenvolvido e aplicado na Holanda. O processo consiste em um fluxo ascendente de esgotos através de um leito de lodo denso de elevada atividade. Na parte interna, tem-se um dispositivo denominado separador trifásico que tem por objetivo a separação dos gases gerados (biogás), do lodo e do efluente líquido. O lodo é formado de sólidos retidos que constituem a biomassa, permanecendo no reator por tempo suficientemente para que a matéria orgânica seja degradada (Centeno-Mora et al., 2020). Por causa de sua simplicidade, além de não ser necessária a utilização de material de enchimento e de equipamentos sofisticados, o reator UASB é um dos sistemas mais utilizados para o tratamento de esgotos domésticos.

A maioria dos reatores UASB é construída em concreto armado, material que permite a versatilidade em sua construção, como uma infinidade de formatos, conforme necessidade de projeto, além de ser material considerado de baixo custo e resistente a água (Mazer et al., 2019). As estruturas de concreto aplicadas no tratamento de esgoto apresentam vida útil menor em relação à projetada, por causa da ação de diversos agentes agressivos. A interação dessas construções com esse ambiente agressivo favorece o aparecimento de diversos tipos de manifestações patológicas, que comprometem o desempenho e a integridade física dessas estruturas de concreto (Metha e Monteiro, 2014).

Os agentes agressores que contribuem para essa degradação são: gás carbônico (CO_2), ácido sulfúrico biogênico (H_2SO_4) e gás sulfeto de hidrogênio (H_2S). Esses agentes são provenientes da ação de bactérias redutoras de sulfatos que consomem os íons de sulfato presentes no esgoto. No esgoto ainda existem outros componentes que podem ser agressivos às estruturas, como íons sulfatos, cloretos e bicarbonatos. Outros fatores que influenciam a degradação do concreto são: a umidade na região das estruturas expostas ao ar e erosão de elementos abrasivos carregados pelo fluxo de esgoto (Silva et al., 2016). O entendimento dos fatores e processos responsáveis pela deterioração dessas estruturas permite que sejam tomadas medidas profiláticas, para evitar ou minimizar as manifestações patológicas previstas na etapa de projeto, com a intenção de aumentar a durabilidade dessas estruturas.

As estruturas de concreto, segundo NBR 6.118:2014, devem atender aos requisitos mínimos de qualidade, os quais compreendem segurança à ruptura, desempenho em serviço e capacidade de resistir às influências ambientais previstas e definidas em projeto. A presença de anomalias prejudica inicialmente o desempenho da estrutura, podendo chegar a um estágio tal que comprometa a segurança das estruturas. Portanto, a inspeção minuciosa com a detecção de manifestações patológicas e seu reparo/proteção são atividades fundamentais para atender aos requisitos citados.

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é analisar as manifestações patológicas encontradas em uma estrutura de concreto armado degradada em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e sugerir reparos necessários para a sua conservação.

3. METODOLOGIA

Para desenvolver o diagnóstico da estrutura de concreto armado na ETE, foram realizadas as seguintes atividades:

- vistoria técnica ao local para levantamento das condições dos reatores UASB;
- inspeção visual, anamnese e identificação do estado atual de conservação da ETE, com a descrição das manifestações patológicas e registro fotográfico;
- realização de ensaios para caracterização do concreto;
- diagnóstico; e
- proposta de recuperação e proteção.

Na análise e verificação do concreto e elementos estruturais foram utilizadas as prescrições indicadas pelas seguintes normas técnicas:

- ASTM C114-18 – *Standart Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement*;
- NBR 6.118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos.

3.1 Vistoria técnica ao local para levantamento das condições dos reatores UASB

3.1.1 Descrição da ETE

A ETE analisada iniciou suas atividades no ano de 2010 e é composta por: tratamento preliminar, extravasor, dois reatores UASB, dois filtros biológicos percoladores, dois decantadores secundários, queimador de gases e desidratação de lodo anaeróbio por oito leitos de secagem, conforme observado na Figura 1. A ETE possui dois módulos de Reatores UASB, cada um com capacidade de tratamento de vazão nominal média de 13,5 l/s, totalizando 27 l/s. Atualmente, a ETE opera com vazão média anual de 40 l/s.



Figura 1 - Imagem de localização da ETE. Fonte: Google Earth.

3.1.2 Descrição da Estrutura

Em 10 anos de operação, houve o desgaste das estruturas de concreto e equipamentos, por causa da elevada agressividade do meio. Isso pode comprometer a durabilidade e integridade estrutural das unidades operacionais e conseqüentemente, levar a problemas de segurança dos operadores e problemas associados à eficiência do sistema. As estruturas dos reatores UASB da ETE apresentam várias manifestações patológicas.

Em análise de projeto e vistoria ao local, foram obtidas informações sobre as especificações das estruturas dos reatores anaeróbicos. Cada reator foi construído em concreto armado (f_{ck} de 30 MPa) e com cobrimento mínimo das armaduras de 3,5 cm para a parte externa da laje de cobertura e cobrimento mínimo de 4,5 cm para as demais partes estruturais. Os reatores apresentam geometria retangular tipo apoiado (Figura 2), com largura interna de 6,50 m, comprimento interno de 13,00 m e altura interna de 5,15 m. As paredes possuem espessura de 30 cm e a laje de cobertura possui espessura de 15 cm.

Internamente, cada reator possui 4 coifas fabricadas em lona e tubulações de distribuição do esgoto (Figura 3). Cada reator possui oito vãos na laje de cobertura, situados sobre a câmara de decantação, para acesso ao seu interior e realização de limpezas. Esses vãos eram fechados com placas de concreto, porém, devido ao processo de degradação, as placas foram removidas. A estrutura de concreto na região interna, situada sob a lâmina de esgoto, está localizada dentro de um microambiente com Classe de Agressividade IV, agressividade elevada, de acordo com a ABNT NBR 6.118:2014 e Diretrizes para Elaboração de Estudos e Projetos da Companhia de Saneamento.



Figura 2 - Visada Externa dos reatores.



Figura 3 - Vista Interna do compartimento de digestão (região submersa) do reator UASB.

3.1.3 Inspeção visual, Anamnese e Identificação do Estado Atual de Conservação da ETE

Para a realização das avaliações e elaboração do diagnóstico estrutural foi realizada inspeção de forma sistêmica e predominantemente sensorial em todas as estruturas, tanto interna como externamente; entrevistas aos operadores para entendimento da história das patologias; e realização de ensaios de campo e laboratoriais, dentro de uma amostragem representativa.

De uma forma geral, observa-se que o concreto exposto ao biogás apresenta claramente um alto nível de desgaste devido a essas intempéries, ou seja, pela utilização da ETE e ausência de sistema de proteção. O concreto das paredes e lajes degradadas apresenta uma fragilidade tão acentuada, que o material pode ser removido superficialmente com as mãos. Todas as manifestações patológicas foram devidamente identificadas e cadastradas, com o registro das intensidades e severidades em desenhos, que compõem o projeto.

3.1.4 Descrição das Manifestações Patológicas Encontradas e Registro Fotográfico

Devido ao alto grau de deterioração do concreto, foram identificadas várias manifestações patológicas na estrutura do reator e Caixas Distribuidoras de Vazão (CDVs) em estudo. Essas manifestações, muitas vezes, se apresentam em formas associadas e é difícil realizar a distinção de cada tipo isoladamente. As manifestações patológicas estão citadas a seguir:

- fissuras por retração hidráulica e/ou plástica;
- desagregação em toda a superfície de concreto acima do nível de água (Figura 4, 5 e 6), devido aos gases com hidróxido de enxofre gerados no tratamento anaeróbico.
- eflorescências;
- desgaste por erosão da superfície do concreto, com perda de pasta de concreto por ação de fluídos;
- carbonatação (Figura 7): diminuição do pH do concreto, observado com um indicador ácido-base (fenolftaleína);
- corrosão pontual de armaduras;
- fissuras em juntas de concretagem da CDV1, formadas na etapa de obras (Figura 8);
- corrosão do sistema de fixação das tampas de inspeção da região de biogás do reator;
- degradação da tubulação de coleta do efluente tratado, com vazamentos recorrentes, apresentando problemas associados à sua capacidade resistiva.



Figura 4 - Vista Geral dos Reatores 1 e 2.



Figura 5 - Detalhe concreto degradado nas aberturas da laje do reator 1.



Figura 6 - Vista do concreto degradado sob a laje de cobertura do reator em detalhe, e vista da lona do separador trifásico e sistema de fixação.



Figura 7 - Parede do canal de efluente tratado, concreto superficial degradado com armadura preservada, envolta por concreto com pH superior a 8,5.

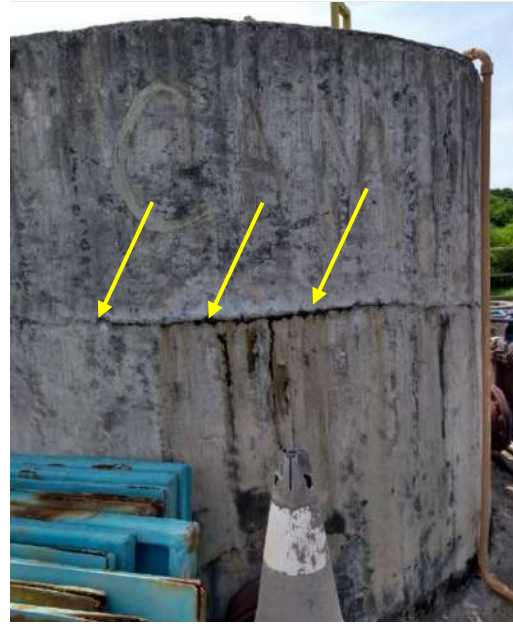


Figura 8 - Fissura ao longo do perímetro da CDV1, com pequenos vazamentos ao longo de seu perímetro.

3.2 Ensaio Realizados

Para caracterizar o concreto existente nos reatores e auxiliar na elaboração da proposta de recuperação mais adequada e econômica, foram realizados ensaios de profundidade de carbonatação e de teor de sulfatos incorporados.

3.2.1 Medição da Profundidade de Carbonatação

Para determinar a profundidade de carbonatação das estruturas de concreto armado, primeiramente, foi realizada a remoção do concreto desmineralizado (degradado), que possui uma espessura média de 15 mm. A estrutura exposta foi submetida ao ensaio de medição da profundidade da frente de carbonatação através da aspersão de um indicador de pH (fenolftaleína) nas amostras de concreto. Foram retiradas amostras em diferentes profundidades e aspergido fenolftaleína, sendo possível identificar as regiões com cor violeta (pH > 8,5 - mais alcalinas) e regiões incolores (áreas carbonatadas - menos alcalinas).

3.2.2 Ensaio de Teor de Sulfatos Incorporados

O processo de degradação do concreto em uma ETE se dá pela interação do íon sulfato com elementos da pasta de cimento, levando a formação de produtos expansivos e perda de coesão. Há também ação de soluções ácidas e ação biológica em função da presença de enxofre, umidade, oxigênio e determinadas bactérias, com dissolução da camada superficial do concreto e formação de sais de cálcio solúveis em água, perda de pasta e exposição dos agregados (Metha e Monteiro, 2014). Assim, o valor máximo recomendado para sulfatos é de 3,5% (expresso em SO₃ sobre a massa de cimento) para concretos de acordo com as normas ABNT NBR 5732, ABNT NBR 11.578, ABNT NBR 5.735, ABNT NBR 5.736 e ABNT NBR 5.733. Além disso, Helene (2003) cita que estruturas de concreto atacadas por sulfatos, com teor de sulfato superior a 5% na pasta de cimento, devem ser totalmente removidas.

Para determinar o teor de sulfatos incorporados, foram retiradas amostras em diferentes profundidades da superfície do concreto em contato com o biogás. A primeira amostra foi coletada na superfície degradada do concreto desmineralizado (material friável e sem coesão). As demais amostras foram coletadas a cada 1,5 cm a partir da região com resistência superficial, totalizando 4,5 cm de profundidade em diversos pontos da superfície escolhida.

Note que, o teor de sulfatos incorporados foi realizado segundo metodologia definida pela ASTM C114-18. Os ensaios foram realizados através dos métodos Turbidimétrico e Gravimétrico. Cabe elucidar que o teste foi realizado por duas metodologias, pois uma delas, a gravimétrica, é a mais consolidada para ensaios de teor de sulfato em concreto. Como alternativa, apresenta-se a análise por meio do método turbidimétrico, comumente realizado em matrizes de água tratada e residuais. A opção em também realizar a análise turbidimétrica se deu por ser mais fácil de ser realizada (isso pode ser verificado na metodologia), que é mais rápida e consequentemente, mais barata.

- Procedimento Experimental:

Turbidimétrico e Gravimétrico (Fase Inicial):

Os procedimentos iniciais do método Gravimétrico são equivalentes àqueles para a realização do método Turbidimétrico. Aproximadamente 2g das amostras de concreto em pó foram utilizadas para a realização dos ensaios (Tabela 1). As porções de 2g foram aquecidas a 100°C por duas horas, a fim de retirar a umidade. Em seguida, cada amostra foi misturada com 25 ml de água ultrapura e 10 ml de ácido clorídrico, enquanto a solução era misturada com um bastão de vidro. O teor de íons sulfato neste trabalho foi realizado como uma adaptação da normativa. As soluções foram levadas para uma chapa aquecedora, cobertas por vidros de relógio, até que houvesse um ataque completo do ácido à amostra. Ao final desse processo, adicionou-se 50 ml de água ultrapura quente e deixou-se descansar por 15 minutos. As soluções foram filtradas pelo método do funil de Büchner e papel faixa preta. Ao filtrado foi adicionado água ultrapura até completar 250 ml.

Tabela 1 – Nomenclatura adotada para as amostras de concreto.

Amostras
Amostras Dopagem* n 1 a 4
Amostras Dopagem* 5 a 8
Desmineralizado 1 a 6
1,5 cm (1 a 3)
3,0 cm (1 a 3)
4,5 cm (1 a 3)

*Amostras dopagem: são amostras de um concreto referencial externo à estrutura analisada, utilizadas para realização do processo químico denominado Dopagem Química de Recuperação.

Neste ponto, as amostras desmineralizado 4, 5 e 6, mais pontos “3” nas profundidades de 1,5; 3 e 4,5 cm já estão prontas para serem analisadas pelo método turbidimétrico. As demais amostras seguem para terminar o seu preparo para serem analisadas por gravimetria.

Gravimétrico:

As demais amostras foram aquecidas até ebulição, adicionando-se gota a gota, sob agitação, 10 ml de cloreto de bário, deixando ferver por cinco minutos. As soluções apresentaram um

precipitado denominado “Amostras Dopagem”, indicativo de sulfato. Os recipientes foram tampados e deixados em descanso por 24 horas. Pela Figura 9 observa-se a diferença de tonalidade das soluções, após as 24 horas, onde as soluções apresentam cor amarelada proporcionalmente aos teores de sulfatos.



Figura 9 – Dissolução das diferentes amostras coletadas.

As amostras foram filtradas em um sistema a vácuo e com papel de 0,45 μm e lavadas com água quente até que não fosse identificado mais a presença de cloreto nas águas de lavagem (o que pode ser feito qualitativamente com um indicador misto a base de difenilcarbazona e xilenociano). Posteriormente, o papel de filtro com o precipitado retido foi transferido para um cadinho de porcelana previamente tarado e seco em chapa quente para consumir o carbono, tomando cuidado para o papel não inflamar. O cadinho foi levado a mufla a 600 $^{\circ}\text{C}$ e calcinado por 1 hora. O percentual de SO_4 foi calculado de acordo com Equação (1).

$$\text{SO}_4 = \frac{\text{Massa de SO}_4}{\text{Massa Pesada}} \cdot 100\% \quad (1)$$

4. RESULTADOS

4.1 Medição da Profundidade de Carbonatação

Foi realizada a remoção do concreto degradado (desmineralizado), sem coesão, até alcançar um substrato com resistência superficial, com uma espessura média de 15 mm entre camadas, para os pontos analisados (Figura 7). A partir do momento em que se encontrou um substrato resistente, os resultados dos ensaios de carbonatação mostram baixos avanços da frente de carbonatação nas amostras examinadas. A profundidade média de carbonatação foi de 5 mm, comprovando tratar-se de elementos estruturais construídos de argamassa de boa qualidade e compactos. É possível afirmar que a frente de carbonatação ainda não atingiu a profundidade das armaduras nos pontos ensaiados. Assim, entende-se que no geral, as armaduras de aço ainda estão passivadas pelo pH alcalino do concreto, com exceção a alguns pontos com baixo cobrimentos da armadura, que apresentaram corrosão pontual, possivelmente provocados por questões construtivas.

4.2 Ensaio de Teor de Sulfatos Incorporados

Foram realizados dois métodos de ensaio para determinar o teor de sulfatos incorporados. O método gravimétrico é o mais utilizado, porém, uma alternativa é o método turbidimétrico, por

ser mais simples. Tendo isso em mente, a primeira análise realizada foi a comparação das duas metodologias para verificar a viabilidade do método turbidimétrico. Para o método turbidimétrico a recuperação da dopagem foi de 93,1%, ao passo que a gravimétrica foi de 92,2% (Tabela 2). Isso sugere que os dois métodos podem ser utilizados, pois, estatisticamente, oferecem resultados de recuperação similares.

Tabela 2 - Estudo de recuperação das metodologias.

MF-0 (média)	MF-1	MF-2	Média	DPR (<5%)	Recuperação
0,01080	0,04140	0,04260	0,04200	2,86%	93,1%
0,01635	0,04840	0,04610	0,04725	4,87%	92,2%
Observações:					
MF - 0: matriz sem adição do analito			MF - 1: matriz Fortificada 1 (adição do analito) replicata 1		
MF - 2: matriz Fortificada 2 (adição do analito) replicata 2			DPR: diferença percentual relativo		

Ainda por meio da análise de “Amostras Dopagem*”, é possível verificar que o sulfato já está presente em uma estrutura de concreto sem contato com o efluente. Conforme resultados das Tabela 3, Tabela 4 e Figura 10, observa-se que as amostras de concreto desmineralizado apresentam os maiores teores de sulfato, próximo a 23%. Devido ao teor de sulfato elevado, é comum a formação de compostos expansivos como a etringita e a formação de novos produtos como sulfato de cálcio hidratado, carbonato de cálcio, dentre outros. Conseqüentemente, a camada superficial referente ao concreto desmineralizado perdeu sua capacidade aglomerante. Por outro lado, à medida que a profundidade do concreto aumenta, o teor de sulfatos diminui. Note que, o concreto até a profundidade de 1,5 cm a partir da superfície já apresentou resultados inferiores aos limites fixados por Helene (2003), ou seja, inferior a 5% na pasta de cimento, indicando que a degradação não está muito profunda, sendo necessária apenas uma remoção superficial do concreto, para sua devida recuperação. Para o cálculo de recuperação foi utilizada a Equação (2).

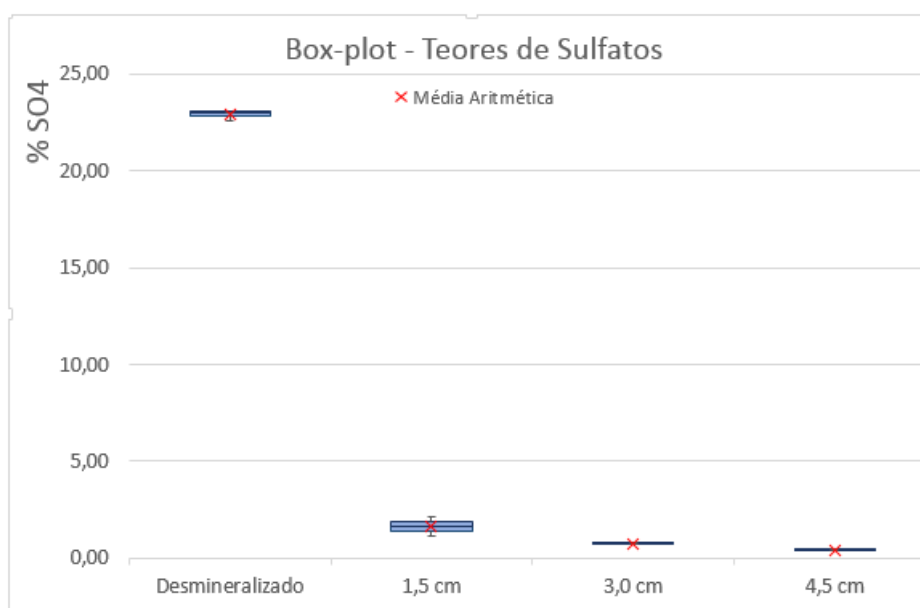
Tabela 3 - Valores de concentração, massa e porcentagem de sulfato encontrados pelo método turbidimétrico.

Amostra	Massa pesada (g)	Concentração (mg/L)	Massa de SO ₄ (g)	% de SO ₄
MF-0 Amostra Dopagem 3*	2,0003	43,3	0,0108	0,5412
MF-0 Amostra Dopagem 4*	2,0008	42,8	0,0107	0,5347
MF-1 Amostra Dopagem 7*	1,9319 + 0,06166	165,6	0,0414	2,0767
MF-2 Amostra Dopagem 8*	1,9397 + 0,06056	170,4	0,0426	2,1298
Desmineralizado 4	2,0012	2583,0	0,6458	32,268
Desmineralizado 5	2,0014	3394,8	0,8487	42,405
Desmineralizado 6	2,003	2812,6	0,70315	35,152
1,5 cm 3	2,0005	247,0	0,06175	3,087
3,0 cm 3	0,4994*	10,2	0,00255	0,511
4,5 cm 3	2,0007	26,4	0,0066	0,330

*Menor quantidade de amostra disponível que sobrou depois da realização de duplicata para o método gravimétrico

Tabela 4 - Valores de concentração, massa e porcentagem de sulfato encontrados pelo método gravimétrico.

Amostra	Massa pesada (g)	Massa Final	Massa de SO ₄ (g)	% de SO ₄
MF-0 Amostra Dopagem 1*	2,0001	0,0521	0,0214	1,0722
MF-0 Amostra Dopagem 2*	2,0029	0,0274	0,0113	0,5627
MF-1 Amostra Dopagem 5*	1,9392 + 0,06056	0,1175	0,0484	2,4184
MF-2 Amostra Dopagem 6*	1,9380 + 0,06025	0,1120	0,0461	2,3064
Desmineralizado 1	2,001	1,1189	0,4605	23,015
Desmineralizado 2	2,0005	1,1197	0,4609	23,038
Desmineralizado 3	2,0007	1,0992	0,4524	22,614
1,5 cm 1	2,001	0,1025	0,0422	2,108
1,5 cm 2	1,9996	0,0553	0,0228	1,138
3,0 cm 1	2,0023	0,0381	0,0157	0,784
3,0 cm 2	2,001	0,0373	0,0154	0,767
4,5 cm 1	2,0003	0,0225	0,0093	0,463
4,5 cm 2	2,0001	0,0183	0,0075	0,377

Figura 10 – Gráfico Box-plot dos teores de SO₄ (Método Gravimétrico).

$$\text{Recuperação} = \frac{\text{média-MF}_0}{0,03351 \text{ (media da massa de SO}_4 \text{ adicionada)}} \quad (2)$$

4.3 Considerações / Restrições de Estudos

Para o diagnóstico da estrutura poderiam ser realizados outros ensaios, que agregariam mais informações, tais como:

- Ensaio de resistência à compressão do concreto, sendo adotados como premissa a resistência especificada em projeto, para o concreto íntegro de 30 MPa (não degradado);
- Ensaio de Pacometria, objetivando verificar o posicionamento das armaduras para verificar o cobrimento de concreto e a realização de outros ensaios;
- Ensaio de potencial de corrosão das armaduras, que tem por objetivo determinar a diferença de potencial elétrico entre as armaduras, de modo a estimar a probabilidade de corrosão. Foi realizado apenas inspeção visual das estruturas do reator, que não apresentou danos visíveis significativos às armaduras. Durante etapa de obra, após remoção do concreto degradado deverá ser feita análise das armaduras e realização dos procedimentos de substituição das armaduras, caso apresentem perda de seção do aço.

5. DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL E TERAPIAS RECOMENDADAS

Através de inspeções de campo foram analisadas as manifestações patológicas nos elementos estruturais do Reator 1 e CDV4. O Reator 2 encontrava-se em operação, não sendo vistoriado, adotado como premissa o mesmo nível de degradação observado do Reator 1. A inspeção visual detalhada, anamnese e ensaios realizados na área interna da estrutura são de fundamental importância para análise global da estrutura do reator.

Dentre as manifestações patológicas observadas na área interna no Reator Anaeróbico, as mais frequentes foram desagregações do concreto e conseqüentemente sua desmineralização, localizadas internamente na laje de cobertura e nas paredes, acima do Nível d'água. Essas anomalias podem estar relacionadas à etapa de projeto, pois não foi previsto sistema de proteção nos canais de coleta de efluentes tratado e também associados à ausência de manutenção preventiva.

É importante destacar que o ambiente em um reator UASB é altamente agressivo, com a presença de substâncias químicas prejudiciais à estrutura, como o nitrogênio, fósforo, sulfatos e ácido sulfúrico biogênico. Desta forma, as estruturas presentes neste relatório foram classificadas expostas a uma classe de agressividade ambiental IV, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014. Não foi possível avaliar o cobrimento das armaduras, para verificar se durante a execução da obra, estavam compatíveis com a norma supramencionada.

Na laje de cobertura do reator, foram observadas fissuras de retração, geradas possivelmente em função de cura ineficiente do concreto. Além disso, há presença de produtos de corrosão de armaduras no concreto, nas paredes laterais dos reatores, com manchamento das superfícies externas, devido armaduras com baixo cobrimento nas faces superiores das paredes laterais de concreto armado. Nos demais elementos estruturais não foram observados presença de óxidos de ferro, isso indica que não há um estado avançado de corrosão das armaduras. Assim, pode-se considerar que no geral o concreto utilizado na construção da unidade é de boa qualidade e compacidade. A comprovação desse fato se dá através dos valores obtidos dos ensaios de profundidade de carbonatação, que apontou valores baixos nos ensaios, ou seja, um concreto menos permeável.

Em relação à estabilidade do reator, entende-se que as anomalias observadas não comprometam a estabilidade da estrutura, sendo passível de recuperação. Contudo, a evolução das anomalias que atualmente afetam a durabilidade e a funcionalidade das estruturas, possa vir a comprometer a estabilidade do Reator Anaeróbico, caso não seja tratada.

Para recuperação da unidade será necessária a paralisação do reator, limpeza, desinfecção e desmontagem das lonas dos separadores trifásicos. Somente após a recuperação e proteção de um

reator, será iniciada a recuperação da segunda unidade. Para completar os tratamentos de recuperação propostos, as superfícies internas do reator, situadas acima do N.A deverão receber uma camada de poliuretano elastomérico modificado, para proteção contra os gases, e as superfícies externas da laje de cobertura dos reatores, a aplicação de um sistema impermeabilizante.

Nas aberturas na laje de cobertura, situadas sobre zona de sedimentação do reator, serão instaladas grades em perfis de fibra pultrudados, capazes de resistir ao fluxo dos operadores e resistir quimicamente a agressividade do ambiente.

Com o objetivo de uniformizar as áreas tratadas, melhorando o aspecto visual e protegendo as superfícies externas, deve-se pintar todas as faces laterais externas do reator, utilizando tinta acrílica na cor cinza (tipo Metalatex).

Para a obra de recuperação deverá ser garantida a estabilidade da estrutura, através de um cimbramento adequado.

Assim, conclui-se que pontos mais vulneráveis dessas estruturas devem sempre estar perfeitamente identificados, tanto na fase de projeto quanto de construção, para que seja possível estabelecer, para estes pontos, um programa mais intensivo de inspeções e um sistema de manutenções (Souza e Ripper, 2009). Quanto mais cedo as enfermidades forem detectadas, menor terá sido a perda de desempenho, e mais simples e barato será o tratamento (terapia), que segundo Lei de Sitter (1984), adiar uma terapia significa aumentar os custos numa progressão geométrica de razão igual a cinco (regra dos cinco).

6. CONCLUSÃO

O reator UASB é uma tecnologia amplamente utilizada para o tratamento de esgotos em Minas Gerais - Brasil e em outros Estados, de custo construtivo e operacional relativamente baixo se comparado a outras formas de tratamento.

As manifestações patológicas observadas podem ser associadas à etapa de projeto, pois na época, previa-se proteção do concreto apenas para a região de coleta de biogás.

Para definição de terapia adequada para recuperação e proteção estrutural, o diagnóstico é, com certeza, a fase mais importante do processo, que definirá o sucesso ou fracasso dos processos a seres adotados. Para um diagnóstico mais assertivo, muitas vezes se faz necessário a realização de ensaios, que trarão informações, que nortearão o profissional a definir seu diagnóstico.

É importante ressaltar que para uma melhor comparação entre os dois métodos utilizados para análise dos teores de sulfatos seriam necessários mais dados para ambas as metodologias, o que resultaria em um estudo estatístico mais bem elaborado, visto que o recomendado seriam três valores para cada ponto de análise; sendo que neste estudo, devido as amostras disponíveis, foi utilizado apenas uma amostra para o método turbidimétrico e dois para o gravimétrico. Neste experimento observou-se que o teste por meio do método turbidimétrico pode ser sim uma alternativa mais barata e prática, para determinação de sulfato em concreto, validados pelo alto percentual de recuperação.

Para o reator analisado, foi possível indicar a sua recuperação, pois o ataque agressivo não atingiu as armaduras, estando a estrutura estável, além de ser economicamente viável, comparado aos custos de construção de nova unidade, em substituição à analisada.

Infelizmente muitas obras de recuperação são realizadas por profissionais que não detém conhecimentos especializados em estruturas e materiais, implicando em intervenções que não

conseguirão tratar as anomalias, e ainda poderão esconder o sintoma, que poderá se manifestar com maior severidade e risco de colapso, além do desperdício de recursos financeiros.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos à COPASA pelo incentivo na capacitação contínua de seu corpo técnico e à UFMG pela parceria.

8. REFERENCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014) *NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, Brasil.

ASTM International. (2018) *ASTM C114-18 Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement*. www.astm.org

Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., Hassell, D.G. (2009), A review on anaerobic–aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*. 155:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.06.041>

Centeno-Mora, E., Fonseca, P. R., Andreão, W. L., Brandt, E. M. F., Souza, C. L. S., Chernicharo, C. L. (2020), Mitigation of diffuse CH₄ and H₂S emissions from the liquid phase of UASB-based sewage treatment plants: challenges, techniques, and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*. 27:35979–35992. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08644-0>

COPASA. <https://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/esgotamento-sanitario/processos-de-tratamento>, acesso em 05/05/21.

Helene, P. “Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto. Reparo, Reforço e Proteção”. Red Rehabilitar. 718 p. São Paulo, 2003.

Mazer, W., Araújo, J. M., Medeiros, A., Weber, A. M. (2019), Evaluation of sulfate ions in degrading armed concrete structures of a sewage treatment station: case study. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. 4(17):1-8. <https://doi.org/10.1007/s41024-019-0056-6>

M. S. de A. Silva, J. R. Bertolino, M. H. F. de Medeiros, E. Pereira, J. G. M. Filho (2016). “Deterioração do concreto de reator anaeróbico de lodo fluidizado (RALF) para tratamento de efluentes domésticos” in: 58º Congresso Brasileiro do concreto, IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto.

Sitter, W. R. (1984). “Costs for service life optimization. The Law of fives” in: International CEB-RILEM workshop on durability of concrete structures. Proceedings... Copenhagen: CEB-RILEM, p.18-20.

Souza, V.C.M.; Ripper, T. (2009), “ Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto” Editora PINI, São Paulo, 255 p.

Influência de Espaçadores na Corrosão de Armaduras em Concretos Induzidos por Carbonatação

P. H. R. J. Marques¹, R. B. V. Andrada¹, E. C. B. Monteiro^{1,2}, W. W. Silva^{2*}

*Autor de Contato: wildsonws@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil

² Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

RESUMO

A vulnerabilidade das estruturas de concreto armado pode estar associada a alguns pontos de fragilidade. Objetivou-se avaliar o efeito de espaçadores na corrosão da armadura desencadeada por carbonatação. Corpos de prova de concreto armado foram submetidos à ensaios de indução da penetração de CO₂, velocidade de onda ultrassônica, profundidade de carbonatação e perda gravimétrica da massa das armaduras. Identificou-se que os corpos de prova com espaçadores de argamassa industrializada foram os que mais apresentaram indícios de corrosão. Esse estudo limitou-se ao cobrimento da armadura de 2,5cm, entretanto, realizadas de forma ampla e diversificada. Os espaçadores influenciaram a entrada de CO₂, favorecendo a despassivação e perda da massa gravimétrica das barras de aço.

Palavra-Chave: Corrosão; Concreto; Carbonatação; Espaçadores; Durabilidade.

ABSTRACT

The vulnerability of reinforced concrete structures may be associated with some points of weakness. The objective was to evaluate the effect of spacers on the corrosion of the reinforcement triggered by carbonation. Reinforced concrete specimens were subjected to tests to induce CO₂

penetration, ultrasonic wave speed, carbonation depth and gravimetric loss of the reinforcement mass. It was identified that the specimens with industrialized mortar spacers were the ones that most showed signs of corrosion. This study was limited to covering the 2.5 cm reinforcement, however, carried out in a wide and diversified manner. The spacers influenced the entry of CO₂, favoring the depassivation and loss of the gravimetric mass of the steel bars.

Keywords: Corrosion; Concrete; Carbonation; Spacers; Durability.

RESUMEN

La vulnerabilidad de las estructuras de hormigón armado puede estar asociada con algunos puntos débiles. El objetivo fue evaluar el efecto de los espaciadores sobre la corrosión del refuerzo provocada por la carbonatación. Las probetas de hormigón armado se sometieron a ensayos para inducir la penetración de CO₂, la velocidad de la onda ultrasónica, la profundidad de carbonatación y la pérdida gravimétrica de la masa de la armadura. Se identificó que las probetas con espaciadores de mortero industrializado eran las que más presentaban signos de corrosión. Este estudio se limitó a cubrir la armadura de 2,5 cm, sin embargo, se llevó a cabo de forma amplia y diversificada. Los espaciadores influyeron en la entrada de CO₂, favoreciendo la despasivación y pérdida de la masa gravimétrica de las barras de acero.

Palabras clave: Corrosión; Hormigón; Carbonatación; Espaciadores; Durabilidad.

1. INTRODUÇÃO

A deterioração das estruturas de concreto armado devido a corrosão da armadura é sem dúvida um dos principais problemas que comprometem a durabilidade das estruturas, implicando em sérios efeitos negativos de ordem estrutural, tais como: fissuração do concreto e perda de seção das barras de aço, prejuízos da aderência armadura/concreto, flechas e deformações excessivas da estrutura, destacamento do concreto e em estágios mais avançados, riscos de colapso parcial ou total da estrutura.

Os custos com manutenção das estruturas de concreto armado, principalmente causadas pelo envelhecimento, ainda são bem elevados. Os serviços de reparo e proteção de estruturas de concreto armado vem crescendo, exigindo a criação de novas soluções, para minimização dos problemas e diminuição nos custos de reparo (Ribeiro, 2014).

A presente pesquisa buscou avaliar o desempenho do espaçador quanto à corrosão do aço em peças de concreto armado, submetidos a carbonatação acelerada, sugerindo que estes elementos podem ser um ponto de fragilidade para a entrada de agentes agressivos como os íons cloretos e gás carbônico (Adamatti, 2016). Apesar da carbonatação ser um tema bastante discutido, o grande número de pesquisas, relacionadas aos espaçadores, ocorrem mais no âmbito dos íons cloretos.

Foi utilizado o método de aceleração da carbonatação por meio de câmara de carbonatação, em corpos de prova prismáticos de concreto com barras de aço, contendo ou não espaçadores de argamassa em seu interior. Utilizou-se o método de ultrassom, avaliando a homogeneidade do concreto dos corpos de prova prismáticos na presença e ausência dos espaçadores. Foi utilizado o método de potencial de corrosão, a fim de aferir e avaliar o grau da corrosão das armaduras, nos corpos de prova prismáticos.

Foram realizados ensaios e análises complementares em cada espaçador de argamassa, são eles: análise da variação dimensional, ensaio de resistência à compressão, ensaio de absorção por capilaridade e ensaio de absorção por imersão, logo após foram realizados ensaios complementares no concreto utilizado para confecção dos corpos de prova prismáticos, são eles: ensaio de resistência à compressão, ensaio de absorção por capilaridade e ensaio de absorção por imersão. Por fim, foram realizados o ensaio de profundidade de carbonatação, nos corpos de prova prismáticos, e uma análise da perda de massa gravimétrica das barras de aço.

Com relação as variáveis envolvidas na pesquisa, houve a variável independente, no caso o tipo de espaçador. No caso, os espaçadores escolhidos seguiram o critério de maior utilização na construção civil da Região Metropolitana do Recife (RMR), em Pernambuco, sendo eles compostos de argamassa, com a diferença entre a produção: um tipo industrializado e o outro confeccionado no próprio canteiro de obra. Como variável dependente, no aço: corrosão do aço CA-50 e Ø 6,3mm. São as variáveis de resposta do experimento: potencial de corrosão e perda de massa gravimétrica no concreto: resistência à compressão axial, absorção capilar e absorção por imersão, porosidade, profundidade de carbonatação acelerada. No espaçador: resistência à compressão axial, absorção capilar e absorção por imersão, profundidade de carbonatação acelerada. Considerou-se como condições fixas do experimento a idade dos ensaios e o modo de indução do ataque corrosivo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiais Utilizados

O cimento utilizado para a produção do concreto foi do tipo CII Z – 32, de acordo com a NBR 16697:2018, escolhido por ser um dos mais utilizados na construção civil da RMR, sempre oriundo do mesmo lote de fabricação.

Como agregado miúdo, foi utilizada areia média, fornecida na região de Recife/PE e proveniente do leito do rio. A massa específica de acordo com a metodologia NBR NM 52 (ABNT, 2009), possui um valor de 2,62 g/cm³ e a dimensão máxima característica, de acordo com a metodologia da NBR NM 248 (ABNT, 2003), possui um valor de 2,40mm. Como agregado graúdo, foi utilizada pedra britada de rocha diabásica. As pedras apresentam dimensão máxima de 12,5 mm, compatível com os corpos de provas prismáticos com tamanho reduzido. Após realizada a composição granulométrica, foi possível classificar, segundo a norma brasileira NBR 7211:2009, como brita 0. Foi utilizada água potável para mistura dos concretos, proveniente da rede de abastecimento da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP).

Os corpos de prova de aço empregados na pesquisa foram obtidos através de barras de diâmetro nominal 6,3 mm, categoria CA-50 e comprimento de 10 cm.

2.2 Os Espaçadores

Os espaçadores utilizados para a confecção dos corpos de prova foram de dois tipos:

- Espaçador de argamassa industrializados (EPI): produzidos e adquiridos em fábrica na região de Recife/PE, seguindo procedimentos e normas do próprio fabricante. Resistência à compressão de 25 Mpa e cobrimento nominal de 2,5 cm, segundo o fabricante.
- Espaçador de argamassa produzidos em obra (EPO): confeccionados in loco e cedidos por uma obra na região de Recife/PE, sem controle de qualidade, cobrimento nominal de 2,5 cm e seguindo procedimentos próprios. O traço utilizado pela obra foi de um volume de cimento para cinco volumes de areia, medidos em latas ou baldes. Não existe uma relação a/c (água/cimento) certa, a água é colocada até que o responsável pela execução considere que a compacidade da mistura está adequada para moldagem, isto sem nenhum procedimento ou controle formalizado. Este mesmo método é utilizado em várias obras da região.

Os espaçadores foram submetidos a ensaios de resistência à compressão, análise dimensional, absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão seguindo parâmetros e procedimentos das normas de concreto NBR 5739:2007, NBR 9778:2005 e NBR 9779:2012, a fim de caracterizar os espaçadores utilizados.

2.3 Dosagem dos corpos de prova

Os corpos de prova utilizados na pesquisa, tanto para os ensaios complementares quanto para os ensaios de corrosão, foram definidos em função do planejamento experimental e levando em consideração a disponibilidade de espaço físico na câmara de ensaio. Foram utilizados corpos de prova cilíndricos com dimensões 10 cm x 20 cm para os ensaios de resistência à compressão axial, absorção por imersão, absorção capilar, em concreto simples.

Para os ensaios voltados à corrosão das armaduras, os corpos de prova com aço tiveram forma prismática com dimensões 10 cm x 10 cm x 6 cm, conforme mostrado nas Figuras 1, 2 e 3. Em outras pesquisas relacionadas com o tema da corrosão do aço (Castro, 2003; Monteiro, 2002; Vieira, 2003; Vaghetti 2005), também foram confeccionados corpos de prova similares, com pequenas alterações de tamanho e disposições da armadura.

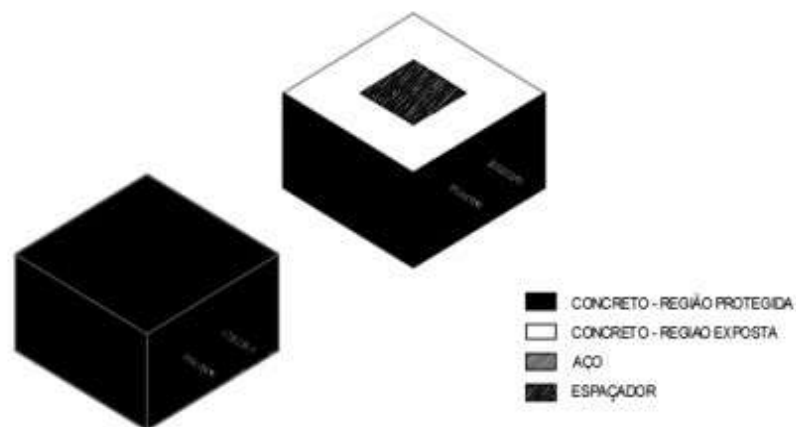


Figura 1. Perspectiva do corpo de prova.

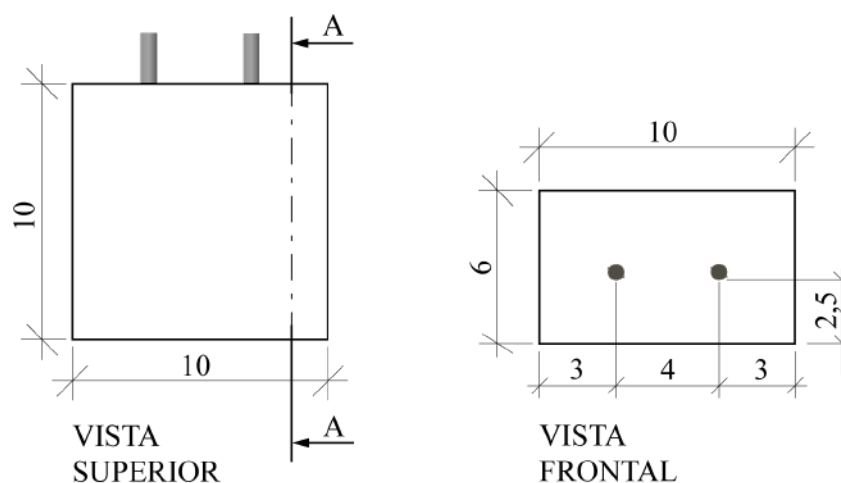


Figura 2. Vistas superior e frontal.

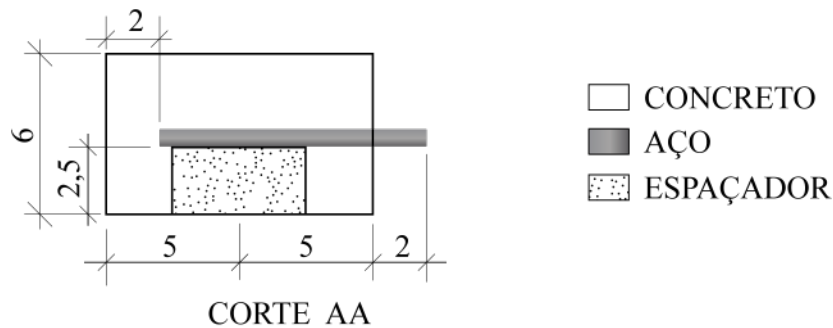


Figura 3. Corte AA da vista superior.

As dimensões dos corpos de prova com aço, adotadas para esse experimento, satisfazem as exigências da NBR6118:2014 com relação à dimensão máxima característica do agregado graúdo. Para cada tipo de espaçador foram feitos corpos de prova com espaçadores de argamassa produzidos em obra – CPAO com 20 unidades e corpos de prova com espaçadores de argamassa industrializados – CPAI com 20 unidades. Também foram moldados corpos de prova sem espaçador para referência (CPREF) com 20 unidades. As armaduras foram inseridas com auxílio de suporte, atendendo o cobrimento constante de 2,5 cm.

2.4 Dosagem do concreto

Com a finalidade de resultados mais próximo da realidade, foi definido para o experimento um único traço usual nas obras da região de Recife/PE, adotando-se todos os parâmetros como constante para os corpos de prova e resistência à compressão estimada de ≤ 30 MPa. O traço estabelecido para cimento: areia: brita e relação água/cimento foram: 1:0,75:2,75:0,55.

2.5 Moldagem e cura

A moldagem dos corpos de prova foi planejada para se ter o maior grau possível de homogeneidade e principalmente precisão de forma, dimensões e posicionamento de barra conforme Figuras 4, 5, 6 e 7. A forma foi feita por um conjunto composto por madeira e aço, de forma a manter a rigidez do sistema durante todo ensaio, sem alterar nenhuma dimensão dos corpos de prova devido a deformação da madeira.

Foi utilizada uma betoneira no procedimento de mistura do concreto. Posteriormente o concreto foi lançado por uma das faces paralelas à barra de aço em duas camadas, sendo cada camada adensada mecanicamente durante 10 segundos. Os corpos de prova foram desmoldados após 24h e mantidos em câmara úmida por 28 dias.

Após a cura e o ensaio de ultrassom, 5 faces do corpo de prova foram protegidas por uma tinta (Emulsão asfáltica) à base de água para concreto impermeabilizante, visando garantir que a penetração do dióxido de carbono se dê apenas pela face que contém o espaçador. Transcorridos os 28 dias de cura e após a pintura, os corpos de prova iniciaram um procedimento de secagem em ambiente de laboratório por 30 dias.

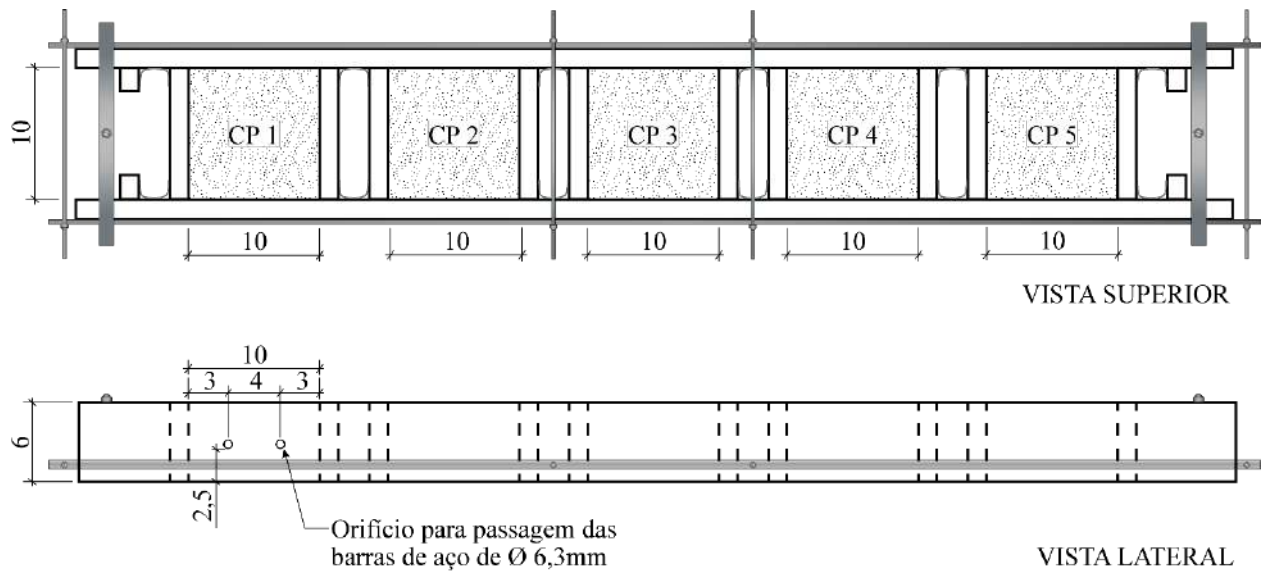


Figura 4. Esquema de moldagem dos corpos de prova.



Figura 5. Forma utilizada para moldagem dos corpos de prova.



Figura 6. Preparação da fôrma com espaçador industrializado de argamassa.



Figura 7. Preparação da fôrma com espaçador industrializado de argamassa.

2.6 Determinação da velocidade de propagação da onda ultrassônica

O ensaio tem como objetivo determinar a propagação de ondas dos 60 corpos de prova ensaiados (20 de referência, 20 com espaçadores industrializados de argamassa e 20 com espaçadores de argamassa produzido em obra), a fim de detectar as variações no concreto ao longo do tempo, devido aos espaçadores. O ensaio foi executado de acordo com a NBR 8802:2013. Para que garantisse que as superfícies estivessem secas, foram retirados da cura 1 hora antes de serem ensaiados e antes dos corpos de prova passarem pela pintura impermeabilizante. A realização do ensaio de propagação das ondas ultrassônicas ocorreu por meio do equipamento PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester) da C.N.S Electronics, Ltd, com transdutores de frequência de 54 kHz e cabos de 3 m de comprimento.

As leituras foram realizadas nos corpos de prova prismáticos, para permitir o acoplamento entre as faces dos transdutores e o concreto foi aplicada uma fina camada de gel. Logo após, os transdutores foram posicionados em faces opostas dos corpos de prova. Para cada ensaio registou-se o tempo de percurso das ondas (em μs) e mediu-se o comprimento do corpo de prova.

2.7 Método de indução e aceleração da corrosão

O método empregado para provocar a despassivação da armadura foi a carbonatação acelerada, utilizado por diversos pesquisadores, tais como: (Cadore, 2008; Nascimento, 2017; Papadakis, 2000; Vagheti, 2005; Vieira, 2003). Para isso o ensaio foi realizado em câmara de carbonatação construída. O procedimento consiste em utilizar uma câmara na qual introduz-se CO_2 em teores superiores aos encontrados na atmosfera.

A câmara de carbonatação utilizada na pesquisa foi desenvolvida seguindo os princípios de (Bauer, 1995) com algumas alterações. O gás na concentração de 100%, é injetada na câmara em sua parte inferior, sua saída é localizada na parte superior da câmara, como o ar é mais denso que o CO_2 , este se desloca por entre os corpos de prova expulsando o ar pela saída.

A câmara foi montada em uma caixa plástica de 80 litros, tamanho ideal para a introdução em seu interior de 20 corpos de prova com menor consumo de CO_2 , a saída e entrada de ar possuem registro para controle do fluxo. A vedação da câmara foi feita com silicone. O sistema utilizado para regular a pressão e a vazão do CO_2 é composto por um cilindro de CO_2 de 10kg acoplado em um regulador de vazão e pressão, podendo-se assim regular a vazão de gás que entra na câmara e a pressão no cilindro. Após o regulador de pressão foi colocada uma mangueira de silicone para

injeção de CO₂ na câmara. Esta também é dotada de um sistema de controle, para monitoramento das variáveis (concentração de CO₂, temperatura e umidade) no interior durante o ensaio, vide Figuras 8, 9 e 10.

O sistema é composto por:

Módulo sensor MQ-135: é um sensor de alta sensibilidade para gases tóxicos (NH₃, NO_x, C₆H₆, C₂H₆O e CO₂), garante uma resposta rápida ao sistema de monitoramento do ar. O módulo sensor é conectado ao Arduino ligando-se o pino positivo no 5V, o pino negativo no GND e o pino AOUT em uma porta analógica, dessa forma foi possível realizar a leitura do sinal analógico e acompanhar através do Serial Monitor do Arduino.

Módulo sensor de umidade e temperatura DHT-11: é um sensor que faz leitura de umidade e temperatura e informa ao microcontrolador como um Arduino. Possui saída digital garantindo alta confiabilidade e estabilidade.

Arduino Uno R3: Utiliza uma linguagem de programação C/C++ para o monitoramento da câmara. O microcontrolador lê os valores enviados pelos sensores e analisa conforme código de programação. O código foi elaborado e enviado ao microcontrolador através do software IDE arduino 1.8.5, possibilitando a leitura dos sinais enviados pelos sensores a cada segundo, permitindo assim o monitoramento da câmara em tempo real.

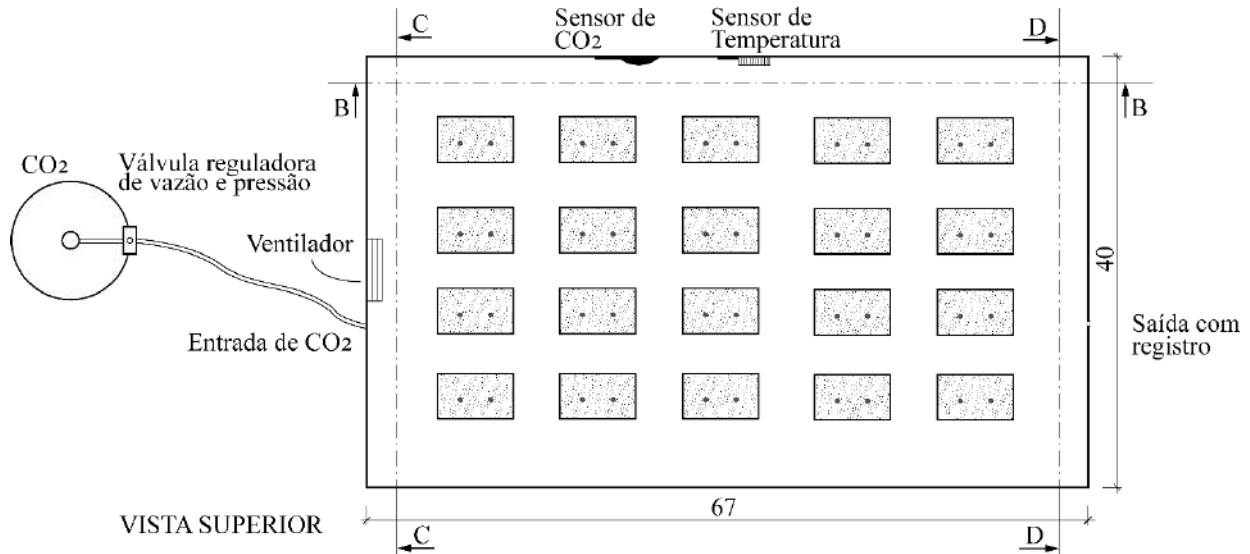


Figura 8. Esquema de câmara de carbonatação montada.

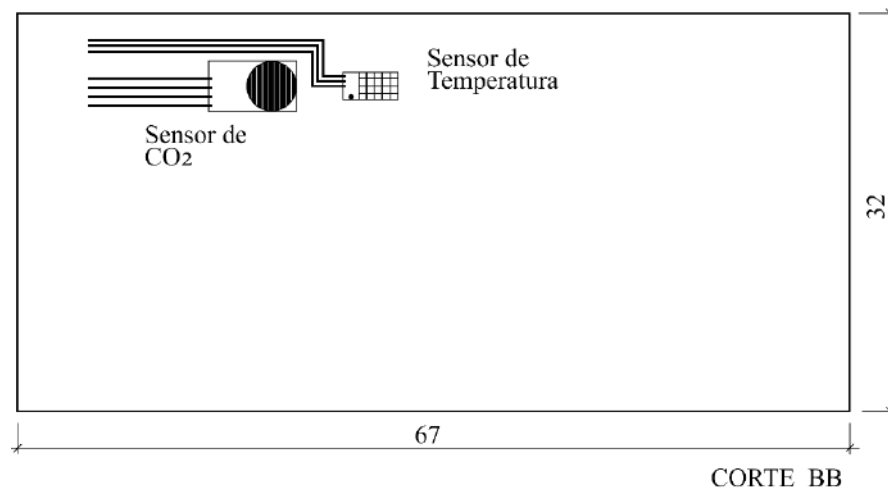


Figura 9. Detalhes da câmara de carbonatação montada, corte BB.

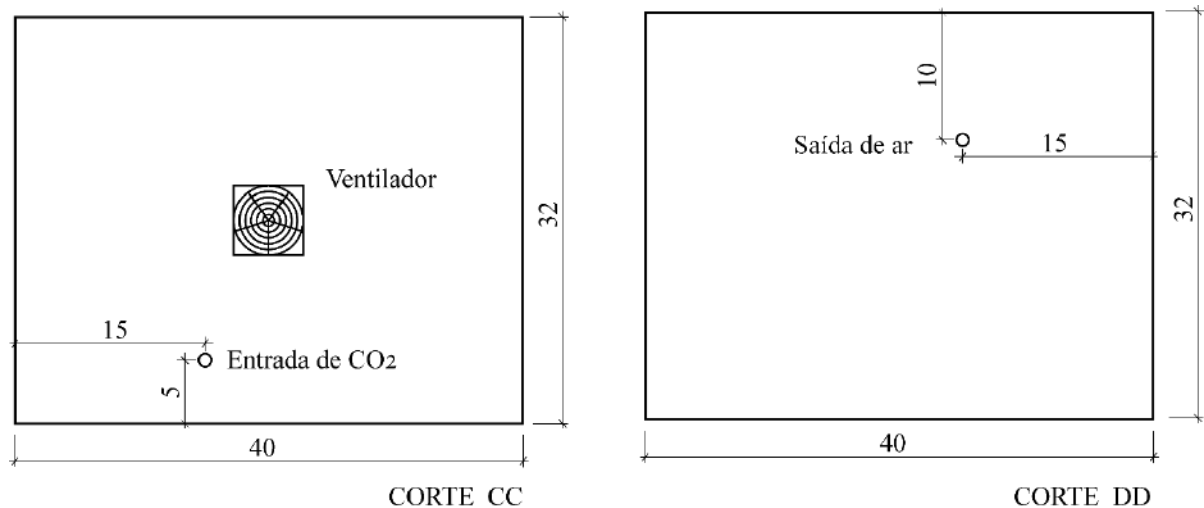


Figura 10. Detalhes da câmara de carbonatação montada, corte CC e DD.

3. ENSAIOS

Os métodos e ensaios realizados, foram determinados e encontram-se de acordo com o fluxograma na Figura 11, esclarecendo os processos a serem realizados.

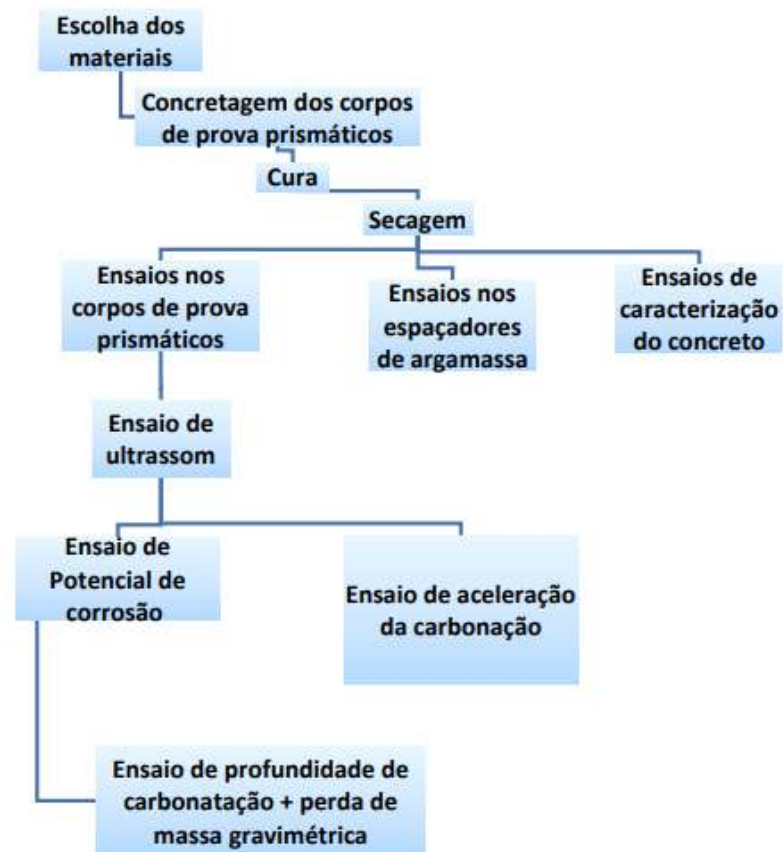


Figura 11. Fluxograma com metodologia de ensaios a serem realizados.

O ensaio acelerado de corrosão por carbonatação constituiu em submeter os corpos de prova à ação de CO₂, em câmara de carbonatação acelerada com concentração de CO₂ ≈100%. Os corpos de

prova, ao saírem da cura úmida, encontravam-se saturados, e por isto, não possuíam condições de serem submetidos imediatamente à carbonatação devido aos poros se encontrarem cheios de água, dificultando o ingresso de CO₂. Sendo assim, fez-se necessário um período de secagem em sala climatizada por 30 dias com temperatura igual a (25±2)°C e umidade relativa igual a (70±2)% antes de começar o ensaio de carbonatação.

Aos 58 dias, após período de cura úmida e secagem em sala climatizada, foram realizadas nos corpos de prova as primeiras medidas eletroquímicas (medidas de referência), que determina o potencial de corrosão. A partir de então os corpos de prova foram colocados na câmara de carbonatação acelerada para início do ensaio.

O ensaio foi realizado através da aplicação diária de dois fluxos intermitentes de CO₂ na câmara de carbonatação, com vazão de 20l/min e duração de 4 minutos. Como o volume total da câmara era de 80 l, a cada fluxo aplicado injetava-se um volume de CO₂ correspondente a aproximadamente 100% do volume total da câmara.

As medidas eletroquímicas, para determinação do potencial de corrosão, foram realizadas após 24 horas, 48 horas, 72 horas e 96 horas de permanência dos corpos de prova na câmara de carbonatação, sendo posteriormente realizadas a cada semana. O ensaio acelerado de corrosão por carbonatação foi realizado por um período total de 30 dias.

3.1 Potencial de corrosão

O estado superficial do aço foi avaliado mediante as leituras eletroquímicas do potencial de corrosão, segundo método descrito na ASTM C 876 (2015). A medida do potencial de corrosão de meia célula tem como base medir a velocidade e evolução do processo corrosivo da armadura, obtendo o potencial de corrosão através de um eletrodo de referência, o qual indica aproximadamente a probabilidade de ocorrência da corrosão e a consequente classificação do estado do concreto. (Lima, 2016).

O equipamento utilizado foi CANIN+, da marca Proceq, uma meia célula composta por cobre/sulfato (Cu/CuSO₄), utilizando uma vareta de cobre imersa em solução saturada com cobre, mantendo um potencial constante de 10MΩ. O eletrodo de referência é conectado por meio de um voltímetro de alta impedância ao reforço do aço, devendo ser deslocado na superfície do concreto em forma de grade, definida de acordo com a geometria da estrutura analisada, acima da superfície de concreto. As leituras de potencial foram realizadas após os 58 dias de cura (28 dias na cura úmida + 30 dias de secagem), sempre semanalmente, avaliando o estado qualitativo do aço ao longo do tempo.

3.2 Profundidade de carbonatação

A determinação da profundidade de carbonatação em ensaio acelerado foi realizada nos corpos de prova prismáticos (10cm x 10cm x 6cm) com aço, curados por 1 dia nos moldes, 28 dias na cura úmida e 30 dias de pré-condicionamento. Ao completarem 59 dias, os corpos de prova foram depositados na câmara de carbonatação acelerada. A espessura de carbonatação foi determinada após 30 dias de permanência na câmara, sendo nessa idade rompidos (fraturados pela metade) na prensa por compressão. Após o rompimento, foram limpas as superfícies de cada metade dos corpos de prova, para a retirada das partículas soltas decorrentes da fratura e receberam aspersão de solução de fenolftaleína a 1% segundo método RILEM CPC18/1988. Depois de decorrido aproximadamente 30 minutos, foi feita a leitura da profundidade carbonatada de cada face com auxílio de paquímetro. A espessura carbonatada (mm) foi tomada sendo a média aritmética das leituras dos 4 lados.

3.3 Perda de massa gravimétrica e taxa de corrosão gravimétrica

A perda de massa de cada barra seguiu recomendação do método ASTM G1 (1990). As barras foram limpas utilizando o mesmo método descrito no subitem 3.3.3 que fora inicialmente realizado quando as mesmas estavam sujas com o co-produto oriundo da oxidação da superfície do aço. Após a limpeza das barras de aço, elas foram pesadas com a mesma balança utilizada na determinação da massa inicial, obtendo-se as massas finais após a corrosão. A perda de massa (mg), foi calculada pela diferença entre a massa inicial e a massa final de cada barra.

4. ENSAIOS

4.1 Resistência à compressão do concreto

Foram moldados corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) simultaneamente aos prismáticos e posteriormente ensaiados aos 7 e 28 dias de acordo com os procedimentos da NBR 5738:2015 e NBR 5739:2018. Os resultados encontram-se na Tabela 1:

Tabela 1. Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto

Ensaio de Resistência à Compressão						
Idade	Traço	CP's	Carga (tf)	Tensão (Mpa)	Média (Mpa)	Média Total (Mpa)
7 dias	CP. REF.	1	20,1	24,2	24,8	23,7
		2	20,7	25,4		
	CP. AO	1	18,9	22,8	23,1	
		2	19	23,4		
	CP. AI	1	19,2	23,6	23,2	
		2	18,5	22,7		
28 dias	CP. REF.	3	25,4	31,2	31,1	31,2
		4	24,4	31		
	CP. AO	3	27	32,6	32,4	
		4	26,7	32,1		
	CP. AI	3	24,1	29	30	
		4	25,8	31		

4.1.1 Resistência à compressão do concreto

Também realizados em corpos de prova cilíndricos moldados simultaneamente aos prismáticos, seguindo parâmetros das normas NBR 9778:2005. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2:

Tabela 2. Resultados dos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto

Ensaio de Absorção de água, índice de vazios e Massa específica	
Característica	Resultado
Absorção (%)	3,77
Índice de vazios (%)	8,52
Massa específica seca (g/l)	2,26
Massa específica saturada (g/l)	2,35
Massa específica real (g/l)	2,57

4.1.2 Absorção por capilaridade

Por fim foi realizado o ensaio de absorção capilar para caracterização do concreto. O ensaio seguiu os parâmetros da norma NBR 9779:2012 e os resultados apresentaram resultados coerentes.

4.2 Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica

Com base nos ensaios e resultados obtidos com os corpos de prova de referência, dos espaçadores produzidos em obra e espaçadores produzidos industrialmente, foi possível analisar que todas as famílias de corpos de prova ficaram entre a condição boa e excelente em relação a velocidade de propagação ultrassônica. Como esperado, os melhores resultados foram obtidos dos corpos de prova de referência pois em seu interior não havia nenhuma descontinuidade (espaçadores). Os corpos de prova com resultados menos favoráveis foram os com espaçadores produzidos em obra, devido principalmente ao fato do qual os espaçadores possuem uma grande variação dimensional e em todos os casos, suas dimensões são maiores que os espaçadores de argamassa industrializados.

4.3 Ensaios de corrosão desencadeadas por carbonatação

Os resultados apresentados no gráfico mostram nitidamente que os corpos de prova com espaçadores apresentam valores mais negativos de potencial de corrosão na evolução do ensaio de carbonatação acelerada. O gráfico pode ser visualizado na Figura 12.

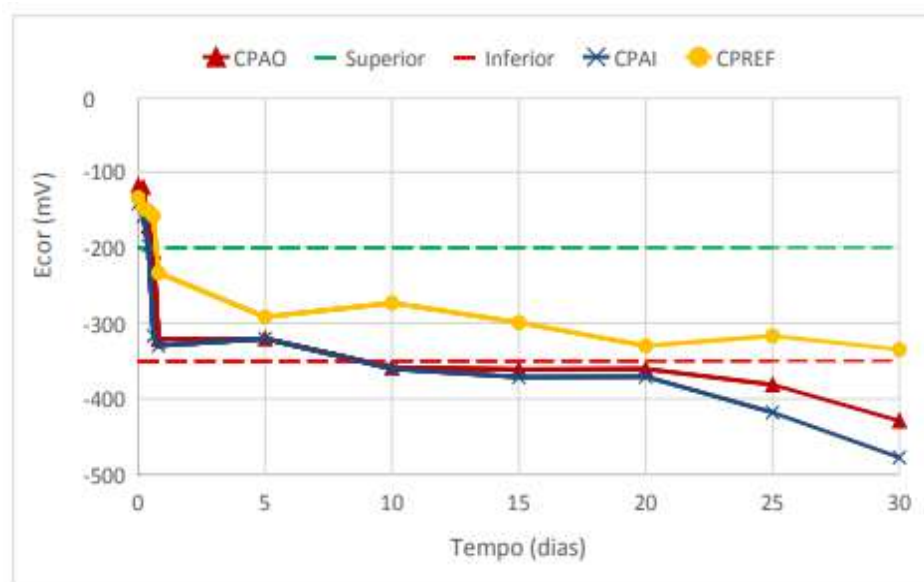


Figura 12. Evolução do potencial de corrosão – corpos de prova de referência, CP de argamassa industrializada, CP de argamassa produzida em obra.

4.4 Tempo de início da despassivação da armadura

Considerando o tempo de início da despassivação do aço como sendo, qualitativamente, quando ocorre uma queda brusca (variações de mais de 100mV, corrosão ativa segundo o ACI 222R/2001) nos potenciais de corrosão, pode-se definir aproximadamente o tempo em que ocorreu uma mudança significativa nos potenciais, caracterizando isso a provável despassivação do aço. O tempo de início da despassivação dos aços para as três famílias podem ser observados na tabela abaixo. Estão indicadas, também, as variações ocorridas nos potenciais (ΔE em mV) quando da provável despassivação dos aços.

Tabela 3. Tempo do início da despassivação

	CP REF	CP AI	CP AO
Tempo de Início	-	72 horas E=119,4 mV	96 horas E= 115,6 mV

4.5 Perda de massa e taxa de corrosão gravimétrica

A Tabela 4 apresenta os resultados das médias da perda de massa encontradas para as três famílias, pesadas logo após a limpeza.

Tabela 4. Perda de massa e taxa de corrosão gravimétrica

Família	Perda de massa		Taxa de corrosão
	mg	%	(mm/ano)
CP REF	67	0,54	0,0125
CP AI	82	0,75	0,0154
CP AO	79	0,67	0,0146

5. CONCLUSÕES

Através dos ensaios realizados pode-se concluir que a análise de variação dimensional dos espaçadores, comprovou que os espaçadores de argamassa industrializados, em sua maioria, não atingiram o cobrimento solicitado de 2,5 cm, ao contrário dos espaçadores de argamassa produzidos em obra, que ultrapassaram o cobrimento solicitado de 2,5 cm em todos os casos.

O ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica, comprovou-se que a presença dos espaçadores gera uma descontinuidade considerável no interior do concreto.

A câmara de carbonatação mostrou eficiência satisfatória, tendo em vista que todas as armaduras das famílias com espaçadores CP AI e CP AO passaram da condição de passividade para a condição de corrosão das barras de aço.

Em relação ao tempo de início de despassivação da armadura, os corpos de prova com espaçadores apresentaram efeito significativo. A família CP AI apresentou o menor tempo de despassivação das armaduras, enquanto a família de referência CP REF não foi possível detectar mudança significativa nos potenciais a ponto de caracterizar uma possível despassivação do aço.

Em relação à variação do potencial de corrosão em função do tempo, o incremento de espaçadores no interior dos concretos foi significativo na variação do potencial de corrosão. Concretos com espaçadores atingiram valores mais negativos de potencial de corrosão ao longo do tempo, apresentando uma condição mais favorável à ocorrência de corrosão.

Em relação à profundidade de carbonatação, o incremento de espaçadores no interior dos concretos, influenciaram significativamente uma maior profundidade de carbonatação. O aumento observado, em relação ao corpo de prova de referência, foi de 7,6% e 6,7% para os corpos de prova com espaçadores de argamassa industrializados e com espaçadores de argamassa produzidos em obra, respectivamente.

Em relação à perda de massa gravimétrica das barras, o incremento de espaçadores no interior dos concretos, acarretou uma maior perda de massa gravimétrica. Ao acrescentar os espaçadores de argamassa industrializados e espaçadores de argamassa produzidos em obra, obteve-se respectivamente, um aumento de 22,4% e 17,9% na perda de massa gravimétrica.

É possível afirmar, após todas as conclusões e procedimentos realizados, que os espaçadores influenciam diretamente não apenas na entrada de CO₂ no concreto, diminuindo o tempo de início de despassivação das barras, como também na perda de massa gravimétrica das barras de aço e na profundidade de carbonatação. Os espaçadores de argamassa industrializados apresentaram um desempenho inferior em relação aos espaçadores produzidos em obra, quando avaliados do ponto de vista de carbonatação.

6. REFERÊNCIAS

- Adamatti, D. S. (2016). “Análise da eficiência de espaçadores no concreto armado: impacto da corrosão por íons cloreto em diferentes condições de exposição”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 35.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). *NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). *NBR 14931: execução de estruturas de concreto: procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos- Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2011). *NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 8802: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *NBR 5739: Concreto - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.
- Cadore, W.W. (2008). “Estudo da carbonatação da camada de cobertura de protótipos de concreto com altos teores de adições minerais e cal hidratada”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria.

- Castro, A. (2003). *“Influência das adições minerais na durabilidade do concreto sujeito à carbonatação”*, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás.
- Lima, M.G. (2015). *“Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto”*. In: ISAIA, Geraldo Checella. (Ed) *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo, Brasil.
- Monteiro, E.C.B. (2002). *“Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras”*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Nascimento, R.Z. (2017). *“Efeitos da sílica ativa, cinza volante, metacaulim e cinza de casca de arroz sobre a velocidade de carbonatação do concreto”*. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Universidade Federal do Paraná.
- Papadakis, V. G., Vayegas, C. G., Fardis, M. N. (1991). Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation. *ACI Materials Journal*, n. 88, p. 363-373.
- Ribeiro, D. V., Cunha, M. P. T. *“Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e Métodos de análise”*, Rio de Janeiro, Campus, 1ª ed., cap. 6.
- Vaghetti, M. O. A. (1999). *“Efeitos da cinza volante com cinza de casca de arroz ou sílica ativa sobre a carbonatação do concreto de cimento Portland”*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, p. 111.
- Vieira, F. M. P. (2003). *“Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concretos com adição de sílica ativa”*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Patología y daños del lenguaje técnico.

V. Alegre^{1*}

*Vicente Alegre Heitzmann: info@cotca.com

¹ COTCA, S.A., UPC, Barcelona, España

RESUMEN

La importancia de utilizar bien el lenguaje es una tarea que viene de lejos, la palabra es una herramienta clave desde que los homínidos se convirtieron en seres sociables. Se presenta aquí algún ejemplo histórico y varios actuales para incidir en la necesidad de plantear la mejora continua en la comunicación, que el lenguaje técnico escrito gane en claridad y precisión, y sea capaz de empatizar con el lenguaje social, político, periodístico, forense, convirtiéndose en una búsqueda común de la verdad. En el futuro se ha de ser capaz de acercarse al lenguaje poético que las estructuras nos enseñan comportándose y agrietándose con el lenguaje técnico asociado al principio de la mínima energía con que nos hablan.

Palabras clave: lenguaje, técnico, energía, daños, poesía.

ABSTRACT

The importance of using language properly is a task that comes from far ago, the Word is a key tool since hominids become sociable beings. Some historical and several current examples are presented here to influence the to propose continuous improvement in communication, so that written technical language gains clarity and precision, and it can empathize with social, political, journalistic, forensic language, becoming a jointly search for the truth. In the future, it will be necessary to be able to approach the poetic language that structures teach us, behaving and cracking with the technical language associated with the principle of the minimum energy with which they speak with us.

Key words: language, technical, energy, damage, poetry.

RESUMO

A importância de usar bem a linguagem é uma tarefa que vem de longe, a palavra é uma ferramenta fundamental, já que os homínídeos se tornam seres sociais. Alguns exemplos históricos e diversos atuais são apresentados aqui para influenciar a necessidade de propor melhoria contínua na comunicação, que a linguagem técnica escrita ganhe clareza e precisão, e seja capaz de empatizar com a linguagem social, política, jornalística, forense, tornando-se uma busca comum pela verdade. No futuro, será necessário saber abordar a linguagem poética que as estruturas nos ensinam, comportando-se e rachando com a linguagem técnica associada ao princípio da energia mínima com que nos falamos.

Palavras-chave: linguagem, técnica, energia, dano, poesia.

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras y los subsistemas ligados a ellas se comunican con el entorno y se puede hablar con ellas, porque dicen dónde les duele, utilizando un lenguaje que gasta la mínima energía para expresarse. Es un hablar lleno de matices que hemos de ser capaces de descifrar y traducir a un lenguaje “técnico” que refleje correctamente el mensaje de la estructura y su entorno.

El lenguaje es una herramienta clave desde los tiempos bíblicos “En el principio era la palabra...” (1). No obstante, la palabra está siendo denostada por muchos que viven tergiversando el lenguaje o utilizándolo sin la necesaria precisión técnica, difícil, o incluso, sin la debida ética.

En este artículo se reivindica el correcto uso de la **palabra**, uso que muchos técnicos han tratado de desarrollar. Es el caso de uno de los primeros promotores e impulsores de estos “Congresos de control de calidad y patología de la construcción” CONPAT, el profesor y Doctor Ingeniero de Caminos, Álvaro García Meseguer, que en un memorable artículo en 1985 (2) ya señalaba que “la frontera entre las ciencias aplicadas y las ciencias sociales ha perdido ya su sentido. En la base de este mundo unitario se sitúa el lenguaje”.

Aunque la transversalidad del conocimiento nos permita creer que todos sabemos de todo, hay que tener la humildad suficiente para reconocer cuán lejos estamos de expresarnos correctamente, de conocer en profundidad el lenguaje y en concreto el de las patologías constructivas.

Estadísticamente, sabemos que un 75% de las causas de los daños son errores humanos y de ellos el factor que más influye es el de las deficiencias en la comunicación con porcentajes de hasta el 82,4% (3) de ese 75%.

La comunicación es “la acción y efecto de hacer saber algo a alguien” y es el proceso por el cual se envían y reciben mensajes. Según Shoet y Frydman (4) un 52% de toda la comunicación utilizada permanece registrada por tener un formato escrito. Al lenguaje escrito que contribuye a explicar las causas de los daños se refiere este artículo.

2. LA IMPORTANCIA DEL LENGUAJE

El lenguaje técnico es el que trata de interpretar el comportamiento de las estructuras siguiendo también el principio de la mínima energía, y creando conceptos y condensando palabras que nos ayuden a describir con criterio técnico los estados límites últimos y de servicio de las estructuras para valorar el riesgo de disfunciones.

Empezaré reconociendo mis limitaciones con un ejemplo. He hablado al comenzar de la importancia ya bíblica de la “palabra” que traducida del griego “logos” podría haber sido “el verbo” que tiene unas connotaciones más trascendentes, que son objeto de un lenguaje poético que no alcanzo, y que se expresa en el siguiente poema de Juan Ramón Jiménez (5) que busca la esencia de la palabra, su “nombre exacto”:

*¡Inteligencia, dame
el nombre exacto de las cosas!
...Que mi palabra sea
la cosa misma,
creada por mi alma nuevamente.
Que por mí vayan todos
los que no las conocen, a las cosas;
que por mí vayan todos
los que ya las olvidan, a las cosas;
que por mí vayan todos
los mismos que las aman, a las cosas...
¡Inteligencia, dame
el nombre exacto, y tuyo,
y suyo, y mío, de las cosas!”*

2.1 El lenguaje técnico en la historia.

Desde el punto de vista técnico-práctico algunos ejemplos documentales de gestión de daños se citan resumidamente y solo a modo de ilustración a continuación, con la terminología y la idiosincrasia de cada época:

2.1.1 Siglo XVII (a. d. C.)

El código de **Hammurabi** (1692 a.C. - Figura 1) gestiona los daños, con daños cruelmente proporcionales. Aparece el lenguaje forense de la justicia, aunque con penas, como se verá, muy distintas a las actuales (6).



Figura 1. Código de Hammurabi.

“Si un constructor ha edificado una casa para un patricio, pero no ha hecho la obra sólida, de modo que la casa que ha construido se ha caído y ha causado la muerte de su propietario, el constructor será muerto.

Si el constructor ha causado la muerte del hijo del propietario de la casa, su hijo será muerto.

Si se ha causado la muerte del esclavo del propietario de la casa, dará al propietario un esclavo a cambio.”

2.1.2 Siglo I

Volvamos a la palabra poética. Las grietas son siempre un lenguaje positivo porque indican el camino técnico a seguir. Las grietas transmiten un “lenguaje”, en el siguiente caso que citaré se trata de un lenguaje de amistad porque el daño estaba estabilizado.

Véase el efecto de la grieta en el muro de la fábula de Píramo y Tisbe (7), tal como la narra Ovidio en el siglo I; leamos a Ovidio:

“Píramo y Tisbe, él el más bello de los jóvenes, ella la más excelsa de las muchachas que en Oriente había, vivían en casas contiguas, allí donde dicen que Semíramis ciñó con murallas de ladrillo su ilustre ciudad. La vecindad hizo que se conocieran y que su amistad diera los primeros pasos, el tiempo hizo que creciera su amor. Y se habrían unido en legítimo matrimonio si sus padres no se lo hubiesen prohibido; pero no pudieron prohibir que ambos ardieran cautivos por la misma pasión. Nadie está al corriente de su amor, se comunican con gestos y señas, y el fuego, encubierto, más arde cuanto más se le cubre.

En la pared que separaba las dos casas se abría una estrecha rendija que se había formado tiempo atrás, cuando el muro había sido construido. Durante largos siglos nadie había notado ese defecto: fuisteis vosotros, enamorados, los primeros en verla (¿qué se le escapa al amor?), y en hacer de ella un camino para vuestras voces; a través de ella solían viajar seguras, en murmullos casi inaudibles, las tiernas palabras que os decíais. Muchas veces, cuando se hallaban uno a cada lado, Tisbe aquí, Píramo allí, y ambos habían percibido la respiración de sus bocas, decían: “¿Por qué te interpones en nuestro amor, pared cruel? ¡Qué bueno sería que nos permitieras unir por entero nuestros cuerpos o, si eso es pedir demasiado, que nos dejaras espacio para un beso! Pero no somos desagradecidos: sabemos que a ti te debemos que nuestras palabras puedan llegar a oídos amigos.”

Los amantes no solo hablan a través del muro y de sus grietas, sino que se dirigen al muro mismo, agradeciéndole su complicidad. La poesía de Ovidio humaniza, como se puede ver, el muro y el daño.

2.1.3 Siglo XVIII

Ya en la edad contemporánea se pierde la poesía, al menos en el siguiente caso. El primer hecho perfectamente documentado en España de la gestión de un daño, en el que intervienen todos los agentes, es el problema que podríamos titular como “La viga de Ohanes” que, además de reflejar la idiosincrasia de la época, nos acerca a los casos actuales que siguen en ocasiones pautas parecidas o casi idénticas.

***Ohanes** de las Alpujarras (1734-1740 d.C.). Ver a continuación el texto adjunto (8) en el que, de forma resumida, el maestro en 1934 se queja al alcalde de tener una viga de la cubierta de la escuela rota, el alcalde manda sin prisas a los peritos, éstos informan de que “la viga amenaza caer pero nunca aplastar” y, posteriormente, en 1740, se cae la viga y mata al maestro y a los 14 alumnos que había en el aula, y queda demostrado según el cronista de la época que fue un accidente fortuito.

-La educación del maestro:

“Tengo el honor de poner en su conocimiento la inquietud que me produce ver la viga que media la clase que regento pues está partida por medio, y ha formado una especie de embudo que recoge las aguas de las lluvias y las deja caer a chorro tieso sobre mi mesa de trabajo... espero de su amabilidad ponga coto a esto si no quiere que ocurra alguna desgracia con los niños y su maestro”. Este su muy seguro servidor. Dios guarde a usted muchos años. Ohanes. Firmado y rubricado. 1734.

-La prepotencia del alcalde (administración), que contesta al año siguiente (1935), diciendo:

“Recibo con gran extrañeza el oficio que ha tenido a bien dirigirme y me apresuro a contestarle, es cosa rara que los agentes de mi autoridad no me hayan dicho nada de eso referente a la viga y, es más, pongo en duda que se encuentre en esas condiciones pues según me informa el tío Sarmiento no hará 60 años que se puso...”

Tras otro cruce de cartas en octubre de 1735, después de reñirle por pesado le dice: *“No obstante, nombraré una comisión que me informe sobre el asunto de la viga”*.

-La terminología y el lenguaje de los peritos (peritos de parte) un año después (mayo 1736):

“La dicha viga no se ha caído solo se ha bajado cosa de 10 o 12 deos, amenazando solo caer pero nunca juntarse con el suelo aplastando a los que coja dentro...” y tratan de explicarlo mejor “pero

como quiera que la madera es un cuerpo astilloso tiene que crujir antes de pegar el golpazo, dando tiempo a que se salven... ”.

-El cronista de la villa, seis años después (diciembre 1740):

“El día 14 de octubre del año de Nuestro Señor Jesucristo 1740, siendo alcalde de esta villa Don Bartolomé Zancajo y Zancajo y siendo las doce de su mañana se hundió el techo de la escuela de esta localidad, pereciendo en el siniestro el señor maestro de primeras lecturas D. Zenón Garrido Martín y los 14 niños que en aquellos momentos daban su clase.

Abierto el oportuno expediente se ha podido comprobar que, por parte de la autoridad competente se tomaron todas las medidas... ver informe del buen estado del local de 1736... quedando plenamente demostrado que únicamente un accidente fortuito fue el responsable del hundimiento ”.

En este documento ya se dibuja el perfil de los intervinientes y sus intereses, y podríamos abrir la discusión de quiénes son los responsables del desaguizado y en qué porcentaje.

Lo que no se le puede negar al pasado es la importancia y contundencia de la palabra, sin cuyo desarrollo no existiría el mundo que conocemos. La “palabra de honor” y un choque de manos, tenía un valor eterno, incuestionable y permitía cerrar tratos y negocios de forma indeleble, incontestable. En la actualidad un contrato de un tema técnico con la administración requiere tiempo (mucho), abogados y futuros desencuentros. Contra eso, los técnicos luchamos creando obras de “urgencia” e incluso de “emergencia” para poder dar respuesta técnica a la gestión de daños, a pesar de las trabas administrativas, políticas y sociales.

2.2 El lenguaje técnico en la actualidad.

Las grandes catástrofes inducen al avance de las tecnologías; también inciden en el lenguaje. Por ejemplo, la rotura en 1802 de la presa de Puentes de Lorca fue el detonante de la apertura por Agustín de Betancourt en España de la Escuela de Caminos, que fue, ha sido y será el fundamento e impulso del lenguaje técnico. De la misma forma, para los que ahora empiezan en los estudios de daños es importante conocer el lenguaje técnico y ampliar el lingüístico y las herramientas que ambos ofrecen para conectar con la sociedad. A ellos van dedicadas estas líneas que solo pretenden, a través de ejemplos poco estructurados, seguir despertando la inquietud por la mejora continua de un tema que es tan inabarcable como esencial.

En esa línea, en el 2014 se presentó el Diccionario Español de Ingeniería que cuenta con más de 50.000 entradas y 1500 glosarios. En su elaboración trabajaron durante más de una década 100 especialistas. En un artículo reciente de la *Revista de Obras Públicas* (9) se nos invita a enviar palabras que no figuran en él.

El lenguaje actual no siempre aprecia la sinceridad, puede ser sibilino, es ruidoso (“el ruido hace nacer en el ignorante la idea de la fuerza” como se observa, volviendo a la transversalidad, en muchos discursos políticos), dista de ser cercano y amable, consensuado y, últimamente, contagiado por el ambiente político y social, no teme “propagar el bulo y la mentira”.

El lenguaje técnico se incorpora a todos lo que intervienen en el proceso constructivo: arquitectos, ingenieros, técnicos, periodistas, peritos, abogados, políticos y la sociedad en general, todos con sus “tics” y sus limitaciones de conocimiento técnico y/o lingüístico.

Y en esto cabe siempre recordar la sentencia de Eduardo Torroja:

“Es importante que el ingeniero de caminos aprenda idiomas, por lo menos uno, el español”.

2.2.1 Palabras que triunfan inopinadamente, sin estar bien definidas o aplicadas.

Veamos a continuación algunos ejemplos de términos que han triunfado, aunque a veces inmerecidamente:

***Riesgo cero**

Se suele afirmar: “La solución que se utiliza ha de tener riesgo cero”, cuando todos sabemos que el riesgo cero no existe, será 10^{-6} , pero no cero.

*Aluminosis

El cemento aluminoso tiene muchas aplicaciones y no precisamente negativas, pero los edificios tienen “aluminosis”, sin saber si es culpa de la curva de endurecimiento del cemento, de la transformación de los aluminatos, de la hidrólisis alcalina, o de la carbonatación del hormigón, o de todas esas causas o de parte de ellas. La realidad es que hay cientos de miles de metros cuadrados de forjados de viguetas fabricadas con cemento aluminoso sin problemas tras más de 50 años de vida útil.

*Muro verde

Otras palabras consiguen desplazar con carácter publicitario su verdadero rol estructural: por ejemplo “muro verde”. Pero lo cierto es que el elemento de contención (muro) no es verde (Figura 2). Se sugiere que las plantas que crecerán en el “talud” colaborarán a contener la superficie de las tierras (Figura 3). El muro llamado verde es en realidad un talud reforzado con armaduras en cuya superficie crecen las plantas que al enraizarse refuerzan el perímetro. Reforzar antes de empezar puede parecer peyorativo, lo que no ayuda a su promoción y venta.



Figura 2. “Muro verde” recién ejecutado.



Figura 3. “Muro verde” tras el paso de 5 años.

*Forjado unidireccional

El forjado unidireccional, siempre trabaja en las dos direcciones por el efecto placa en la dirección perpendicular, que permite la colaboración de las vigas adyacentes. El término “unidireccional” se entiende porque el forjado tiene el elemento resistente principal en una sola dirección, mientras que el bidireccional tiene elementos principales resistentes en las dos direcciones. Pero si, por ejemplo, quieres profundizar en el comportamiento deformacional, no puedes ceñirte a considerar una sola dirección.

*Pintura anti...

- Pintura anticarbonatación

En realidad, cualquier pintura lo es, porque frena como revestimiento activo el paso del CO₂ del aire.

- Pintura antihumedad

Si tengo problemas de humedad, nada mejor que una “pintura antihumedad”, aunque la causa no la arreglo y no servirá para nada, ni siquiera a corto plazo. Eso sí, los primeros días parecerá que está arreglado, mientras no se despierte la causa.

- Pintura ignífuga

La pintura resistente al fuego lo es, pero solo en unas condiciones determinadas de adherencia, espesor, compatibilidad y tiempo (para una resistencia al fuego de X minutos).

*Plazas duras

Nombre dado en los años 80 a las plazas pavimentadas, que subrayaba algo que ahora criticamos porque queremos volver “al verde”, a la tierra.

*Plaza verde

Un “puente urbano de carretera”, lenguaje ingenieril, difícilmente será una “plaza verde”, lenguaje arquitectónico. Por mucho que se pongan bancos, muros vegetales (o sea, plantas trepando por una estructura metálica) y árboles, pasan coches y hay que poner barandillas que soporten una energía de impacto y cumplir la IAP-11 (instrucciones de puentes) (Figura 4).



Figura 4. Ejemplo de “plaza verde” o “puente urbano”.

*Cargas conservativas

Aquí debería utilizarse el lenguaje técnico común: “acciones o cargas permanentes, cargas variables, concargas y sobrecargas”. Sin embargo, en ocasiones se busca un lenguaje que haga intuir al no técnico conceptos no normados técnicamente. Con ello inducen a la confusión, al no estar incluido ese concepto en el vocabulario de la normativa.

*El edificio es sólido

En cierta ocasión para admitir el uso de un edificio que tras un percance se había arreglado, la administración exigía que se firmara que “el edificio es sólido”; una vez escrito y firmado por el técnico responsable, éste comentó irónicamente: “lo firmo porque ni es líquido, ni es gaseoso”.

*Características técnicas en las fichas

Como su denominación indica, estas fichas deberían caracterizar técnicamente las propiedades del producto. Sin embargo, parapetados en que son productos con patentes, es habitual ver que con tal de vender subrayan con adjetivos calificativos, términos que se acercan a mentiras técnicas. Las fichas técnicas no deben decir, por ejemplo, “excelente adherencia” o “buena adherencia”, sino que la “adherencia será superior a X de acuerdo con la norma Y”.

De forma general, cuando controlo la calidad tengo que saber qué concepto o propiedad controlo. Por ejemplo, propiedad: “**la consistencia**”; con qué norma: la **UNE EN 12350-2 (2006)** y cuál es el criterio de aceptación y rechazo: Si he pedido consistencia blanda será **entre 6 y 9cm con una tolerancia de $\pm 1\text{cm}$ (EHE-08)**. Este es el concepto de control de calidad.

Por esta razón, como técnicos no es admisible quedarnos solo en los adjetivos:

Los adjetivos comúnmente utilizados que deberíamos definir con propiedad son interminables: “**fácil** puesta en obra”, “**elevada** resistencia a la difusión”, “**ecológico**”, “**sumamente elástico**”, “**gran** resistencia”, “**especialmente** indicado”, “**atenúa** el ruido”, etc.

Las fichas deben incorporar el lenguaje técnico:

- “**Importante** efecto barrera frente al agua”. El efecto barrera se puede medir, por ejemplo, con el concepto de permeabilidad definida en la norma UNE-EN-12390-8, en que se establece como criterio de aceptación un valor medio y otro máximo.

Del mismo modo, es frecuente leer lo siguiente: “Adhiere **perfectamente** sin imprimación sobre la mayoría de los materiales de la construcción”. Esto tendría cierto sentido siempre que la adherencia química y mecánica hubieran sido garantizadas previamente; la primera porque se aplica en el momento idóneo, dentro de su tiempo abierto, y la segunda porque al no imprimir he abierto el poro del material con algún tratamiento previo y siguiendo el protocolo del anejo 2 de la ICRI 97.

- Presenta un acabado “**listo** para pintar”. Técnicamente hay que saber si pide planeidad, rugosidad, grado de humedad, limpieza... y todo ello siempre de acuerdo con una norma y un criterio de aceptación o rechazo.

*Hormigón sin retracción

A pesar de la denominación, la realidad es que no existe hormigón sin retracción, porque las reacciones de hidratación del hormigón llevan consigo la retracción del mismo, que es el acortamiento que sufre el hormigón endurecido cuando está expuesto al aire con humedad no saturada.

*Hormigón de retracción compensada

Aquí empezamos a acercarnos a la realidad, ya que, por ejemplo, colocamos aditivos con cementos expansivos que contrarrestan la retracción. Sin embargo, aquí también habría que ver a qué edades se compensan, si tienen distintas curvas de endurecimiento y hasta dónde se equilibran.

*Mortero elástico

¿A qué elasticidad se refiere? Todos tienen un módulo de elasticidad, ¿qué valor tiene?, ¿de acuerdo con qué norma?

*El soporte ha de estar seco

A veces la propia ficha te dice implícitamente que no apliques el producto: “**el soporte ha de estar seco**”. Y, en realidad, no existe ningún material de obra seco, o sea sin agua, ya que cómo mínimo contiene la humedad de equilibrio que se establece con la humedad relativa y temperatura de su entorno. Si admite algo de humedad, se puede mejorar diciendo: “la humedad de la base será inferior al 6%, y como eso suele ser también difícil, se puede decir mejor técnicamente (si es

verdad): “para su aplicación será necesario que estemos tres puntos por encima de la temperatura de rocío para evitar que se produzcan condensaciones” antes de aplicar el producto. En definitiva, hay siempre cosas más difíciles de controlar, pero si la norma (o el protocolo, cuando no hay norma) están establecidos se pueden controlar, es el caso del color del hormigón, ya que los colores tienen unas longitudes de onda definidas según un RAL con sus horquillas de valores. Otro ejemplo, menos técnico: Se puede controlar la calidad “estética” de un proyecto porque lo mide un jurado de especialistas con un protocolo previo establecido. Es decir, propiedad a controlar: la “estética”; norma: el criterio del jurado con su protocolo; criterio: el mejor puntuado de los presentados.

***Los “titulares periodísticos”**

Sobre este tema, la casuística es muy extensa, y todos los días los periódicos nos sorprenden con nuevos textos fallidos.

Ejemplos periodísticos:

- Subtitular de “El Periódico” (Figura 5): “el centro fue construido hace 14 años en una zona de aguas subterráneas, por lo que podría ceder en cualquier momento bajo el peso del millar de alumnos que asisten a clase”. Lo que había ocurrido tenía poco que ver con lo afirmado. Se trataba de un tramo de un forjado sanitario (suelo de planta baja), cerámico de 7m de luz, que había colapsado por oxidación de armaduras. Eso sí, el terreno estaba en el delta del río Llobregat que tiene en esa zona el nivel freático a un metro de profundidad, lo que produjo una también “profunda” y errónea inquietud periodística.



Figura 5. Portada de “El Periódico” con dicho titular.

- Otro titular “demoledor”: “Una tuneladora **hunde** una estación de metro”. Efectivamente, la instrumentación marcaba un descenso de un centímetro en el punto más desfavorable tras el paso de la tuneladora por debajo de la estación. La subsidencia máxima de un centímetro cuando vaciamos el terreno para hacer el túnel, si la estamos controlando (midiendo), puede servir de aviso en el plan de contingencias, pero no de alerta o alarma, no la hemos “hundido”.

*Ejemplos reales de empresas de derribo, que encierran en su nombre su filosofía:

“El fiero. Excavaciones y derribos”. Véase cómo el nombre indica la agresividad empresarial (Figura 6).

”BCN Demolicions Pau”, que con tanta “paz” ya no existen en la actualidad, han sido devorados por el mercado (Figura 6).



Figura 7. Empresa “El Fiero. Excavaciones y Derribos”.



Figura 8. Empresa “Demoliciones Pau”.

*El **nombre** de un producto.

Para los pueblos semíticos el nombre imprimía carácter en la persona que lo llevaba. Cuando queremos poner el nombre a algo, hay que buscar la esencia del producto.

- El “**ensayo Barcelona**”

Unos profesores de la UPC desarrollaron un ensayo de indentación que define la resistencia a tracción del hormigón de forma certera, y le pusieron al ensayo el nombre de “**Ensayo Barcelona**” (véase el ensayo y su resultado en las Figura 9 y Figura 10). Sin duda se venderá mejor en la comunidad científica acoplándose a esa marca que no deja de ser la ciudad donde nació y se desarrolló. He aquí un caso, elemental pero plenamente justificado de “nombre exacto y sugerente de las cosas”.

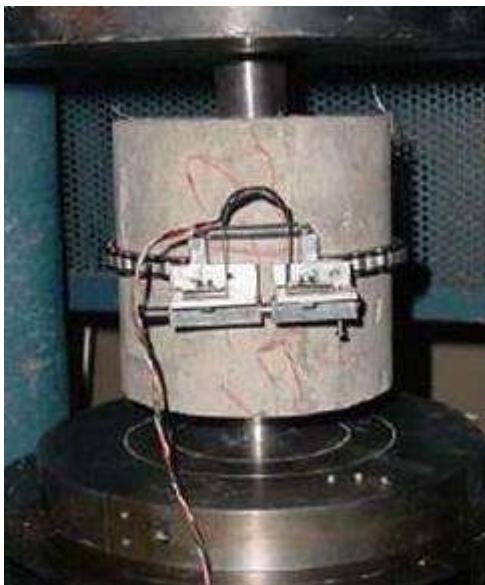


Figura 9. Ensayo Barcelona.



Figura 10. Ensayo de indentación.

- La ACE, “**Asociación de Calculistas de Estructuras**”

En 1989 se creó en Cataluña la “Asociación de Calculistas de Estructuras” que, a principios de este siglo cambió su nombre por uno más preciso y, sobre todo, más digno: “Asociación de Consultores de Estructuras”. Los arquitectos e ingenieros diseñan estructuras, son antes “estructuristas” que “calculistas”. En la actualidad la ACE tiene más de 400 técnicos (ingenieros, arquitectos, aparejadores, ...) de prestigio, diseñando todo tipo de estructuras.

***Frases que inducen a error**

Frases de algunos técnicos del oficio:

- “**Esto siempre lo he hecho así**”. Muchas veces la traducción de esta frase, cuando conoces el tema, es “siempre lo hago mal”.

- “**Solución de gran coste de ejecución pero poco imaginativa**”. En un edificio religioso de los años 50, monolítico de mampostería y fábrica de ladrillo el estudio geotécnico muestra que hay 4 o 5m de relleno que han provocado asientos generalizados en las paredes de mampostería y las bóvedas.

El arquitecto consultó con el ingeniero, el cual recomendó, de acuerdo con el estudio geotécnico, recalzar la estructura del edificio con micropilotes a 10 metros de profundidad. Es aquí donde el arquitecto esgrimió su frase: “Solución de gran coste de ejecución y poco imaginativa”, ya que se le pedían soluciones alternativas que no encarecieran la intervención de la reparación. Después de una nueva consulta con su arquitecto “calculista” de confianza, se estudió la solución de cosido de grietas y refuerzo superpuesto a las zonas tensionadas de la estructura. Con el siguiente argumento también falaz: “Este tipo de intervención ha sido ejecutado con éxito en edificios que han sufrido fuertes tensiones estructurales con resultados satisfactorios y respetuosos con la geometría del edificio evitando intervenciones costosas y de gran duración en su ejecución”.

En conclusión, la solución técnica del ingeniero no solo no es poco imaginativa, sino que es la única solución que resuelve la causa del daño.

El arquitecto está obsesionado con el cálculo, al cual en este caso él no llega, así como con el coste; pero los ingenieros no calculan estructuras, las diseñan y resuelven en función de unos datos previos y de las condiciones de contorno.

El resultado final de ocultar el daño cosiendo grietas y pintando puede durar algún ciclo térmico si no se acrecientan los problemas del relleno, pero si se modifican las condiciones hidráulicas del terreno, habrá que recalzar haciendo caso al ingeniero, y probablemente volver a reparar las grietas “cosidas”, con lo que el “gran coste de ejecución” aumentará posteriormente, contradiciendo también en esto las ideas del arquitecto.

2.2.2 *El lenguaje forense.*

El lenguaje forense es también dado al uso de técnicas y expresiones lingüísticamente singulares:

***Jugar con el todo y las partes:**

“El **proyecto** era incorrecto e incompleto” cuando lo que decía el documento de referencia era que “la **información** de la documentación previa para hacer el proyecto era incorrecta e incompleta”.

“Tomó **decisiones** arriesgadas” mientras el documento que analizaba decía que:

“la decisión del proyectista de fijar el trazado del nuevo túnel sin la completa seguridad de la situación final de un sifón era arriesgada”. En singular, no en plural.

***Llamar “error” a algo que no lo es:**

-Por ejemplo, el proyecto dice que, si la cota prevista para el tubo no es la correcta, se recalculará la bóveda al cambiar la rasante. Eso no es un “error de proyecto”, es una previsión para cuando se pueda acceder a la información, que en este caso era una inversión económica importante que se definiría en obra.

-Realizar una mejora a una solución justificada, y previamente aceptada de proyecto, tampoco es un error de proyecto, es una optimización a partir de los recursos de la obra.

*Utilizar el “silencio positivo”

Es un recurso para no cansar al lector, yendo al grano en los puntos importantes que pueden ofrecer dudas y disfunciones, y dando por supuesto que el resto de los temas no requieren ser tratados porque están bien (No news, good news).

*Recurrir al lenguaje gráfico

Con el lenguaje gráfico se puede inducir a errores, aunque el principal error es que se omitan dichos detalles gráficos. Véanse algunos ejemplos:

-Fotografiar de cerca una fisura, para impresionar o “dar miedo” tergiversando la realidad, cuando además no es algo relevante.

-Graficar fisuras indiscriminadamente, sin explicar que no están a escala y que sirven para explicar la causa, y no simplemente pretenden asustar.

-Manipular la imagen, el “Photoshop”.

2.2.3 El lenguaje técnico del futuro.

Cada construcción es un prototipo; no hay dos edificios iguales, dos puentes iguales, dos vigas iguales, ni dos probetas de hormigón iguales de la misma amasada; hasta el clima está sujeto a “un cambio climático” en nuestros días. Cada grieta puede ser objeto de una tesis doctoral, pero el técnico ha de simplificar el lenguaje. El trabajo lingüístico es ingente.

La palabra constituye también una fuente de errores de la que es difícil sustraerse. La comunicación es función del emisor y el receptor, y el lenguaje técnico ha de saber acercarse al social, al periodístico, al periodístico y al político.

La medicina, que siempre va por delante en estos aspectos, nos ha enseñado en tiempos de pandemia la importancia de escuchar a la ciencia, para adoptar decisiones que hablen el mismo idioma. Cuando eso no ocurre, las ocurrencias políticas y sociales se disparan aleatoriamente porque el dinero lo puede todo y se crean desde negacionistas a triunfalistas, sin que se escuche la voz de los que saben, de los técnicos en la materia, aunque también sea limitada.

El lenguaje técnico ha de tratar de acercarse a los elementos, de incorporarse en ellos para “medir” su comportamiento en las variables que nos interesan, tratando de prevenir el riesgo de daño a través del estudio de la respuesta y de su evolución en el tiempo.

Hoy en día lo medimos todo, para comprender y ampliar el lenguaje técnico. Se puede colocar una red sin hilos de sensores microelectromecánicos embebidos en el hormigón que pueden detectar señales de luz, temperatura, vibraciones, etc... lo que llamamos “polvo inteligente” o “motas” para evaluar la variable que nos interesa en cada punto. Se puede colocar una fibra óptica en los puntos sensibles de un puente para conocer las microdeformaciones que se producen a lo largo de toda su vida útil, se pueden colocar acelerómetros para estudiar las variaciones de rigidez. En definitiva, con la medición y el estudio de los parámetros fundamentales, se pueden establecer planes de contingencia que indiquen la necesidad de avisos, alertas o alarmas durante su vida útil y con ello permitan valorar el riesgo y la vulnerabilidad de esa infraestructura.

La tecnología ha supuesto una cultura para controlar el miedo, pero como se decía al principio el riesgo cero no existe y el “miedo cero” tampoco.

La influencia de las nuevas tecnologías se aprecia por ejemplo en Stephen Pincker, que considera el lenguaje como una categoría digital, un sistema digital de comunicación. Nuestro cerebro, que también es digital (proposicional, lógico) tiene aspectos analógicos (instintivos) como la intuición, la percepción.

En el futuro estaremos pasando de las ecuaciones diferenciales a los algoritmos, de lo analógico a lo digital, en resumen, del lenguaje técnico al lenguaje poético que las estructuras y sus subsistemas nos enseñan.

3. CONCLUSIONES

Hemos de avanzar hacia la poesía del lenguaje técnico, no en vano, las vigas de las estructuras tienen “alma” y “alas”, y los forjados “vuelan” algún metro.

Se han puesto ejemplos del uso actual del lenguaje y sus consecuencias, tratando de incidir a través de casos prácticos en la necesidad de su mejora continua. Después de ensalzar los valores de la palabra, conviene resaltar que la obligación de un patólogo es también promocionar el silencio, ya que su obligación al realizar una primera visita técnica es ver, oír y callar, para entre otras cosas, no alentar la alarma social con opiniones improvisadas, que distan siempre de una respuesta técnica. El tema no es fácil; poco después de la caída de las torres gemelas ya había informes explicándola, pero el FEMA (Federal Emergency Management Agency) tardó casi un año (mayo 2002) en realizar el estudio de las causas, cubriendo como debe ser todas las etapas de un estudio de daños: recopilar información, hacer una exhaustiva toma de datos, ensayos, análisis estructural y de los daños, y conclusiones. En este caso, donde parecía lógico escuchar a los técnicos con información, unos de los primeros en llamar al ingeniero responsable de la construcción, Less Robertson, fueron como él mismo nos cuenta (10) los abogados del arquitecto, amenazando por si había que delimitar responsabilidades. El lenguaje forense nos invade.

Un último ejemplo de la transversalidad del lenguaje es lo que podríamos denominar como el “síndrome del padre afectado”. Cuando un padre va a ver los daños en un edificio escolar, no preguntará si el coeficiente de mayoración de acciones de la estructura dañada es mayor que la unidad. La transversalidad y la poesía llevarán a un lenguaje “equivalente”. Muy probablemente pedirá un “riesgo cero” que nadie le podrá dar. Siendo así y vistos los daños, si tuviera que llevar a su hijo al colegio, ¿lo llevaría?

4. AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que día a día contribuyen a acercarnos a través del lenguaje de la amistad. A mi hermano Alfonso Alegre Heitzmann, poeta, coautor de este escrito, al que no puede adherirse por falta de rigor lingüístico y poesía.

5. REFERENCIAS

- (1) J.M. Bover F. Cantera. “*Evangelio según San Juan*”. 1947.
- (2) Álvaro García Meseguer. “*La patología y el lenguaje. Informes de patología*”. Informes de construcción Vol. 37 nº 376. 1985.
- (3) Atkinson, A.R. “*Human error in the management of building projects*”. Construction Management Economics, Vol. 16., pp 339-49. 1998.
- (4) Shoet y Frydman. “*Communication Patterns in Construction at Construction Manager Level*”. *Journal of Construction Engineering and Management* 129(5). 2003.
- (5) Juan Ramón Jiménez. “*Eternidades*”. 1918.
- (6) Sabatino Moscati. “*Las antiguas civilizaciones semíticas*”. Ediciones Garriga. Barcelona. 1960.
- (7) Ovidio. “*Metamorfosis*”, traducción y notas de Ely Leonetti Jungl. Colección Austral. Madrid. 2005.
- (8) “*Libros de Apeos del Ayuntamiento de Ohanes*”. Archivo Municipal. 1939.
- (9) Antonino Colino. “*Revista de Obras Públicas 3626*”. Ene/Feb 2021.
- (10) Leslie E. Robertson. “*The structure of design*”. The Monacelli Press Singapore. 2017.

DEF Induction in the Laboratory and Effect of Silica Fume on the Expansions of Mortars

S. OLIVEIRA^{1,2}, A. M. OLIVEIRA², N. P. HASPARYK^{1*}

¹ ELETROBRAS Furnas, Rodovia BR 153, s/n - Zona Rural, Aparecida de Goiânia - GO, 74923-650, Brazil.
nicole@furnas.com.br*

² GEDur - Durability Study Group, Laboratory of Technological Innovation in Civil Construction – LABITECC, PPG-GECON, Civil and Environmental Engineering School, Federal University of Goiás (Universidade Federal de Goiás - UFG), 74.605-220. Praça Universitária, Goiânia – GO, Brazil, sol.adm2018@gmail.com, andriellimorais@ufg.br

ABSTRACT

Delayed ettringite formation (DEF) is a pathological phenomenon responsible for several types of damage to concrete elements and structures. The lack of test methods, protocols and preventive standards based on concrete mixes and inhibitor admixtures are concerned. This paper presents the results from an experimental program performed in the laboratory with a procedure developed for inducing DEF. An initial thermal cycle was conducted accompanied by the exposition of mortars to a specific environment in order to monitor expansions over time. Mortars were cast with silica fume as partial cement replacement at ratios of 0%, 4%, 8% and 12%, by volume. The adopted procedure was able of promoting DEF and the silica fume presented potential to mitigate DEF expansions, even though some ettringite crystals was produced in the cement matrix by microstructural analyses at six months.

Keywords: DEF; thermal cycle; expansion; silica fume; mitigation.

RESUMO

A formação de etringita tardia (DEF) é um fenômeno patológico responsável por vários tipos de danos em elementos e estruturas de concreto. A falta de métodos de ensaio, protocolos e normas preventivas baseadas em misturas de concreto e adições inibidoras é preocupante. Este artigo apresenta os resultados de um programa experimental realizado em laboratório com um procedimento adotado para a indução da DEF. Foi realizado um ciclo térmico inicial acompanhado pela exposição de argamassas a um ambiente específico com o objetivo de monitorar as suas expansões ao longo do tempo. As argamassas foram moldadas com sílica ativa em substituição parcial do cimento, em volume, nos teores de 0%, 4%, 8% e 12%. O procedimento adotado foi capaz de promover a DEF e as argamassas com sílica ativa apresentaram potencial para mitigar as expansões, apesar de alguns cristais de etringita serem detectados na matriz cimentícia por análises microestruturais aos seis meses.

Palavras-chave: DEF; ciclo térmico; expansão; sílica ativa; mitigação.

RESUMEN

La formación de la etringita tardía (DEF) es un fenómeno patológico responsable por diversos tipos de daños en los elementos y las estructuras de hormigón. La carencia de los métodos de ensayos, protocolos y normas preventivas basados en la mezcla de hormigón y adiciones inhibitorias es una preocupación. Este artículo presenta los resultados de un programa experimental llevado a cabo en el laboratorio con un procedimiento adoptado para la inducción de DEF. Se realizó un ciclo térmico inicial acompañado de la exposición de los morteros a un entorno específico para controlar su expansión en el tiempo. Los morteros fueron moldeados con sílice activa en sustitución parcial del cemento, en volumen, en los contenidos de 0%, 4%, 8% y 12%. El procedimiento adoptado logró promover la DEF y los morteros con sílice activa mostraron potencial para mitigar las expansiones, aunque se detectaron algunos cristales de etringita en la matriz de cementación por análisis microestructurales a los seis meses.

Palabras llave: DEF; ciclo térmico; expansión; sílice activa; mitigación.

1. INTRODUCTION

Delayed ettringite formation (DEF) is a complex phenomenon of chemical reactions that involves sulphated phases during cement hydration with the water from the concrete and the environment surrounding the structure (Schovanz et al., 2021). This phenomenon can affect various types of elements and structures such as foundations (Han et al., 2019), dams (Blanco et al., 2019), and bridges. As a result of DEF, concrete durability is affected due to several problems, such as expansions of concrete elements, the incidence of cracking and decrease of the mechanical properties with reductions in the service life.

Several studies report the dependence on temperature, duration and type of cure, and cement supplies (Kchakech et al., 2016; Yammine et al., 2020; Gu et al., 2020; Jebli et al., 2021). In addition, the effects of chemical compounds on cement hydration, especially calcium sulfate, the physico-chemical and mineralogic properties of the clinker, chemical admixtures, water/binder ratio and hydration age have also been studied, with the main results published in the literature (Bronholo, 2020; Andrade Neto et al., 2021; Schovanz et al., 2021).

However, studies are limited about the use of Supplementary Cementitious Materials (SCMs) and of silica fume, in particular, to avoid or to mitigate DEF expansion. Some researchers concluded that the use of finer pozzolan in partial replacement of cement can control or even eliminate DEF expansion (Nguyen et al., 2013; Amine et al., 2017; Zhuang and Sun, 2020).

This paper shows results from an experimental program performed in the laboratory with a procedure to induce DEF in mortars with partial replacement of cement by silica fume at 0%, 4%, 8% and 12%, by volume. Initially, the tests involved the exposure of mortars to a specific thermal cycle and the monitoring of expansion over time.

The relevance of this paper is to improve understanding about DEF and the role of silica fume, in addition to contributing to the durability and good performance of concrete structures.

2. EXPERIMENTAL PROGRAM

The study was performed in cement mortars with and without silica fume. Reference mortars were cast with a high-early strength Portland cement (Brazilian CP V type, similar to ASTM CP III type), with no admixture. Mortars containing silica fume (SF) were cast with contents of 4%,

8% and 12% of this pozzolan, by volume replacement of cement. For those mortars, the use of a specific polyfunctional chemical admixture was required in order to adjust their rheological properties and to promote improvement of its performance. Cylindrical (50 x 100 mm) and prismatic (25 x 25 x 285 mm) specimens were prepared for mechanical and expansion tests, respectively.

The mortar mix was 1:2,75: 0,485 by weight. In order to isolate DEF, an ASR innocuous sand was used. This behavior was previously tested by the AMBT – accelerated mortar bar test, according to the Brazilian standard (NBR 15577, Part 4, 2018). The sand characteristics were: gravity of 2.64 g/cm³; powdered material of 5.45%; absorption equal to 0.20% and expansion at 30 days equal to 0%.

After casting, the mortars were subjected to conventional curing for up to 4 hours to maintain the initial setting of the cement (pre-curing period). After this stage, a thermal cycle was adopted to promote DEF. To this end, the cast specimens were placed in a chamber under water and heated to up to 80°C at a heating rate of 10°C/h. Furthermore, specimens were maintained at this temperature for 12 hours and, subsequently, the mortars were cooled to 38°C at the same rate and kept at this exposure condition for up to 6 months. The adopted procedure was based on the one presented by Schovanz (2019) and Hasparyk et al. (2020), with the temperature being decreased from 85°C to 80°C, and applying it to mortars instead of concretes.

Expansions of the prismatic mortar bars were monitored and the water pH of the chamber was also monitored over time. Moreover, some additional analyses were performed, such as compressive strength of mortars with conventional curing, visual and microstructural analyses by Scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS).

The main characteristics of the cement and silica fume are shown in Table 1.

Table 1 –CP V-ARI and Silica fume main characteristics (%).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O _{eq}	SO ₃	LI	IR
Components from CP V Cement (%)								
18.74	4.19	2.79	62.49	1	0.73	3.29	4.22	0.73
Components from Silica Fume (%)								
95.21	0.22	0.18	0.45	0.47	0.66	0	2.46	-
Na ₂ O _{eq} = 0.658 K ₂ O + Na ₂ O; Cement and silica fume gravity: 3.09 g/cm ³ / 2.25 g/cm ³ , respectively; Blaine								

LI-Loss on ignition; IR-Insoluble residue.

Figure 1 shows a micrograph of the silica fume used in the experiments. Spherical particles vary from 5 nm to 250 nm. Figure 2 shows the diffractogram from XRD exhibiting a main amorphous band of this pozzolan and small peaks from quartz and moissanite.

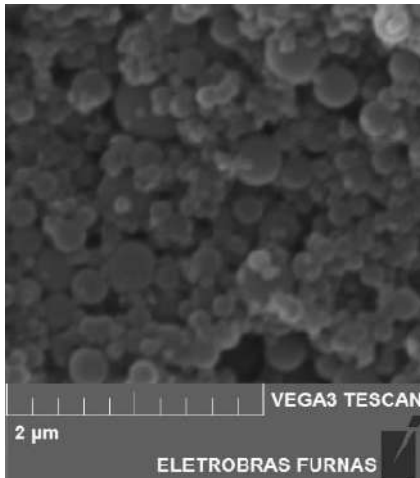


Figure 1 – SEM of SF.
Source: Furnas

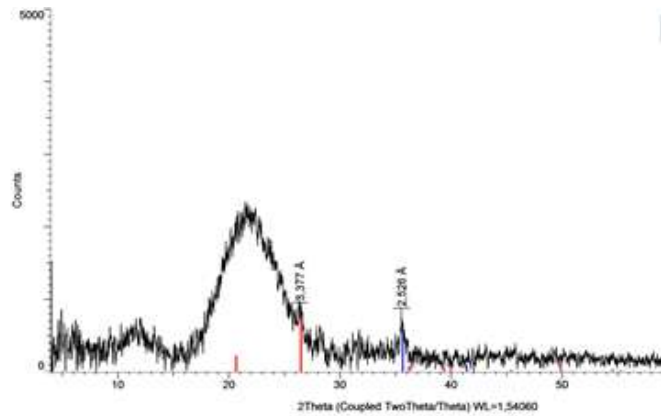


Figure 2 – XRD of SF.
Source: Furnas

3. RESULTS

3.1 EXPANSIONS

In Figure 3, the results of the mortar expansions are presented over time until the age of 6 months. The nomenclature adopted were: reference sample (REF) and samples with 4% (SF4), 8% (SF8) and 12% (SF12) of silica fume replacing the cement (by volume).

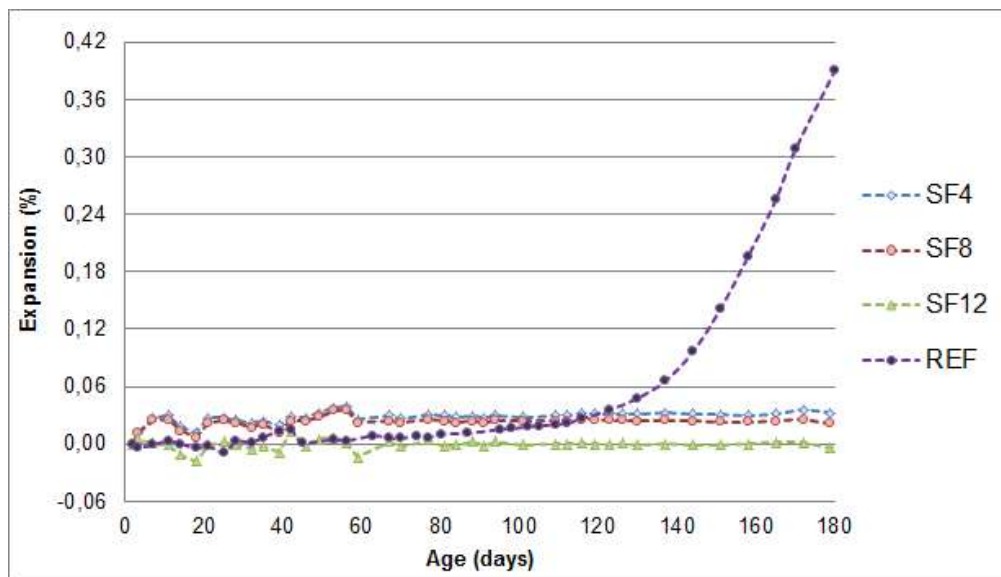


Figure 3 - Expansions (in average) of mortars over time.

As a result of, readings up to 56 days showed the following expansion averages: REF (0.00%), SF4 (0.04%), SF8 (0.04%) and SF12 (0.00%). After 100 days, the samples with silica fume (at the 3 levels) remained stable, but in the reference sample the expansion process was abruptly activated. At the age of 180 days, the reference sample's expansion reached an expressive value

of about 0,40%, with an important increase of expansions over time. This behavior did not occur for the other conditions tested with silica fume. The results are in agreement with Bronholo (2020). This researcher used CPV type Portland cement and reported an expansion growth trend after 240 days in the reference condition.

Figure 4 shows the performance of mortars with silica fume in relation to the potential for reducing expansions over time. The results were promising, and the following reductions were observed at 4 months for the mortars SF4, SF8 and SF12: approximately 10%, 30% and 100%, respectively. The SF12 sample showed an important result at 4 months of study, with null expansion. At 6 months, the efficiency (reduction in expansions) achieved values above about 90%.

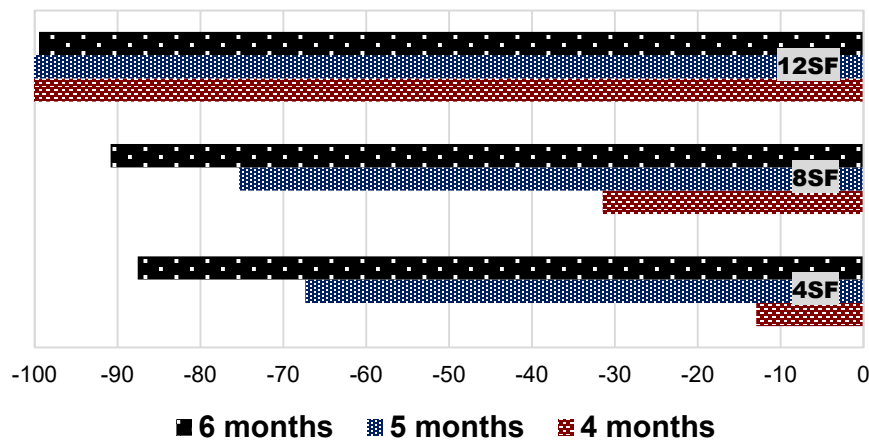


Figure 4 – Reduction in DEF expansions with SF.

Some studies with mortar have used mineral admixtures in mass substitution of a part of the cement to mitigate DEF. Nguyen et al. (2019) used metakaolin at the contents of 10%, 20% and 30%, resulting in almost null expansion (about 0.005%) for the two higher contents of this pozzolan at the age of 650 days. The mortar behavior with 10% of metakaolin merely postponed the beginning of expansions; an activation occurred after one year, with high value at 650 days (0.5%), thus, this content was not efficient in reducing expansions over time. In another study, Leklou et al. (2016) evaluated the efficiency of the use of fly ash type F at the same contents and period of study, and the results were similar.

Deboucha et al. (2018) had also obtained good results for DEF inhibition using blast furnace slag in partial substitution to cement (10%, 20% and 40%, by weight), with some delay in the start of expansions. However, they were not enough for DEF mitigation. On the other hand, 40% of slag was effective over time, and up to 750 days. This behavior was similar to the one obtained and presented in this study with SF8 and SF12.

Figure 5 shows the compressive strength results at the age of 28 days for the studied reference samples. For this test, the specimens were cast and stored according to the mortar bars, submerged in water at the temperature of 38°C.

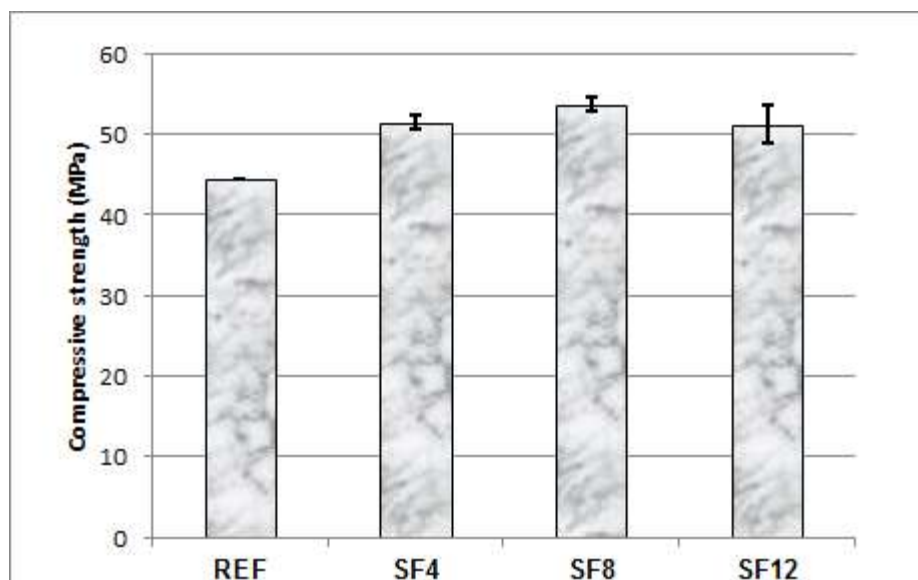


Figure 5 – Compressive strength at the age of 28 days.

The variance analysis (ANOVA) was performed to assess whether the differences were statistically significant, as can be seen in Table 2. The confidence level considered for ANOVA was 95%. There were significant differences in the REF mortar compared to the mortars with silica fume ($F > F_c$). Among all tested samples, the content of 8% of silica fume have indicated the best mechanical performance, especially in comparison to REF. According to the Tukey homogeneity test, the samples containing silica fume are similar (4, 8 and 12%).

Table 2 - ANOVA of the compressive strength results at the age of 28 days.

ANOVA	SQ	gl	MQ	F	P	Fc
Between groups	144.7133	3	48.237778	23.11715	0.00027	4.066181
Within groups	16.69333	8	2.086667			
Total	161.4067	11				

SQ-Sum of squares; gl-Degree of freedom; MQ-Medium squares; P-P-value; F-CriticalF

These results are in agreement with Hamid et al. (2018), who obtained similar behavior with the use of binary mixtures, using 15% metakaolin or silica fume on mass replacement of a part of the cement. They observed an increase of 20% on compressive strength at 28 days, as expected by this type of pozzolans.

The pH values of the immersion water of specimens over time are shown the Figure 6. The initial pH was about 6, but at the age of 4 months, pH achieved value around 11 (83% increase). Not only, after 5 months, pH measured increased for approximately 9, and at the age of 6 months the measured pH value was close to 10.

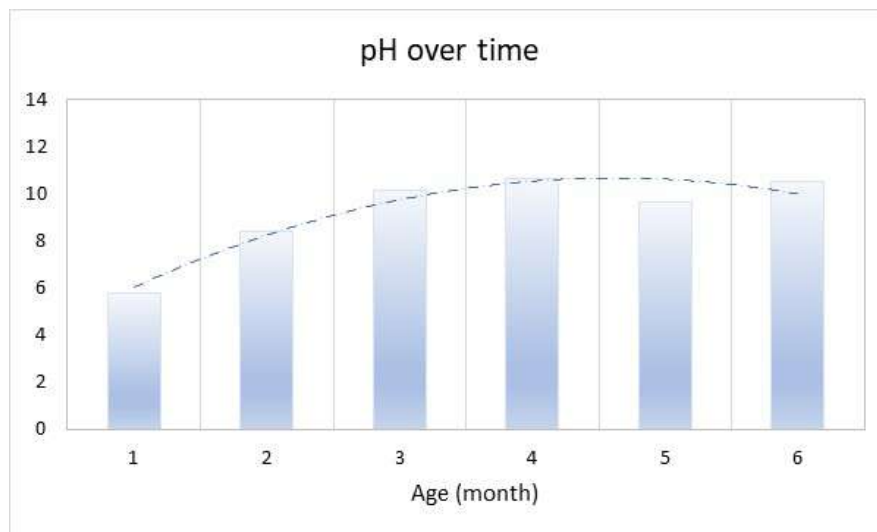


Figure 6 – pH measurements over time.

The storage environment is favorable to the occurrence of leaching (release of alkaline hydroxides and calcium hydroxide), causing precipitation of carbonates in the water, which may explain the increase in pH of the immersion water.

In Pichelin et al. (2020), the concentration of alkaline equivalent of the specimen storage water (submitted to DEF), which was 0.6 mmol/l changed to 50 mmol/l after 200 days of study. This change was explained by the alkali leaching of the specimens.

Figure 7 shows photos taken during the internal visual inspection of the mortars being prepared for scanning electron microscopy analysis. The main symptoms observed were the white depositions in the voids, which indicates the formation of ettringite. It is worth noting that in the reference sample the pores are larger, with more visible white formations (Figure 7a). On the other hand, samples with silica fume presented smaller voids and proportional reduction with the increase of silica fume contents. In the SF12 sample, minor white spots could be seen with less material deposited.

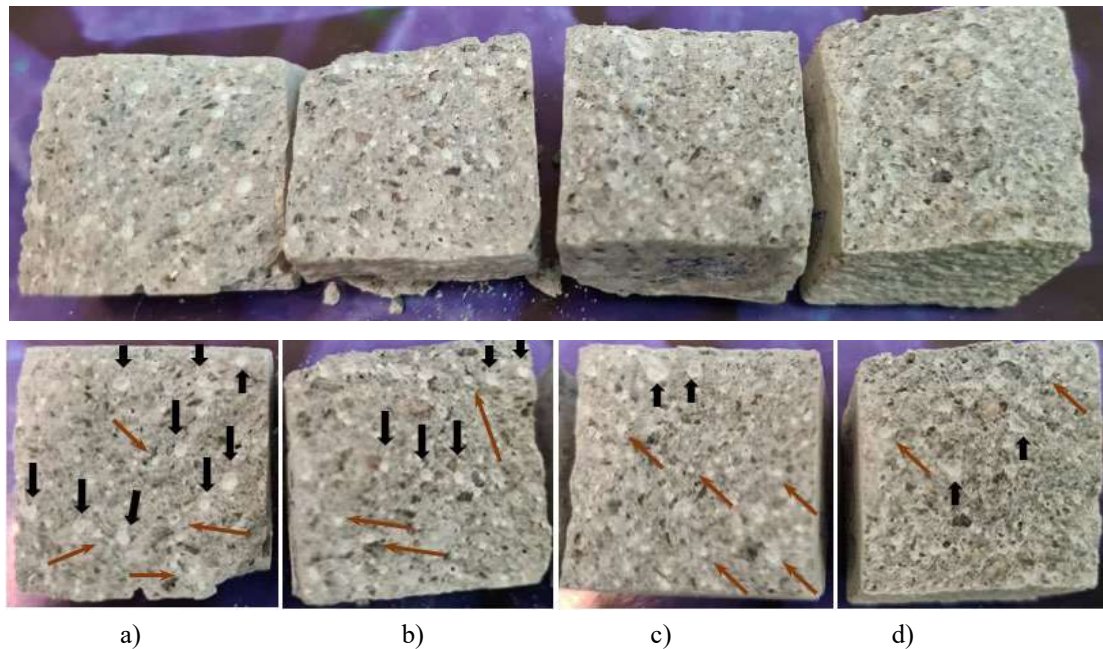
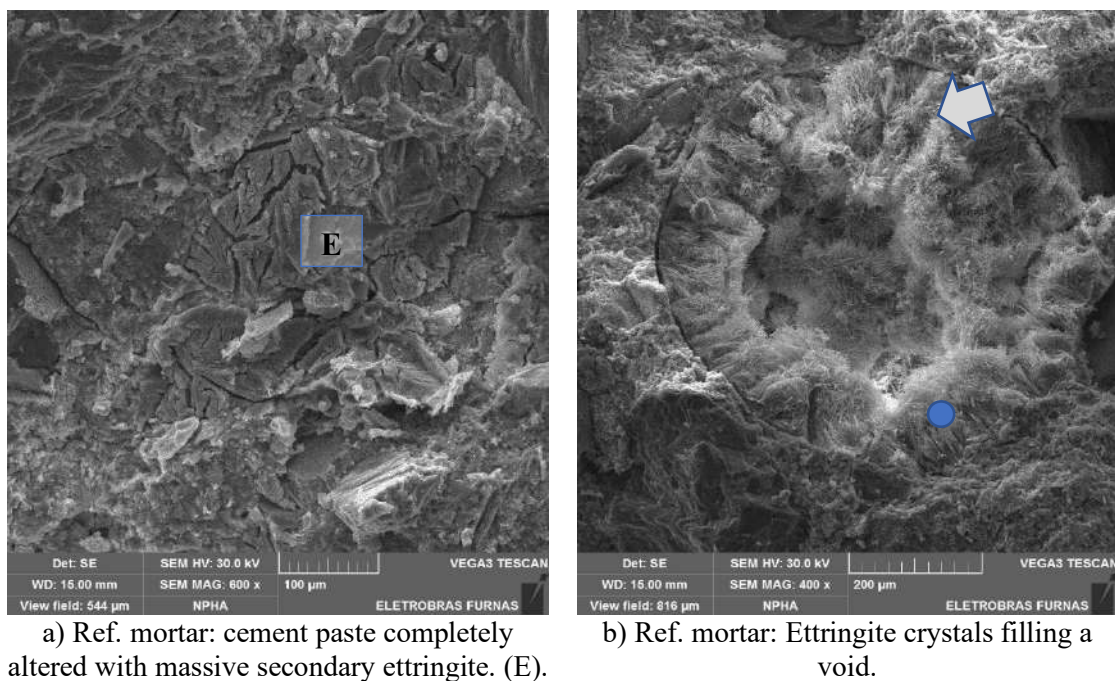


Figure 7 - Internal portion of the mortar bars: a) reference; b) SF4; c) SF8 and d) SF12.

The micrographs (Figures 8 and 10) show the characteristics observed in the SEM. Ettringite can be seen occupying several localities, such as in the voids and also in the cement matrix. All products were confirmed by EDS, as shown in Figure 9, as an example. Differences could be observed in the REF massive neoformation and SF sample: for SA12 mortar, the formation of ettringite crystals was less densified. However, there were formations of secondary ettringite in other localities, causing microcracking in both, REF and SF12 mortars (Figure 10).



a) Ref. mortar: cement paste completely altered with massive secondary ettringite. (E).

b) Ref. mortar: Ettringite crystals filling a void.

Figure 8 – MEV of the reference mortar.

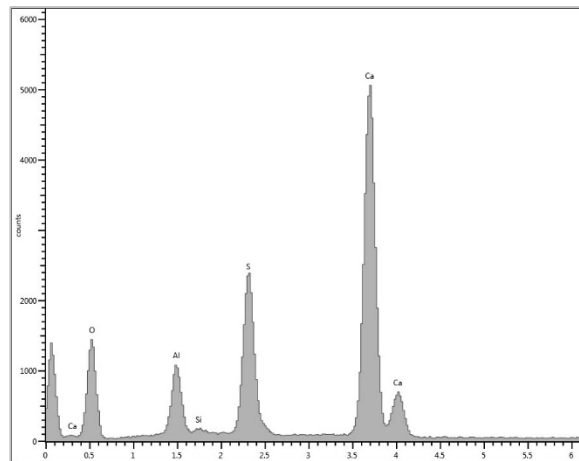


Figure 9 - EDS spectrum of ettringite from the blue point in Fig.8 b).

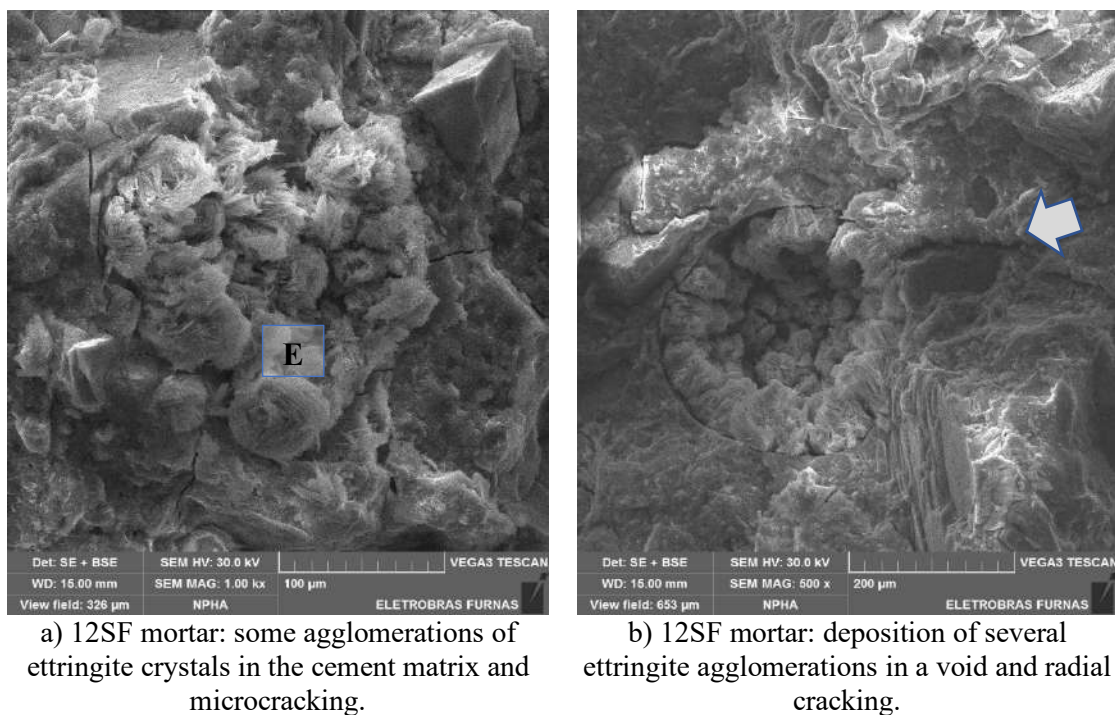


Figure 10 – MEV of the mortar with 12% of SF.

4. CONCLUSIONS

The results from this research indicate the potential of silica fume as a preventive measure to mitigate DEF expansions. According to the mortar bar tests, the expansion in the reference mortar was only activated after about 4 months. Meanwhile, mortars containing silica fume did not expand. At six months, the expansion level for the reference mortar was very expressive (about 0,40%), while the expansion of the silica fume mortars remained very low (less than 0,02%).

Based on the expansive behaviors, a proper content of silica fume with the best performance could be selected according also to the mechanical property of the mortars. However, from the microstructural perspective several ettringite formations were detected in the cement matrix of SF12, indicating a continuous and slow DEF process over time.

Additionally, this feature brings some alert about prompt responses taking into account mortar tests and reduced time of investigations. A continuous study based on concrete specimens is necessary. The DEF has been responsible for a lot of damage to concrete structures, and the correct design and technological control are necessary to guarantee the performance and durability of structures in relation to these expansive reactions. Care must be taken regarding the maximum temperature of thermal curing, limiting it to up to 60°C. In the case of the high temperature risks from the heat of cement hydration, a proper cooling system must be used to avoid future problems.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This work had financial and infrastructure support from Furnas Centrais Elétricas S.A./ANEEL, P&D 0394-1504-2015. The authors would like to acknowledge the support of the Eletrobras Furnas company for financing the research and also of the technicians who contributed to this study.

6. REFERENCES

- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *NBR 15577-4: Agregados. Reatividade álcali-agregado . Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado*. Rio de Janeiro.
- Amine, Y., Leklou, N. and Amiri, O. (2017), Effect of supplementary cementitious materials (SCM) on delayed ettringite formation in heat-cured concretes. *Energy Procedia*. 139: 565–570.
- Andrade Neto, J. S., Torre, A. G. and Kirchheim, A. P. (2021), Effects of sulfates on the hydration of Portland cement – A review. *Construction and Building Materials*. 279: 1-17.
- Blanco, A., Pardo-Bosch, F., Cavalaro, S. and Aguado, A. (2019), Lessons Learned About the Diagnosis of Pathologies in Concrete Dams: 30 Years of Research and Practice. *Construction and Building Materials*. 197: 356-368. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.143.
- Bronholo, J. (2020), “*Estudo do ataque individual e misto de DEF e RAA e de seus efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas e mecânicas de concretos e argamassas de cimento portland Pozolânico e de alta resistência*”, Master Thesis, Instituto de Engenharia do Paraná, p. 216 (in Portuguese).
- Deboucha, W., Leklou, N. and Khelidj, A. (2018), Blast Furnace Slag Addition Effects on Delayed Ettringite Formation in Heat-cured Mortars. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 1–7. Doi: 10.1007/s12205-017-0642-6
- Gu, Y., Metalssi, O. O., Martin R. P., Chong, T. F. and Dangla, P. (2020), Locating ettringite due to DEF at the pore scale of cement paste by heat-based dissolution tests. *HAL archives-ouvertes*. 258: 1-19.
- Hamid, H., Chorzepa, M. G., Sullivan, M., Durham, S. and Kim, S. S. (2018), Novelty in Material Development for Massive Concrete Structures: Reduction in Heat of Hydration Observed in Ternary Replacement Mixtures. *Infrastructures*. 3(8):1-20.

- Hasparyk, N.P., Schovanz, D. and Kuperman, S. (2020), Instrução Técnica Furnas no GSTE004R0 - Método de Ensaio para a Avaliação do Potencial de Ocorrência da Etringita Tardia (DEF) em Concreto. *Ed. FURNAS*.
- Jebli, M., Jamin, F., Pelissou, C., Lhopital, E. and El Youssefi, M.S. (2021), Characterization of the expansion due to the delayed ettringite formation at the cement paste-aggregate interface. *Construction and Building Materials*. 289: 122979.
- Kchakech, B., Martin, R.-P, Omikrine-Metassi, O., Renaud, J.-C., Baron, L. and Toutlemonde, F. (2016), “*Effect of Temperature and Curing Duration of Early Heat Treatments on the Risk of Expansion Associated with Delayed Ettringite Formation*” in: Proceedings of the 15th ICAAR – International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, H. Bernardes, and N. P. Hasparyk, ed., São Paulo, Brazil.
- Leklou, N., NGUYEN, V. H. and MOUNANGA, P. (2016), The effect of the Partial Cement Substitution with fly ash on delayed ettringite formation in heat-cured mortars. *Journal of Civil Engineering*. 21: 1359-1366.
- Nguyen, V., Leclou, N., Aubert, J.-E. and Mounanga, P. (2013), The Effect of Natural Pozzolan on Delayed Ettringite Formation of the heat-cured mortars. *Construction and Building Materials*. 48: 479-484. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.016.
- Nguyen, V., Leclou, N. and Mounanga, P. (2019), The Effect of Metakaolin on Internal Sulphate Attack of the Heat-Cured Mortars. *Romanian Journal of Materials*. 49 (1): 51–57.
- Pichelin, A., Carcasses, M., Cassagnabere, F., Multon, S. and NAHAS, G. (2020), Sustainability, transfer and containment properties of concrete subject to delayed ettringite formation (DEF). *Cement and Concrete Composites*. 113: 1-15.
- Schovanz, D. (2019), “*Estudo da formação da etringita tardia (DEF) em concretos com cimento Portland pozolânico e de alta resistência*”, Master Thesis, IMED, p. 163 (in Portuguese).
- Schovanz, D., Tiecher, F., Hasparyk, N. P., Kuperman, S. and Lermen, R. T. (2021), Evaluation of Delayed Ettringite Formation through Physical, Mechanical, and Microstructural Assays. *ACI Materials Journal*. 118: 101–109.
- Yammine, A., Leclou, N., Choinska, M., Bignonnet, F. and Mechling, J-M. (2020), DEF damage in heat cured mortars made of recycled concrete sand aggregate. *Construction and Building Materials*. 252: 119059.
- Zhuang, S. and SUN, J. (2020), The feasibility of properly raising temperature for preparing high-volume fly ash or slag steam-cured concrete: An evaluation on DEF, 4-year strength and durability. *Construction and Building Materials*. 242: 118094.

Análise comparativa entre os métodos de tração simples e de cisalhamento para avaliação de desempenho mecânico de um composto polimérico de dispersão aquosa para assentamento de pisos e revestimentos de paredes

J. DAUDT^{1*}, F. GOSSLER², S. MEDEIROS³, P. CURTI⁴, F. FAGUNDES⁵

*Autor de Contato: julio.daudt@fcc.com.br

¹ Engenheiro, M.Sc., Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil.

² Química, M.Sc, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, São Leopoldo, Brasil.

³ Graduando em Engenharia, Centro Universitário e Faculdades UNIFTEC, Sapiranga, Brasil.

⁴ Engenheiro, MBA, Centro Universitário FEI, São Paulo, Brasil.

⁵ Químico, M.Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Novo Hamburgo, Brasil.

RESUMO

Cada vez mais os deslocamentos em revestimentos tornam-se um problema social e financeiro bastante significativo. Este trabalho tem o objetivo de explorar as diferenças entre os fenômenos de tração simples e cisalhamento nos eventos de deslocamentos e avaliar os métodos de medição de desempenho mecânico em compostos poliméricos de dispersão aquosa. Fez-se a avaliação de resistência à tração simples por meio de métodos previstos para materiais cimentícios e avaliação de resistência ao cisalhamento em ensaios laboratoriais em um composto polimérico. Os resultados indicam que os métodos para análise de materiais cimentícios não devem ser os mais adequados para avaliação de materiais flexíveis como adesivos de dispersão aquosa, e que o fenômeno de cisalhamento é o mais atuante em deslocamentos.

Palavras-chave: revestimentos, deslocamentos; composto polimérico; tração simples; cisalhamento.

1 INTRODUÇÃO

As manifestações patológicas em pisos e revestimentos de paredes internas ainda são problemas que persistem nas edificações, mesmo com o avanço das tecnologias associadas aos materiais e às técnicas executivas desses revestimentos. Dentre as principais manifestações patológicas associadas, uma das mais evidentes é o deslocamento cerâmico. (BAUER et al., 2011; MELO et al., 2020; SOUZA et al., 2018). Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2019), foram mais de 2,6 milhões de m² de revestimentos deslocados no Brasil entre 2015 e 2019.

No Brasil, a principal metodologia de avaliação de desempenho dos sistemas de revestimento em termos de deslocamentos, principalmente das argamassas colantes, é a determinação de resistência de aderência em tração simples de amostras, segmentadas diretamente no piso ou revestimento de parede instalados (SAGAVE, 2001; SILVA, 2018). Entretanto, essa metodologia pode não ser suficiente para essa avaliação, visto que a aderência do sistema é resultante também da parcela de resistência ao cisalhamento nas interfaces entre os materiais e na estrutura desses próprios materiais.

O material que tem a função de aderir as peças cerâmicas e porcelanatos ao substrato é a argamassa colante, que mais comumente é industrializada e necessita de mistura com água *in situ*. Ainda em seu estado fresco é caracterizada por boa trabalhabilidade, entretanto, como é de base cimentícia é um material que atua majoritariamente provendo aderência mecânica entre os materiais e que após o período de cura apresenta um comportamento rígido frente às solicitações existentes, tanto em termos de esforço normal quanto cisalhante (WETZEL et al., 2012).

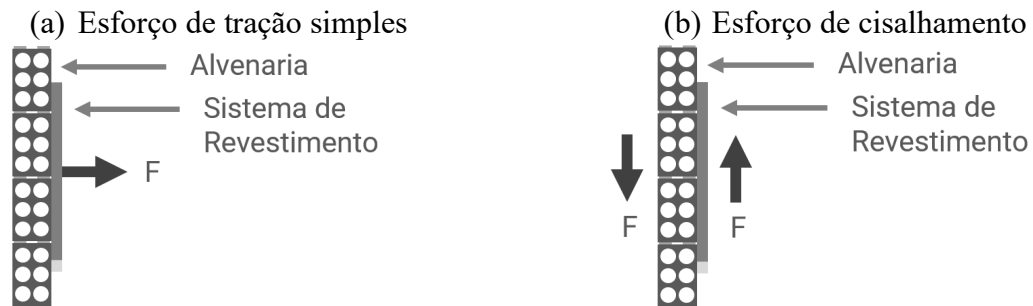
A argamassa colante é uma mistura de areia, cimento, aditivos químicos e água, classificada em três grupos no mercado brasileiro: ACI, ACII e ACIII. A primeira categoria é indicada para ambientes internos em revestimentos cerâmicos; a segunda para ambientes externos de peças cerâmicas; o terceiro grupo é indicado para condições mais críticas, em que se aplica também porcelanatos, áreas quentes e fachadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012; OLIVEIRA et al., 2019; SASSAKI, 2017).

Novos materiais vêm surgindo no mercado, muitos ainda com base cimentícia e adição de material polimérico para promover uma redução de rigidez (OLIVEIRA et al., 2019). Materiais sem cimento em sua composição também estão sendo inseridos e entregam um desempenho diferente das argamassas colantes rígidas. Os adesivos de dispersão aquosa, por exemplo, vêm prontos para aplicação, sem a necessidade de realizar mistura com água *in situ*, e funcionam com base tecnológica e conceitual em que dependem da expulsão da água (secagem) da matriz para promoverem a aderência entre as peças e o substrato. Diferentemente de materiais cimentícios, em que após o tempo de pega a água favorece as reações de formação dos compostos resistentes do cimento, conseqüentemente da matriz, por meio da cura (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Segundo a ISO 13007 (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 2014), esses compostos poliméricos de dispersão aquosa são misturas de água, resina polimérica, carga mineral e aditivos químicos especiais, em geral. Caracterizam-se majoritariamente pela parcela de aderência química que promovem entre os materiais do sistema, e são flexíveis após o processo de expulsão da água (secagem). Alguns fabricantes afirmam que a flexibilidade de seus compostos sem cimento é de 35 vezes superior aos materiais colantes cimentícios, segundo a metodologia de determinação de flexibilidade da EN 12002 (BS, 2008).

As NBR 13753 e NBR 13754 (ABNT, 1996), que são as normas brasileiras que prescrevem os métodos e critérios para aceitação de revestimentos de pisos e paredes em ambientes internos, determinam em seu Anexo A que o princípio da determinação da resistência de aderência é dado pela “... aplicação de uma força de tração simples normal, aplicada em uma pastilha metálica colada no corpo de prova...”. Entretanto, como mostraram Bauer e Rago (2001), Cincotto et al (1995) e Sagave (2001), o fenômeno de cisalhamento é o principal esforço atuante no sistema, solicitação não contemplada no ensaio previsto pelas normas brasileiras. A Figura 1 mostra uma representação esquemática comparativa entre essas solicitações mecânicas atuantes.

Figura 1: representação esquemática de esforços solicitantes nos sistemas de revestimento.



Fonte: elaborado pelos autores.

O método de tração simples prevê a aplicação de uma força de arrancamento perpendicular ao plano da alvenaria. Já o método prescrito pela ISO 13007 (ISO, 2014) para compostos poliméricos de dispersão aquosa, em que aplica-se um esforço de cisalhamento na interface entre placas aderidas por meio do material, o esforço cortante predominante em sistemas construídos é contemplado na avaliação experimental, a partir da aplicação de uma força tangencial ao plano do revestimento. Essa norma define a resistência de aderência como “a máxima força por unidade superficial de área que pode ser medida por um teste de cisalhamento ou tração”.

Llorens et al. (2020), Silva (2018) e Souza et al. (2018) dizem que a principal causa de deslocamentos cerâmicos registrados nas edificações é a formação de fissuras no material colante utilizado para aderência do revestimento ao substrato, dadas majoritariamente pelos esforços de cisalhamento na interface. Essas solicitações cortantes são provenientes de inúmeros fatores, que podem atuar isolada ou complementarmente sobre o sistema de revestimento. Expansão por umidade e retração hidráulica dos materiais são dois desses fatores.

Pode-se dizer que dentre todos os fatores que geram a solicitação de cisalhamento os principais são a dilatação térmica diferencial e a movimentação dinâmica diferencial entre os materiais componentes do sistema. A dilatação térmica diferencial ocorre porque a cerâmica, o material colante e o substrato possuem coeficientes de dilatação térmica diferentes entre si, e com a exposição do sistema formado às condições climáticas de variação de umidade relativa e variação de temperatura ambiente e entre ambientes essas dilatações ocorrem. A movimentação dinâmica diferencial pode-se dar por aplicação de carregamentos não distribuídos linearmente nas estruturas, ação de vento, recalques diferenciais ou acomodação geral dos diferentes sistemas de uma edificação (LOURENÇO et al., 2017; WINNEFELD et al., 2012). Nesses dois fatores, exceto em casos excepcionais, não é possível verificar um esforço de tração simples atuante, somente de cisalhamento e torção, que se enquadra no esforço de cisalhamento quando aplicada paralelamente entre dois planos significativamente próximos um do outro.

Este trabalho, portanto, se insere em um contexto de avaliação de resultados de ensaios de tração simples e de cisalhamento para um composto polimérico de dispersão aquosa. Tem como objetivo verificar qual método é mais adequado para avaliação desses compostos entre os dois e avaliar se as abordagens das normas brasileiras vigentes podem ser aplicadas à materiais não cimentícios.

2 MATERIAS E MÉTODOS

Neste item do trabalho estão sendo apresentados os materiais utilizados na pesquisa e os métodos avaliados no trabalho.

2.1 Materiais

2.1.1 O Composto Polimérico de Dispersão Aquosa

O composto polimérico a base de dispersão aquosa utilizado neste estudo foi o produto DunDun Cerâmica do fabricante FCC Química, composto basicamente por resina polimérica, cargas minerais, aditivos químicos e água. A massa específica desse produto é dada entre 1,72 a 1,98 g/cm³, conforme NBR 8916 (ABNT, 2020). Sua consistência foi medida através da metodologia da norma BS 4551 (BRITISH STANDARD, 2013), por *Dropping Ball*, apresentando faixa entre 5,0 a 8,0 mm. O teor de sólidos apresentou-se, conforme a NBR 8877 (ABNT, 2015), na faixa entre 75% e 85%, e pH entre 8 e 10 medido através de papel padrão de indicador de pH.

2.1.2 Os Substratos Cerâmicos

Os substratos cerâmicos utilizados nos ensaios foram de dois grupos, classificados conforme a ISO 13006 (ISO, 2020): grupo BIIa para os testes conforme a norma NBR 14081 (ABNT, 2012, que trata-se do método de tração simples e do grupo BIII para os testes conforme a ISO 13007 (ISO, 2014), que trata-se do método de cisalhamento.

Os corpos de prova cerâmicos do tipo BIIa são classificados como semi-porosos e com classificação de faixa de absorção de água de 3% a 5%. Foram produzidos com dimensões aproximadas de 5,0 x 5,0 x 0,75 cm conforme a NBR 14081 (ABNT, 2012).

Os corpos de prova cerâmicos do tipo BIII, os quais são classificados como porosos, com faixa de absorção especificada entre 15% e 19%, foram preparados com as dimensões aproximadas de 10,8 x 10,8 x 0,6 cm, conforme prescrito pela ISO 13007 (ISO, 2014).

2.1.3 As Placas de Substrato Padrão para Ensaio segundo a NBR 14081:2012

Para o método de tração simples utilizaram-se as placas de substrato padrão para ensaio de argamassa fabricado de acordo com a NBR 14081 (ABNT, 2014), do fabricante Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e nas dimensões de 25 x 50 x 4,0 cm.

2.2 Métodos

2.2.1 Cisalhamento Segundo a ISO 13007:2014

Os ensaios realizados de acordo com a ISO 13007 (ISO, 2014) foram executados atendendo aos requisitos da categoria D1, para adesivos de dispersão aquosa (D) e adesivo normal (classe 1), para

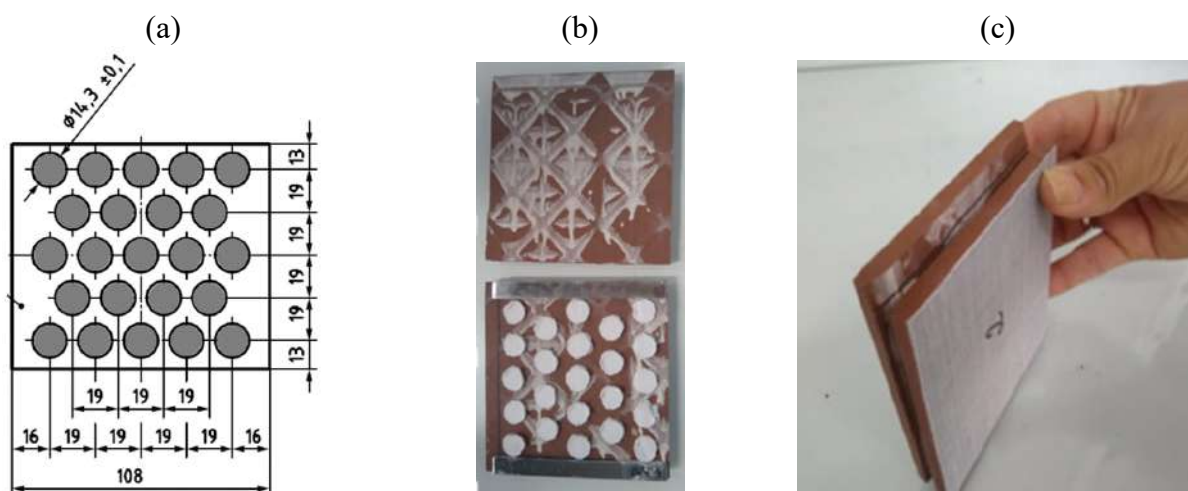
ambientes internos. Os ensaios que compõem a categoria D1 são: secagem em temperatura ambiente com especificação mínima de resistência ao cisalhamento de 1,0 MPa e de secagem com aquecimento em estufa, sendo o requisito mínimo de 1,0 MPa. Ainda foram realizados ensaios de cisalhamento para o método de secagem em temperatura ambiente e posterior imersão em água, para comparação de resultados com os métodos da NBR 14081 (ABNT, 2012), em que o requisito dado é para categoria D2, de 0,5 MPa, já para adesivos de dispersão aquosa para ambientes externos.

2.2.1.1 Preparação dos Corpos de Prova

A preparação dos corpos de prova foi realizada conforme descrito na ISO 13007 (ISO, 2014). Neste método são utilizados substratos cerâmicos do grupo de absorção BIII e a aplicação do produto foi realizada a partir de um molde com medidas padrões definido pela referida norma, conforme representado na Figura 2 (a). O corpo de prova é formado pela união da face cerâmica com produto aplicado e outra sem aplicação, conforme demonstrado na Figura 2 (b) e (c).

Figura 2: preparação dos corpos de prova para cisalhamento segundo a ISO 13007 (ISO, 2014).

(a) ilustração da aplicação do adesivo, (b) aplicação realizada do adesivo e (c) corpo de prova finalizado.



Fonte: adaptado de ISO 13007 (ISO, 2014) e elaborado pelos autores.

Foram preparados 10 corpos de prova para cada condição de secagem e acondicionados conforme requisitos de cada condição, descritos na Tabela 1.

Tabela 1: condições de secagem e exposição avaliadas

Método de Secagem/Exposição	Secagem Ambiente 23°C +/- 2°C e U.R. 60%	Secagem Temperatura Elevada 70°C +/- 2°C	Imersão em Água 23°C +/- 2°C
Temperatura Ambiente	14 dias	-	-
Temperatura Ambiente + Temperatura Elevada	14 dias	14 dias	-
Temperatura Ambiente + Imersão em Água	21 dias	-	7 dias

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota-se que o método de secagem ambiente com posterior imersão em água é um método prescrito para adesivos de dispersão aquosa a serem aplicados em ambientes externos. Foi realizado para comparação com método de tração simples indicado para materiais cimentícios.

2.2.2 Tração Simples segundo a ABNT NBR 14081:2012

Os ensaios de tração simples em arrancamento da NBR 14081 (ABNT, 2012) foram realizados com as definições de argamassa do tipo ACII por similaridade de aplicação, visto esta norma não possuir requisitos para a tecnologia de adesivos de dispersão aquosa, que é o caso do composto polimérico avaliada neste estudo. Os ensaios que compõem a classificação ACII são: cura normal, cura com imersão em água e cura com aquecimento em estufa com especificação mínima de 0,5 MPa.

2.2.2.1 Preparação dos Corpos de Prova

A preparação dos corpos de prova foi realizada conforme descrito na NBR 14081 (ABNT, 2012). A aplicação do composto polimérico foi realizada sobre o substrato padrão pelo processo de imprimação, demonstrado na Figura 3 (a), onde porções do composto foram colocadas sobre a face rugosa do substrato e estendidas com o lado liso da desempenadeira num movimento de vaivém apoiado firmemente sobre a superfície. Após, novas porções do composto foram colocadas e estendidas com quantidade suficiente para a formação dos cordões de altura de $8 \pm 0,5$ mm realizados com o lado dentado da desempenadeira, conforme Figura 3 (b).

Figura 3: preparação dos corpos de prova para tração simples segundo a ABNT NBR 14081 (2012). (a) imprimação e (b) formação dos cordões com desempenadeira dentada



Fonte: adaptado de NBR 14081 (ABNT, 2012)

Após transcorrido 5 minutos da aplicação foram posicionadas 10 placas cerâmicas de lados 5 cm do grupo de absorção BIIa. As amostras foram acondicionadas conforme requisitos de cada processo de secagem, conforme descritos nos itens 2.2.2.2, 2.2.2.3 e 2.2.2.4. Com 72 horas antes de finalizar os processos de secagem, as pastilhas metálicas foram coladas com adesivo epóxi sobre as peças cerâmicas, para realização dos ensaios de tração simples em arrancamento com equipamento *Pull-Off* do fabricante Solotest.

2.2.2.2 Secagem em Temperatura Ambiente

Os corpos de prova foram submetidos pelo período de 28 dias nas condições de temperatura $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $60 \pm 2\%$ de UR.

2.2.2.3 Secagem em Temperatura Ambiente e Posterior Exposição à Temperatura Elevada

Os corpos de prova foram submetidos pelo período de 14 dias nas condições de temperatura $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $60 \pm 2\%$ UR e após essa etapa foram colocados em estufa à temperatura de $70 \pm 2^\circ\text{C}$ por mais 14 dias. Faltando 72 horas para finalizar o processo de secagem foi retirado o conjunto da estufa e realizado a colagem das placas metálicas com adesivo epóxi sobre os corpos de prova

cerâmicos. Após 24 horas, o conjunto foi disposto novamente na estufa e dado continuidade no ensaio.

2.2.2.4 Secagem em Temperatura Ambiente e Posterior Imersão em Água

Os corpos de prova foram submetidos pelo período de 21 dias nas condições de temperatura $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $60 \pm 2\%$ UR e após essa etapa foram imersos em água na condição de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ por 7 dias. Faltando 72 horas para finalizar o teste foi retirado o conjunto da imersão e realizada a colagem das pastilhas metálicas com adesivo epóxi. Após 24 horas para secagem do adesivo epóxi o conjunto foi disposto novamente à imersão. O teste de arrancamento foi realizado após mais 48 horas nas condições de imersão.

2.2.3 Tração Simples segundo as ABNT NBR 13753:1996 e NBR 13754:1996

As únicas normas técnicas nacionais que preveem uma metodologia para avaliação de desempenho mecânico de revestimentos cerâmicos ou porcelanatos em ambientes internos são as NBR 13753 e NBR 13754 (ABNT, 1996), para pisos e paredes, respectivamente. Ainda que sejam normas prescritivas para avaliação de assentamento com materiais cimentícios, fez-se a aplicação de peças cerâmicas do grupo de absorção BIIb, com faixa de absorção entre 6% e 10%, para simulação de condições de obra e realização do ensaio de tração simples em arrancamento *a posteriori*.

São normas distintas, em função das peculiaridades das aplicações em paredes e pisos, entretanto, o Anexo A das duas normativas, que prescreve a metodologia de avaliação de desempenho mecânico por meio da aplicação de uma força de tração simples é compartilhado. Neste trabalho seguiu-se as prescrições deste documento.

A aplicação se procedeu em um substrato de contrapiso de argamassa em um ambiente interno, sem exposição à chuva e ao sol, por se tratar de uma avaliação em ambientes internos. Fez-se a aplicação sem dupla colagem, ainda que as peças apresentem área superior a 900 cm^2 , porque trata-se de uma especificação do fabricante do composto polimérico, justificada pela EN 12004-1 (BS, 2017), que estabelece os procedimentos para aplicação de produtos não cimentícios no assentamento de revestimentos; e exige a aplicação de produto em no mínimo 10% da área total da peça.

A Figura 4 (a), (b) e (c) mostra, respectivamente, o processo de aplicação do produto com desempenadeira dentada de 8 mm, em que fez-se o espalhamento do composto sobre o substrato com o lado liso da ferramenta, e após fez-se a formação dos cordões com o lado dentado, a temperatura no momento de aplicação foi registrada em 29°C e o consumo medido foi de $5,5 \text{ kg/m}^2$; a amostra finalizada já com a aplicação de rejunte cimentício após 3 dias do assentamento; e 28 dias após o assentamento já com as pastilhas metálicas de arrancamento para realização do ensaio.

Figura 4: preparação dos corpos de prova para tração simples em simulação de obra segundo a ABNT NBR 13753:1996. (a) aplicação do composto polimérico para assentamento de peças cerâmicas em contrapiso de argamassa, (b) aplicação finalizada com rejuntamento e (c) colagem de pastilhas metálicas para arrancamento.

(a)

(b)

(c)



Fonte: registrado pelos autores.

Os corpos de prova foram cortados aos 27 dias e fez-se a colagem com adesivo epóxi bicomponente das pastilhas metálicas 10 x 10 cm, aos 28 dias fez-se o tracionamento dos corpos de prova com equipamento Solotest de arrancamento, em que a força é medida com dinamômetro digital e as áreas unitárias exatas dos corpos de prova foram medidas com paquímetro digital. O posicionamento dos corpos de prova foi definido aleatoriamente, com a disposição em juntas, em regiões periféricas e em regiões centrais das peças cerâmicas.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

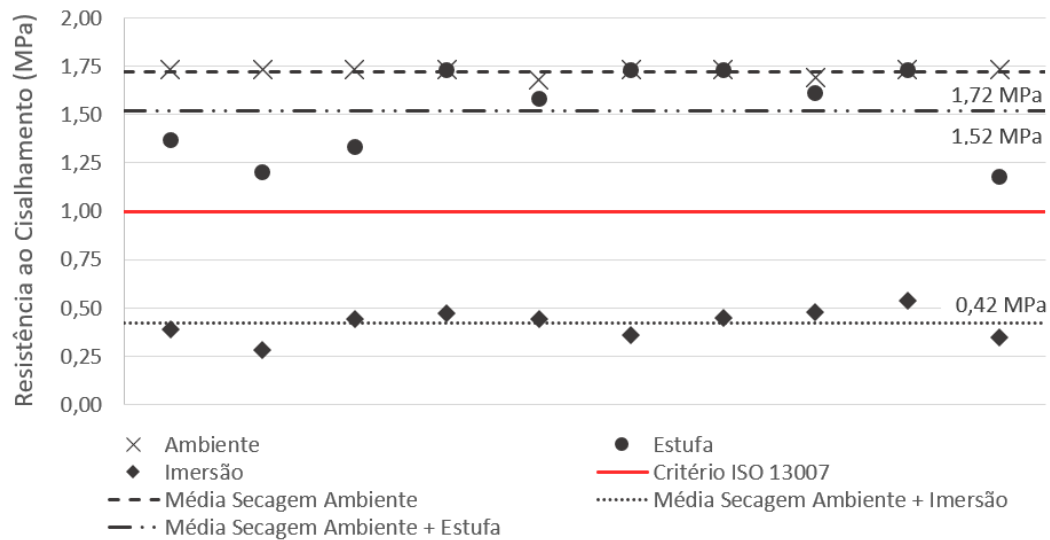
Neste item estão sendo apresentados os resultados e a correspondente discussão de resultados obtidos no programa experimental deste trabalho.

3.1 Resultados de Cisalhamento segundo a ISO 13007:2014

O gráfico da Figura 5 apresenta os resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento nas diferentes condições de exposição das amostras, inclusive no método de imersão que se dá para a categoria de requisitos para compostos poliméricos de ambientes externos. É possível observar que o composto polimérico avaliado apresentou 1,72 MPa de resistência ao cisalhamento na média de resultados do ensaio em secagem ambiente; e 1,52 MPa na média dos valores de secagem ambiente e posterior exposição à temperatura elevada em estufa, ambos atendendo ao critério mínimo de 1,0 MPa de resistência.

Nota-se ainda que para a condição de secagem ambiente os resultados apresentaram uma variação bastante restrita, indicando uma uniformidade de comportamento ao esforço de cisalhamento, diferentemente do que normalmente se observa em ensaios de tração simples, em que os resultados podem apresentar coeficiente de variação de até 60% em uma mesma amostra, conforme Lordsemm et al (1997). Os resultados para o método de temperatura elevada não apresentaram-se com a mesma baixa variação, provavelmente porque existe a formação de microfissuras na matriz do composto polimérico que reduz a padronização de dados.

Figura 5: resultados de cisalhamento segundo o método da ISO 13007:2014



Fonte: elaborado pelos autores.

O teste de imersão foi realizado como um ensaio complementar neste estudo, como já dito, visto que não é um critério para a categoria D1. O valor da média resultou em 0,42 MPa, e se compararmos com a categoria D2 da ISO 13007 (ISO, 2014), o composto avaliado atingiu 84% do valor exigido.

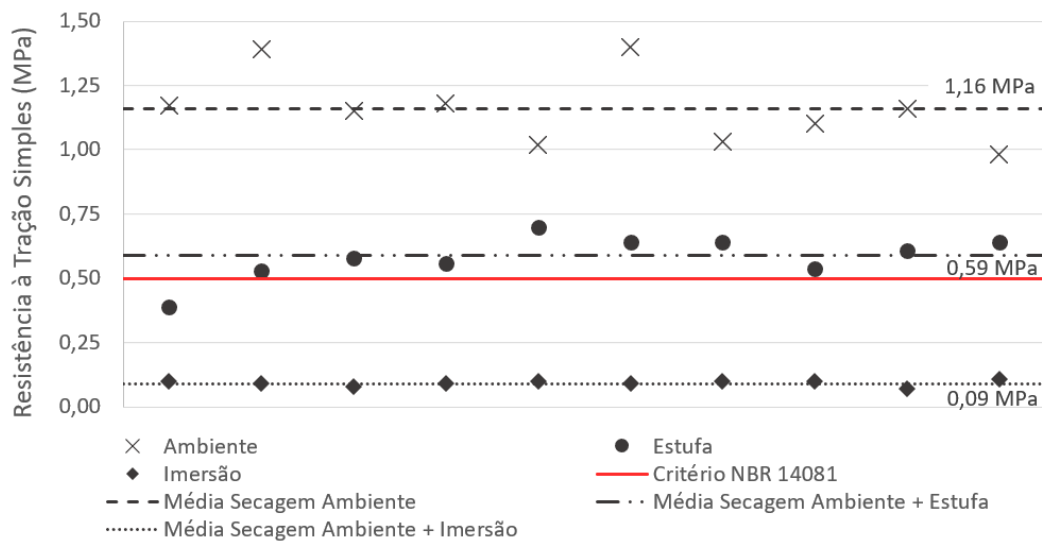
3.2 Resultados de Tração Simples segundo a ABNT NBR 14081:2012

Na Figura 6 é apresentado o gráfico com os resultados dos ensaios de tração simples segundo a metodologia da NBR 14081 (ABNT, 2012), tanto para o método de secagem ambiente, secagem com posterior imersão e método com secagem ambiente e estufa. Diz-se secagem e não cura porque o composto polimérico não cura, mas expulsa a água da matriz.

Pode-se observar que o valor do ensaio de secagem normal é 1,16 MPa, 2,32 vezes superior ao limite da norma. Para o ensaio de secagem com temperatura elevada o resultado foi de 0,59 MPa, atendendo-se o critério mínimo de 0,5 MPa, ainda que estes ensaios e requisitos não sejam definidos para compostos poliméricos. A variação dos resultados é significativamente superior às variações observadas no ensaio de cisalhamento. Isso ocorre porque provavelmente no cisalhamento as tensões são dissipadas de maneira mais homogênea, e no fenômeno de tração simples ocorre a aplicação direta de tensão sobre uma pequena espessura de material colante, nesse caso o composto polimérico.

No teste de imersão os resultados de resistência de aderência à tração simples foram, na média, 0,09 MPa, não atendendo ao requisito da norma. Todavia, é conhecido que as condições de ensaio dessa norma são definidas para a tecnologia cimentícia, sendo que esta reage quimicamente com a água para formação dos compostos resistentes e, conseqüentemente, aumento das propriedades de desempenho mecânico; já os compostos poliméricos necessitam passar pelo processo físico de secagem para atingirem as suas propriedades finais, sendo prejudicados por essa avaliação, contrariamente aos materiais cimentícios.

Figura 6: resultados de tração simples em laboratório segundo o método da ABNT NBR 14081:2012

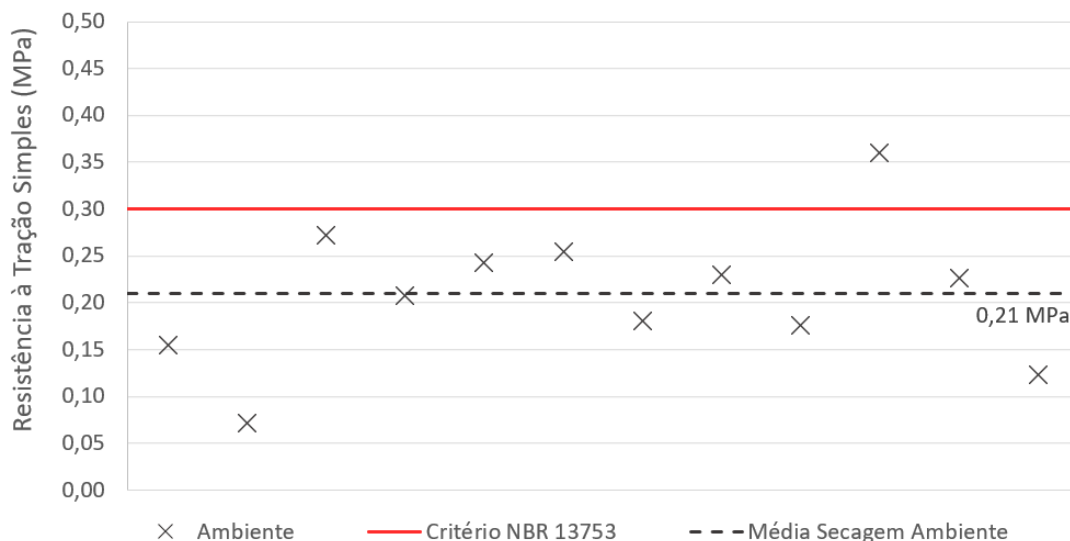


Fonte: elaborado pelos autores.

3.3 Resultados de Tração Simples segundo as ABNT NBR 13753:1996 e NBR 13754:1996

Os resultados de resistência de aderência à tração simples pelo método prescrito no Anexo A das NBR 13753 e NBR 13754 (ABNT, 1996), que se deu na aplicação de peças cerâmicas para simulação de obra, são apresentados na Figura 7, em que se observam também a média dos resultados unitários e o critério estabelecido pelas referidas normas técnicas. Como visto no item 2.2.3, o critério é dado em um nível de tensão de 0,3 MPa para 4 amostras em 6 que foram submetidas ao esforço de tração. Neste trabalho foram realizados 12 arrancamentos, e, portanto, 8 corpos de prova seriam o critério proporcional ao método prescritivo das normas. Neste método existem resultados somente para condição de secagem ambiente, visto que se trata de uma simulação de obra.

Figura 7: resultados de tração simples em simulação de obra pelo método das ABNT NBR 13753 e NBR 13754



Fonte: elaborado pelos autores.

Observa-se que somente uma amostra atingiu o critério, com 0,36 MPa de resistência de aderência à tração simples. A média geral de resultados foi de 0,21 MPa, exatamente 70% do valor de critério. Para um esforço de tração simples, cujo fenômeno não é verificado de forma isolada na prática, como já definido, trata-se de uma resistência relativamente elevada. Isso é dito porque para um nível de tensão de 0,21 MPa aplicados em uma área média de 10447 mm², como foi medido neste trabalho, corresponde a uma força média de 218 kgf.

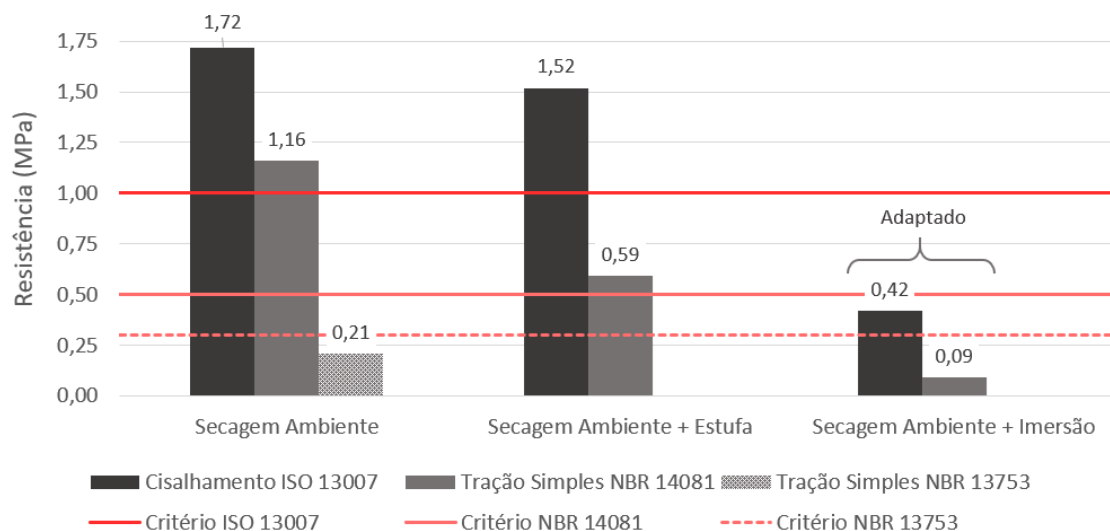
Nesse sentido, é possível afirmar que 218 kgf aplicados ao revestimento na forma de tração simples de arrancamento, perpendicular ao plano desse revestimento, seja de piso ou de parede, não ocorrem fenomenologicamente nos eventos de deslocamentos. Não ocorrem nem na peça inteira, menos ainda em uma área de 10 x 10 cm. Ainda assim não pode-se dizer que o sistema avaliado em simulação de obra atingiu os requisitos das normas brasileiras para avaliação de desempenho mecânico.

3.4 Resultados Médios Comparativos entre os Métodos Avaliados

O gráfico da Figura 8 apresenta os resultados médios de tração simples em arrancamento, tanto para os métodos de laboratório prescritos pela NBR 14081 (ABNT, 2012) quanto para os métodos de campo na simulação de obra prescritos pelo Anexo A das NBR 13753 e NBR 13754 (ABNT, 1996), além dos resultados médios de cisalhamento para os métodos indicados para adesivos de dispersão aquosa da ISO 13007 (ISO, 2014). Além disso, são indicados no gráfico os níveis de tensão requisitados pelas normativas.

Nota-se que para o método de secagem ambiente têm-se resultados para os três métodos avaliados, e para os métodos de secagem ambiente com posterior exposição a alta temperatura em estufa e ambiente com posterior imersão em água observam-se resultados para o método de tração simples em laboratório da NBR 14081 (ABNT, 2012) e para o método de cisalhamento da ISO 13007 (ISO, 2014). Salienta-se ainda que para o método de cisalhamento com imersão das amostras é dado para adesivos de dispersão aquosa indicados para assentamento de pisos e revestimentos de paredes em ambientes externos, que não é o caso neste trabalho; por isso, trata-se de um método adaptado, somente para comparação com resultados previstos de resistência à tração simples.

Figura 8: resultados médios comparativos entre os métodos avaliados em diferentes condições de secagem.



Para secagem ambiente, em que os corpos de prova permaneceram por 28 dias expostos às condições estabelecidas para ensaios de tração simples, tanto em laboratório quanto em simulação de obra, e 14 dias para o caso dos ensaios de cisalhamento, nota-se que a média de resultados de tração em simulação de obra não atingiu o critério estabelecido pelas NBR 13753 e NBR 13754 (ABNT, 1996). Entretanto, para o caso de tração simples em laboratório, a resistência média foi 232% superior ao critério normalizado. Para o caso de cisalhamento o resultado médio foi 72% superior ao critério da ISO 13007 (ISO, 2014).

É importante observar que o nível de tensão de cisalhamento exigido é o dobro do requerido para tração simples na norma brasileira. Os resultados mais baixos na simulação de obra devem estar associados às inúmeras variáveis impostas pelas condições não controladas de exposição durante os 28 dias de secagem, de execução do substrato e de aplicação por meio da mão de obra. Além disso, como o composto polimérico depende da expulsão de água da matriz para desenvolvimento de aderência, os resultados indicam que em condições laboratoriais esse fenômeno é mais facilitado, tanto pelos tamanhos dos corpos de prova quanto pelo controle de temperatura e umidade. Ainda assim, como já explorado no item 3.3, 0,21 MPa de tensão aplicados em tração simples não são condições normalmente verificadas na realidade, porque conforme Llorens et al. (2020), Silva (2018) e Souza et al. (2018), sabemos que a principal causa de deslocamentos é o esforço de cisalhamento.

Para a condição de secagem em estufa, que é dada após um período de exposição às condições ambientes controladas, os resultados, tanto de cisalhamento quanto de tração simples, atingiram os critérios estabelecidos. Para o caso de cisalhamento, a média foi 52% superior; para tração simples foi de 18% acima do exigido. Essa redução de resistência quando comparada com o método de exposição ambiente unicamente pode estar associada à redução de aderência química, por exemplo, ou à formação de microfissuras na matriz a partir da expulsão acelerada de água. Ainda assim, mais uma vez, atingiu resultados acima dos limites estabelecidos.

Nota-se que na condição de exposição ambiente com posterior imersão dos corpos de prova os resultados não atingiram os critérios normativos. No ensaio de cisalhamento o nível de tensão

atingido foi de 84% do nível mínimo exigido, isso porque para compostos poliméricos de ambientes externos a ISO 13007 (ISO, 2014) estabelece que o critério para o método de imersão é de 0,5 MPa. Já para tração simples, o resultado médio foi 18% em relação ao exigido. Entretanto, como já dito, a ISO 13007 (ISO, 2014) não prescreve um método de imersão para compostos poliméricos de dispersão aquosa indicados para ambientes internos. Daí a afirmação de que trata-se de um método adaptado para as condições de avaliação deste trabalho.

A NBR 14081 (ABNT, 2012) é uma normativa indicada para avaliação de materiais cimentícios, e, portanto, a imersão em água das amostras favorece a formação dos compostos resistentes provenientes da hidratação do cimento, e não cria uma condição crítica de avaliação. Para compostos de dispersão aquosa esse método atua de forma inversa, porque gera ao sistema avaliado condições de impedimento para a expulsão da água de sua matriz. Ainda assim, no ensaio de cisalhamento o resultado foi positivo, com atingimento de 84% do critério normativo, tendo que não é um produto para ambientes externos.

Isso ocorreu provavelmente porque materiais poliméricos tendem a ser significativa e expressamente mais flexíveis do que materiais cimentícios, ainda que tenham adição de polímeros em baixo teor. Essa flexibilidade permite a dissipação de tensões de cisalhamento maior do que a dissipação de tensões de tração simples, porque na tração simples a dissipação ocorre na espessura da camada do material colante, e no cisalhamento a dissipação ocorre em toda a interface de adesão. Aqui é importante salientar que não se afirma que a aplicação da tensão não seja na interface no caso da tração simples, mas que a dissipação da energia se dá em condições geométricas mais limitadas, neste caso limitadas à espessura.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo explorar as diferenças entre os fenômenos de tração simples e cisalhamento nos eventos de deslocamentos e avaliar os métodos de medição de desempenho mecânico em compostos poliméricos de dispersão aquosa, além de observar a existência ou não de uma metodologia mais adequada para esse tipo de material, não cimentício. As principais considerações finais a serem realizadas a partir do exposto são:

- A ISO 13007 (ISO, 2014) parece apresentar a metodologia de ensaio mais adequada para enquadramento normativo de compostos poliméricos de dispersão aquosa. Não somente porque especifica um processo de avaliação especificamente para esse material, mas porque avalia justamente o principal esforço mecânico atuante nos sistemas de revestimentos, que é o cisalhamento. Além disso, as normas brasileiras prescritivas para materiais a base de cimento estabelecem um método também de imersão, mesmo para avaliação de sistemas em ambientes internos; mas como visto, para adesivos de dispersão aquosa de qualquer natureza esse não é um processo que favorece o comportamento do produto, diferentemente do verificado para materiais cimentícios;
- Ainda que o sistema de revestimento seja construído com materiais cimentícios, é provável que uma avaliação da resistência de aderência em cisalhamento seja também mais adequada, porque esse é o principal fenômeno atuante em situações reais, como observado por mais de um autor. Esse método ainda potencializa a uniformidade de resultados unitários e permite a avaliação real do desempenho mecânico;
- O composto polimérico avaliado nesta pesquisa, portanto, atende aos requisitos estabelecidos pela norma técnica associada à tecnologia, além de atender aos métodos sem imersão na NBR 14081 (ABNT, 2012) e se comportar em tração simples com mais de 2/3

do nível exigido para normas de avaliação *in situ*, para materiais cimentícios, salienta-se. Por se tratar de um material flexível, como afirmado por outros autores e pela própria ISO 13007 (ISO, 2014), o composto polimérico estudado, a partir dos resultados obtidos, apresenta potencial de absorver as deformações por dilatação térmica diferencial e efeitos dinâmicos das edificações, e, portanto, potencial de eliminar as manifestações patológicas de sistemas de revestimentos no que se refere aos deslocamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1996). *NBR 13753: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1996). *NBR 13754: Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *NBR 14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Requisitos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *ISO NBR 13006: Placas cerâmicas - Definições, classificação, características e marcação*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 8877: Adesivos – Determinação do teor de sólidos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 8916: Adesivos e selantes - Determinação da massa específica - Método picnômetro*. Rio de Janeiro.

Bauer, E., Castro, E. K., Leal, F. E., Antunes, G. R. (2011). “*Identification and quantification of failure modes of new buildings facades in Brasilia*” in: Proceedings of XII International Conference on Durability of Building Materials and Components, FEUP Edições, Porto (Portugal), pp. 1089-1096.

Bauer, R. J. F., Rago, F. (2001), Normalização de argamassas colantes para assentamento e argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas. *Ambiente Construído*. 2: 81-84.

British Standard - European Standard. (2008). *EN 12002: Adhesives for ceramic tiles: Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts*. Londres.

British Standard - European Standard. (2017). *EN 12004-1: Adhesives for ceramic tiles. Requirements, assessment and verification of constancy of performance, classification and marking*. Londres.

British Standard (2013). *BS 4551: Mortar. Methods of test for mortar and screed. Chemical analysis and physical testing*. Londres.

Câmara Brasileira da Construção Civil – CBIC. (2019). https://cbic.org.br/es_ES/entrevista-desplacamento-ceramico-construcao-civil-defende-rapida-resolucao/. Último acesso em 24/05/2021.

Cincotto, M. A. Silva. Carasek, H. (1995). Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 118p. São Paulo.

- International Organization for standardization. (2014). *ISO 13007: Ceramic tiles - grouts and adhesives*. Geneva.
- Llorens, J., Llorens, M., Chamorro, M. A., Gómez, J., Barris, C. (2020), Experimental study on the vertical interface of thin-tile masonry. *Construction and Building Materials*. 261:1-11.
- Lordsleem, A., Souza, J., Medeiros, J., Sabbatini, F. (1997). “Resistência de aderência de revestimentos cerâmicos”. in: Anais do Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 259-270.
- Lourenço, T., Matias, L., Faria, P. (2017), Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography. *Construction and Building Materials*. 148:419-428.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (2014), “*Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*”. 2º ed. IBRACON, São Paulo, Brasil.
- Melo, A. C. Costa e Silva, A. J. Torres, S. M. Delgado, J.P.M.Q. Azevedo, A.C. (2020), Influence of the contact area in the adherence of mortar – Ceramic tiles interface. *Construction and Building Materials*. 243:1-14.
- Oliveira, P. V., Neves, R. R., Moreira, G. A. M., Santos, W. J., Carvalho Júnior, A. N. (2019). “Deslocamento de revestimento cerâmico interno no sistema construtivo parede de concreto moldado in loco” in: Anais do VI Congresso de Engenharia Civil, UFJF, Juiz de Fora, (Brasil), pp. s/n.
- Sagave, A. M. (2001), “Desenvolvimento de método de ensaio de aderência ao cisalhamento de peças cerâmicas de revestimento”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Sasaki, C. H. F. (2017), “Avaliação dos fatores de deslocamento de revestimentos cerâmicos em fachadas de edifícios na cidade de Curitiba - PR”, Monografia de especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Silva, A. C. M. (2018), “Contribuição ao estudo da influência da área de contato na aderência da interface argamassa colante-cerâmica”, Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Pernambuco.
- Souza, J. Silva, A. Brito, J. Bauer, E. (2018), Service life prediction of ceramic tiling systems in Brasília-Brazil using the factor method. *Construction and Building Materials*. 192: 38-49.
- Souza, J. Silva, A. Brito, J. Bauer, E. (2018), Service life prediction of ceramic tiling systems in Brasília-Brazil using the factor method. *Construction and Building Materials*. 192: 38-49.
- Wetzel, A. Zurbriggen, R. Herwegh, M. Greminger, A. Kaufmann, J. (2012), Long-term study on failure mechanisms of exterior applied tilings. *Construction and Building Materials*. 37: 335-348.
- Winnefeld, F. Kaufmann, E. Hack, E. Harzer, S. Wetzel, A. Zurbriggen, R. (2012), Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength. *Construction and Building Materials*. 30:426-438.

Caracterização do comportamento de pastas e argamassas de cimentos Portland durante o processo de lixiviação acelerada

P. G. Goulart¹, R. P. Dias^{2*}, A. C. P. dos Santos³

* rp.dias.2020@aluno.unila.edu.br

¹ Graduando em Engenharia Civil de Infraestrutura, Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, Brasil.

² Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), bolsista CAPES, Foz do Iguaçu, Brasil.

³ Doutora em Engenharia Civil, Professora adjunta na Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, Brasil.

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de analisar o comportamento de cimentos com adições frente ao processo de lixiviação acelerada de pastas e argamassas fabricadas a partir de três cimentos brasileiros, estas foram expostas a uma solução agressiva de nitrato de amônio que potencializa a dissolução dos íons de cálcio, sendo realizados ensaios de compressão axial, termogravimetria, DRX, titulação química e avanço da lixiviação. Os resultados obtidos indicaram um melhor comportamento dos cimentos pozolânicos frente ao processo de lixiviação, apresentando menor queda de resistência à compressão Axial, menor avanço da frente de lixiviação e maior estabilidade da portlandita. Análises complementares estão sendo realizadas a fim de compreender a influência da relação Ca/Si na lixiviação dos C-S-H.

Palavras-chave: Cimento Portland; Lixiviação; Durabilidade; Desempenho.

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo analizar el comportamiento de los cementos con adiciones ante el proceso de lixiviación acelerada. Las pastas y morteros de tres cementos brasileños fueron expuestos a una solución agresiva de nitrato de amonio que favorece la disolución de los iones de calcio, realizándose ensayos de compresión axial, termogravimetría, XRD, titulación química y avance de lixiviación. Los resultados obtenidos indicaron un mejor comportamiento de los cementos pozoalánicos en relación al proceso de lixiviación, con menor caída de resistencia a la compresión, menor avance del frente de lixiviación y mayor estabilidad de la portlandita. Se están llevando a cabo análisis complementarios para comprender la influencia de la relación Ca/Si en la lixiviación de C-S-H.

Palabras clave: Cemento Portland; Lixiviación; Durabilidad; Desempeño.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the behavior of cements with additions in the face of the accelerated leaching process. Pastes and mortars made from three Brazilian cements were exposed to an aggressive ammonium nitrate solution that potentiates the dissolution of calcium ions, with compressive strength tests, thermogravimetry, XRD, chemical titration and leaching progress. The results obtained indicated a better behavior of the pozzolanic cements in relation to the leaching process, with less resistance drop, less advance of the leaching front and greater stability of portlandite. Complementary analyzes are being carried out in order to understand the influence of the Ca/Si ratio on C-S-H leaching.

Keywords: Portland Cement; Leaching; Durability; Performance.

1. INTRODUÇÃO

A facilidade de utilização, baixo custo e alta resistência mecânica fazem do concreto o material fabricado mais consumido atualmente em todo o planeta, apresentando um crescimento exponencial em sua utilização nos últimos anos (Cancio Díaz et al., 2017; K. L. Scrivener et al., 2018). Em razão do principal componente do concreto ser o cimento, esse aumento na utilização de materiais cimentícios eleva as emissões de CO₂ em virtude da alta pegada de carbono associada ao clínquer (Hossain et al., 2018; IEA, 2009). Para diminuir a emissão de CO₂ e conferir determinadas propriedades necessárias para aplicações específicas, a indústria cimenteira passou a desenvolver novos cimentos a partir da utilização de materiais cimentícios suplementares (MCS). O Brasil possui atualmente 10 cimentos normatizados pela ABNT NBR 16697 (ABNT, 2018), sendo 9 deles possuidores de algum tipo de MCS, variando entre materiais carbonáticos, escória granulada de alto-forno e materiais pozoalánicos.

A alteração da composição dos cimentos tem impacto em todas as características dos concretos produzidos, desde a cinética da hidratação até a composição dos produtos hidratados, sendo essa variação mais observada em cimentos pozoalánicos (Lothenbach et al., 2011). Além do aumento das fases AFm e da Portlandita ser consumida em idades posteriores pela reação com os materiais silicosos ou sílico-aluminosos, os C-S-H formados a partir de cimentos pozoalánicos possuem menores relações Ca/Si e um aumento no teor de aluminato incorporado, influenciando as

propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos e argamassas produzidos devido a interação da matriz cimentícia com os agentes agressivos (Cuesta et al., 2021; Dai et al., 2014). Apesar da água ser um elemento fundamental na produção de concretos e argamassas, o contato com a mesma pode causar a degradação por meio de alguns fenômenos, como a lixiviação. A mesma é caracterizada pelo aparecimento de precipitações brancas na superfície, conforme Figura 1, em virtude da dissolução e do transporte dos íons de cálcio dos compostos hidratados de uma matriz cimentícia quando em contato com o fluxo de água, principalmente as águas puras ou ácidas (Taylor, 1997). A velocidade de difusão e dissolução dos íons de cálcio é dependente do tamanho e da conectividade entre os poros, fazendo com que matrizes mais densas e com redes de poros menos interconectadas tendam a apresentar melhor resistência ao processo inicial de lixiviação (Rozière et al., 2009; Wan et al., 2015). Com o avanço do processo ocorre o aumento da porosidade e do coeficiente de difusão, fatores que combinados à degradação do concreto de superfície podem causar a despassivação do aço e maior propensão à corrosão das armaduras (Jia et al., 2019; Phung et al., 2016).



Figura 1. Exemplos de lixiviação em concreto massa na Usina Hidrelétrica (UH) de Itaipu (C. J. Neumann, 2019).

O fenômeno de lixiviação do cálcio tem sido relatado desde 1920, porém existem poucos registros sobre casos com danos severos em estruturas de concreto em virtude da lenta taxa de degradação quando comparada a outros fenômenos como a carbonatação e a reação álcali-agregado (Nakarai et al., 2006). Entretanto, esse ataque é muito observado em estruturas hidráulicas, como portos, pontes e barragens, onde o contato com a água é constante e a vida útil é superior às edificações convencionais, sendo necessárias análises mais criteriosas. Nesse sentido, Neumann (2019) avaliou o processo de lixiviação no concreto de enchimento da casa de força da Usina Hidrelétrica de Itaipu constatando que entre 1984 e 2019 3,4% do total de cálcio existente na região passível de ser afetada havia sido perdido, valor considerado dentro dos limites estabelecidos durante a fase de concepção e projeto. Além disso, é importante ressaltar que o concreto desse local foi fabricado com a adição de cinza volante, conferindo pozolanicidade à mistura e, teoricamente, proporciona a mesma uma estrutura de poros mais refinada, podendo essa ser uma das razões para a boa resistência à lixiviação (C. Neumann et al., 2021).

Dessa maneira, a fim de contribuir no entendimento do processo de lixiviação, essa pesquisa teve como objetivo avaliar o processo de lixiviação acelerada em três cimentos brasileiros, sendo dois deles compostos por MCS de origens pozolânicas e outro apenas com a adição de filler calcário. Foram moldados corpos de prova (CP's) a partir de pastas e argamassas para a realização de ensaios de resistência à compressão, avanço da lixiviação, termogravimetria e DRX.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foram utilizados três cimentos comerciais brasileiros com composições obtidas a partir de ensaios de FRX, conforme Tabela 1. De acordo com a ABNT NBR 16697 (ABNT, 2018), os três cimentos possuem diferentes níveis de adições de material carbonático e, além disso, o CP II-Z e o CP-IV contém adições pozolânicas.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de FRX e granulometria a laser dos cimentos

Composto	% em massa		
	CP II-F	CP II-Z	CP IV
CaO	63.91	59.95	59.26
SiO ₂	12.67	18.63	21.66
MgO	3.65	0.86	1.74
SO ₃	3.46	3.30	1.85
Al ₂ O ₃	3.26	6.23	6.38
Fe ₂ O ₃	2.99	3.19	2.72
K ₂ O	1.09	1.26	0.94
TiO ₂	0.21	0.36	0.36
SrO	0.18	0.26	0.31
BaO	0.14	0.00	0.00
MnO	0.06	0.00	0.00
ZnO	0.01	0.00	0.00
CuO	0.01	0.00	0.00
Perda ao Fogo	8.356	5.92	4.78
Granulometria (µm)			
D _{v.10}	1.56	1.59	1.42
D _{v.50}	14.56	14.78	12.91
D _{v.90}	39.32	41.57	33.11

A areia utilizada na produção das argamassas foi a areia normal brasileira nas frações grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100). A mesma é produzida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de acordo com a ABNT NBR 7214 (ABNT, 2015).

Foi utilizada uma Resina Epóxi Transparente 2001 (0.670 Kg) com Endurecedor 3154 (0.330 Kg), da marca Redelease, com a finalidade de isolar as laterais dos CP's (corpos de prova) para que o processo de degradação ocasionado pela lixiviação acelerada ocorresse apenas na direção axial dos mesmos.

Para a etapa de lixiviação, o agente agressivo utilizado foi o nitrato de amônio em solução de 2 mol/l. O nitrato de amônio é um composto químico inorgânico que possui fórmula química

NH_4NO_3 , peso molecular 80.04 g/mol e, na concentração utilizada, proporciona uma aceleração do processo de lixiviação (Arribas et al., 2018).

2.2 Moldagem e cura dos corpos de prova

Foram preparadas argamassas com traço 1 : 3 : 0.55 e moldados 15 CP's cilíndricos (5 cm de diâmetro \times 10 cm de altura) para ensaios de resistência à compressão (ABNT, 2019) e para a coleta de material para ensaios de termogravimetria; e 5 CP's cúbicos de 125 cm³ (5 cm \times 5 cm \times 5 cm) para a medição do avanço da lixiviação. Além disso, para evitar a influência da sílica presente na areia, foram preparadas pastas com relação água/cimento de 0.55 e moldados 5 CP's cúbicos de 1 cm³ (1 cm \times 1 cm \times 1 cm) para ensaios de DRX.

Após a moldagem, todos os CP's permaneceram dentro dos moldes por 24 horas e depois foram submetidos a 270 dias de cura úmida em um tanque de imersão de água saturada com cal hidratada para evitar a perda de cálcio para o meio. O ensaio de lixiviação acelerada não é normatizado e o protocolo estabelecido inicialmente foi de uma cura de 90 dias, garantindo estado avançado das reações pozolânicas. Em virtude da impossibilidade de acesso aos laboratórios ocasionada pela pandemia do COVID-19, os CP's permaneceram por mais tempo em cura.

Após os 270 dias de cura úmida, os CP's foram submetidos a uma lavagem para remover o excesso de cal aderida à superfície dos mesmos e deixados em temperatura ambiente durante 24 horas para uma secagem completa. Após esse procedimento, as laterais dos CP's cilíndricos foram resinadas para permitir o avanço da lixiviação apenas na direção axial dos mesmos.

24 horas após o processo de resinagem, os CP's cilíndricos foram retificados para remover eventuais imperfeições que pudessem interferir no ensaio de resistência à compressão axial (ABNT, 2019).

2.3 Processo de lixiviação acelerada e ensaios realizados

O processo de lixiviação acelerada consiste na imersão dos corpos de prova em soluções de nitrato de amônio (concentração de 2 mols por litro) dentro de recipientes plásticos com tampa, com dimensões de 24 cm x 40 cm x 16 cm (Figura 2), conforme metodologia proposta por Arribas et al. (2018). Para cada tipo de cimento foram preparados 7 litros de solução, quantidade suficiente para garantir a imersão total de todos os CP's. Os CP's de cada tipo de cimento foram dispostos em caixas plásticas distintas para evitar que amostras de diferentes composições químicas estivessem em contato com a mesma solução.

A etapa de coleta de dados foi realizada simultaneamente ao processo de lixiviação acelerada. Nas datas 0, 1, 3, 7, e 21 dias (contados a partir do início da imersão dos corpos de prova em solução lixiviante), foram coletados um CP cúbico para a medição do avanço da lixiviação por meio da aspensão da solução de fenolftaleína, 3 CP's cilíndricos para o ensaio de resistência à compressão axial e um CP cúbico de pasta para a realização dos ensaios de DRX. As amostras para os ensaios de termogravimetria foram coletadas a partir do CP cilíndrico rompido que apresentou resistência à compressão intermediária entre os 3 ensaiados na mesma data.

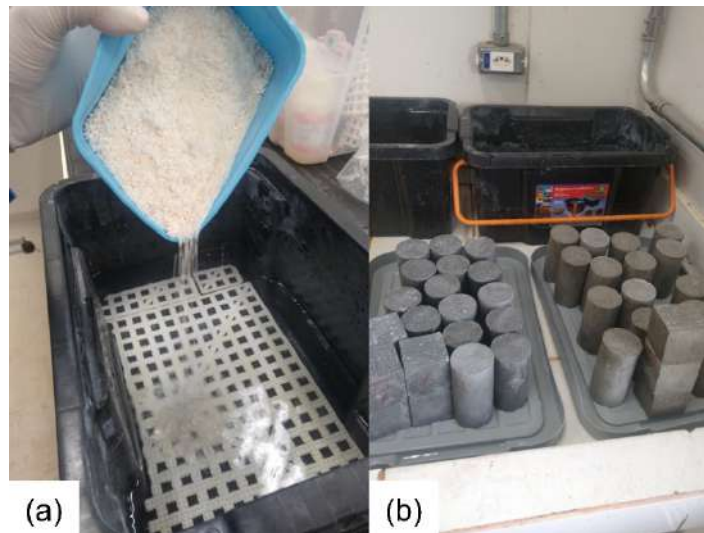


Figura 2. (a) Preparação da solução de nitrato de amônio e (b) corpos de prova antes do início do processo de lixiviação acelerada.

O ensaio de termogravimetria foi realizado em um equipamento STA 8000 (Perkins Elmer) com aquecimento da amostra a 35 °C por 60 minutos para a evaporação da água livre e, posteriormente, uma rampa de aquecimento de 35 °C a 1000 °C a uma taxa de 10 °C/min, sob atmosfera de nitrogênio com vazão de 20 ml/min. A partir dos resultados do ensaio de termogravimetria e da Tabela 2 – elaborada a partir de resultados de pesquisas anteriores oriundas de parcerias com a Itaipu Binacional – os picos de perda da Portlandita (CH) e carbonatos foram identificados.

Tabla 2. Faixas de temperatura consideradas para avaliação da TG (C. J. Neumann, 2019)

Elemento	Faixa de temperatura
H ₂ O livre, parcelas de etringita e de C-S-H	35 °C a 150 °C
CaSO ₄ • 2H ₂ O	100 °C a 165 °C
Fases AFt (etringita) e AFm (monossulfatos)	200 °C a 400 °C
Hidróxidos	330 °C a 500 °C
Carbonatos	600 °C a 800 °C

Para as análises de difratometria de raios-X (DRX) foi utilizado um difratômetro modelo PIXcel3D (Empyrean), com comprimento de onda K α 1.5405 (ânodo de cobre), 2 θ , em intervalo de 5° a 70°, 25 minutos de varredura, com base rotativa (15 rpm), sob tensão de 40 kV e corrente de 20 A; a composição mineralógica dos materiais foi analisada com o software HighScore Plus da PANalytical BV de maneira qualitativa.

A análise da solução lixiviante consistiu na realização de titulação volumétrica da mesma utilizando a amostra da solução coletada, NaOH 5N (Hidróxido de Sódio com concentração de 5 normal) para a estabilização do pH da solução, EDTA (Ácido Etilenodiamino Tetra-acético) com concentração de 0,025 Mol/L como o reagente titulador e o indicador Murexida preparado com NaCl (Cloreto de Sódio) para estabilizar a reação e determinar o ponto de total complexação do CaOH. O processo de titulação foi realizado nas mesmas idades que os demais ensaios.

3. RESULTADOS

3.1 Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão estão representados na Figura 3. Inicialmente já é possível visualizar que após os 270 dias de cura, a reação pozolânica dos cimentos CP II-Z e CP IV já está em estado avançado, ultrapassando a resistência à compressão da argamassa fabricada a partir de CP II-F em 40,5% e 8,5%, respectivamente.

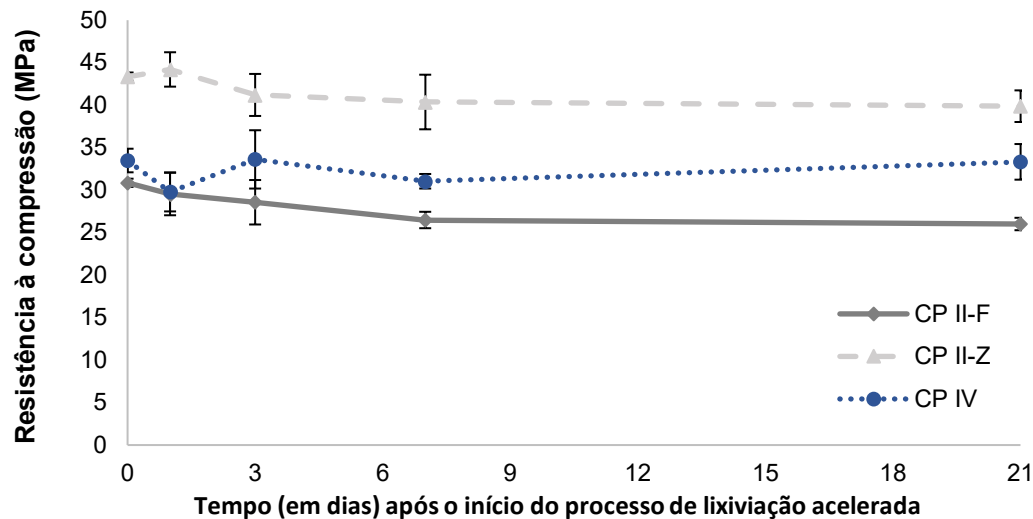


Figura 3. Resistências à compressão

Além de possuir menor resistência à compressão inicial, o CP II-F apresentou 15,7% de queda na resistência mecânica após os 21 dias de lixiviação acelerada, maior percentual de decaimento entre os três cimentos avaliados. O CP II-Z apresentou uma queda na resistência à compressão de aproximadamente 8% enquanto o CP IV se manteve praticamente estável, corroborando os resultados de Jiang et al. (2021), que obtiveram redução da resistência à compressão na ordem de 4,5% – 8% para cimentos com diferentes teores de substituições pozolânicas. Arribas et al. (2018) também realizaram estudos de lixiviação acelerada (solução de nitrato de amônio com concentração de 6 mol/l), porém o período de cura foi de apenas 28 dias e a redução de resistência à compressão foi de aproximadamente 85%.

Ademais, não é possível analisar questões acerca da porosidade de cada um dos cimentos e nem do tipo e teor de adições pozolânicas presentes no CP II-Z e no CP IV, mas os resultados de resistência à compressão indicam maior resistência à lixiviação dos cimentos pozolânicos.

3.2 Avanço da Lixiviação

A partir das medições realizadas com o paquímetro (Figura 4) foi possível verificar que o CP II-F apresentou maior avanço da lixiviação dentre os três cimentos avaliados, conforme Figura 5. Aos 21 dias, o processo de lixiviação atingiu aproximadamente 29.5%, 26.6% e 24.7% da área da seção transversal média dos CP's cúbicos das argamassas produzidas com CP II-F, CP IV e CP II-Z respectivamente. Os resultados vêm de encontro ao observado por Jiang et al. (2021), que constatou que quanto maior a presença de adições pozolânicas, menor o avanço da lixiviação.

O cimento CP II-F apresentou maior avanço da lixiviação nas primeiras idades com 13.58% da área da seção transversal lixiviada após um dia de exposição ao agente agressivo. Esse valor corresponde, provavelmente, à lixiviação do hidróxido de cálcio, produto menos presente nos outros dois cimentos em virtude da presença de pozolanas.



Figura 4. Medição do avanço da lixiviação

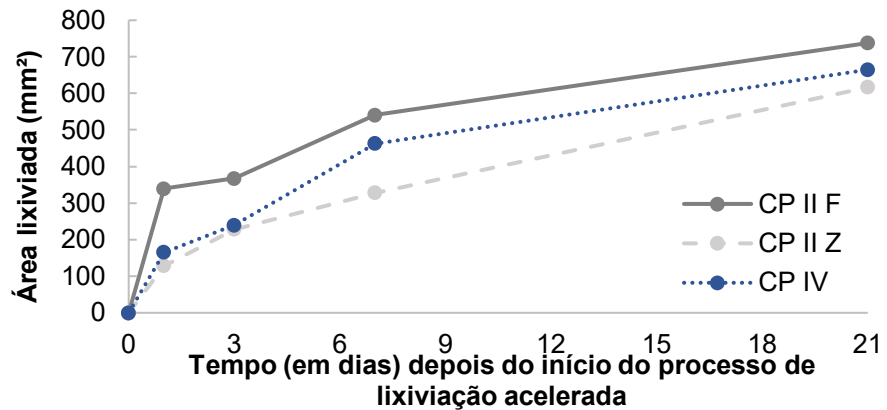


Figura 5. Área lixiviada

Apesar do CP II-F ter apresentado áreas lixiviadas superiores às dos outros cimentos em todas as idades de ensaio, a partir dos sete dias a taxa de avanço da lixiviação nos cimentos pozolânicos se iguala à taxa do cimento CP II-F. Isso pode ser um indicativo que após a lixiviação das estruturas da portlandita do CP II-F, a frente de lixiviação passa a acarrear os íons de cálcio das estruturas de C-S-H, apresentando, dessa maneira, um avanço uniforme e paralelo ao avanço da lixiviação dos cimentos pozolânicos em virtude da menor presença da Portlandita no CP II-Z e no CP IV, que, por ventura, possuem o início da lixiviação das estruturas de C-S-H antes do CP II-F.

3.3 Termogravimetria e DRX

Apesar de não ser possível obter as composições exatas dos cimentos, a Figura 6 ajuda a identificar algumas das fases presentes no dia 0 (condição inicial, 270 dias de cura, sem serem submetidos à solução lixiviante) e a fazer alguns comparativos entre os mesmos, visto que nenhuma normalização foi realizada. O CP IV possivelmente possuía maior teor de adição pozolânica em razão da menor quantidade de hidróxido de cálcio (CH).

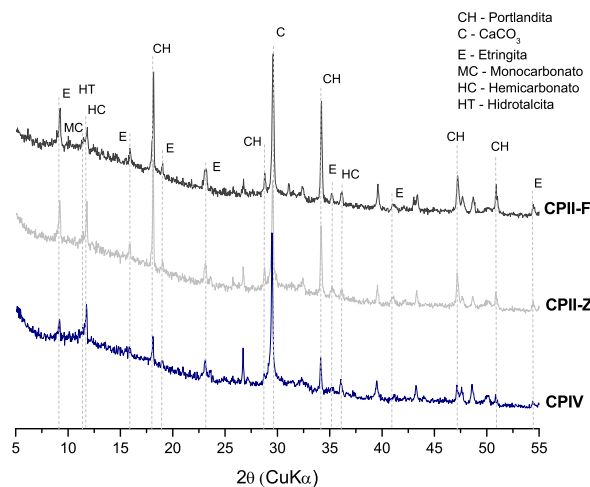
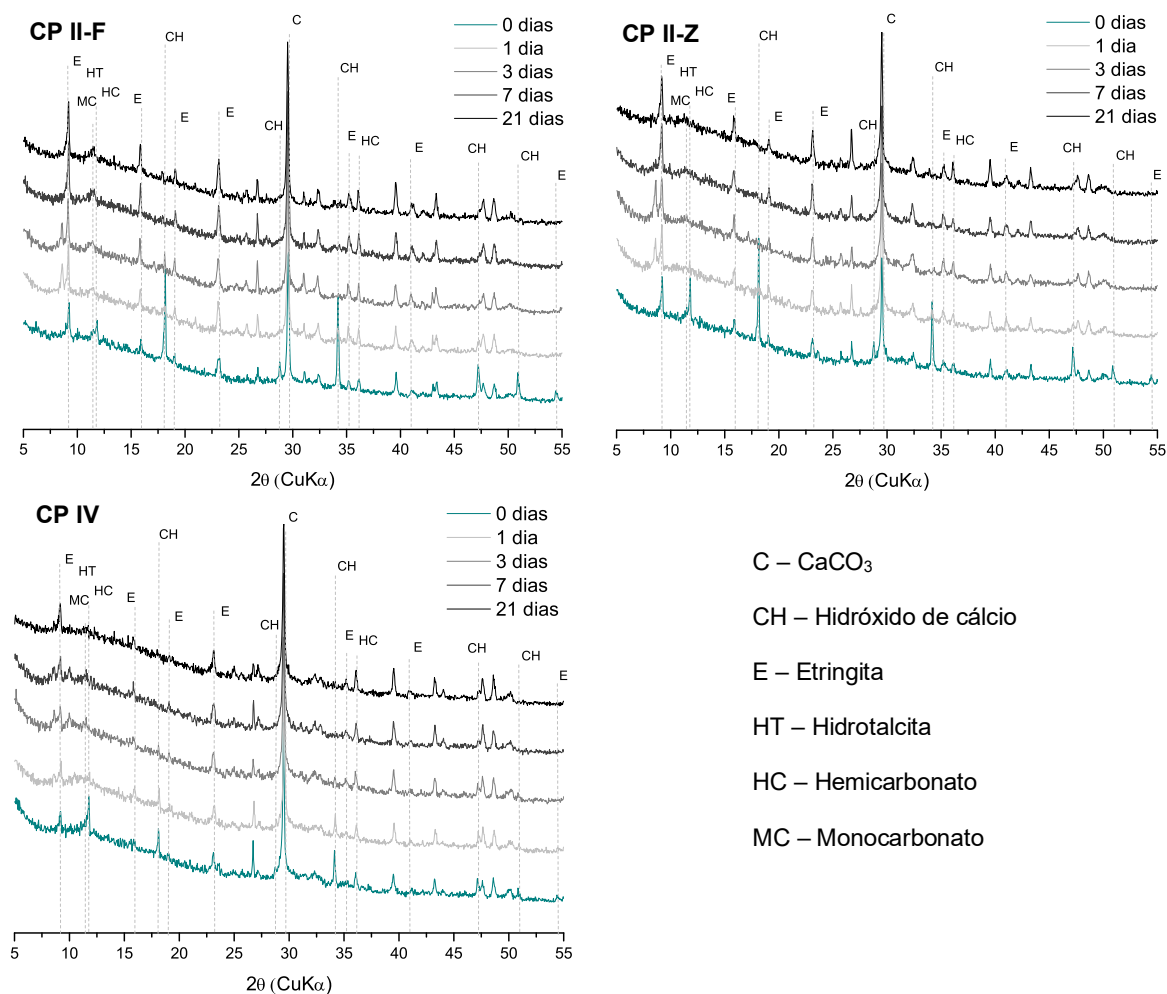


Figura 6. Difractogramas das pastas no dia 0 (270 dias de cura úmida).

As demais comparações foram realizadas apenas entre os cimentos, conforme Figura 7. Nenhuma normalização foi realizada pois não se pode afirmar que algum dos produtos hidratados não sofrerá alteração quando em contato com a solução lixiviante.

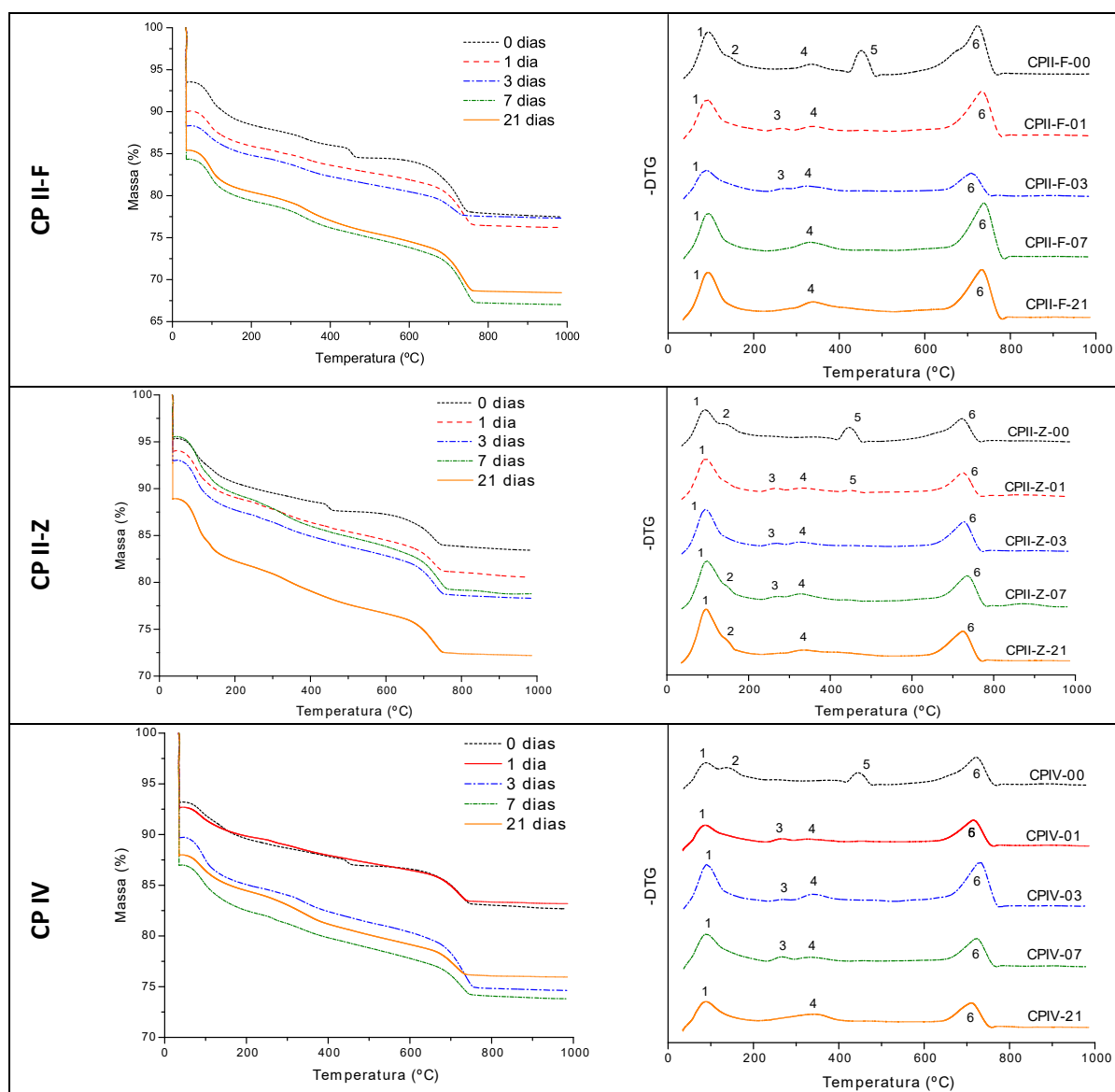


- C – CaCO₃
- CH – Hidróxido de cálcio
- E – Etringita
- HT – Hidrotalcita
- HC – Hemicarbonato
- MC – Monocarbonato

Figura 7. Difractogramas de todas as pastas.

Os difratogramas representam basicamente a mudança das fases ao longo dos 21 dias de exposição à solução lixiviante. A principal mudança é no hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que já apresentou uma queda brusca com 1 dia de exposição no CP II-F e CP II-Z. Apesar de o CP IV possuir menor teor de hidróxido de cálcio no dia 0, a taxa de lixiviação aparenta ter sido menor com esse cimento. Ainda que a etringita seja considerada solúvel em contato com soluções lixiviantes, a mesma se mostrou mais estável que as demais fases cristalinas apontadas na Figura 7, assim como também apontado por Garcia-Lodeiro et al. (2021).

Partindo da análise comparativa obtida por meio dos ensaios de DRX, uma análise quantitativa foi realizada por meio dos resultados das curvas de TGA/DTG (Figura 8). Em uma primeira análise das curvas de DTG é possível verificar o pico de hidróxido de cálcio apenas no dia 0, indicando um consumo muito rápido do mesmo pelo processo de lixiviação.



*OBS: Os picos observados no DTG são referentes a: 1 – H_2O , C-S-H e Etringita; 2 – Mono e Hemicarboaluminatos; 3 e 4 – Hidrotalcita; 5 – Portlandita; 6 – Carbonatos.

Figura 8. Curvas de TGA/DTG.

Por meio das Equações (1) e (2) propostas por Scrivener et al. (2018) é possível estimar as massas de hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e de carbonatos (CaCO₃), respectivamente. Os resultados estão representados nas Figuras 9 e 10.

$$Ca(OH)_2,calculado = \frac{Perda\ de\ massa\ de\ Ca(OH)_2 \times\ massa\ molecular\ Ca(OH)_2}{massa\ molecular\ H_2O} \quad (1)$$

$$CaCO_3,calculado = \frac{Perda\ de\ massa\ de\ CaCO_3 \times\ massa\ molecular\ CaCO_3}{massa\ molecular\ CO_2} \quad (2)$$

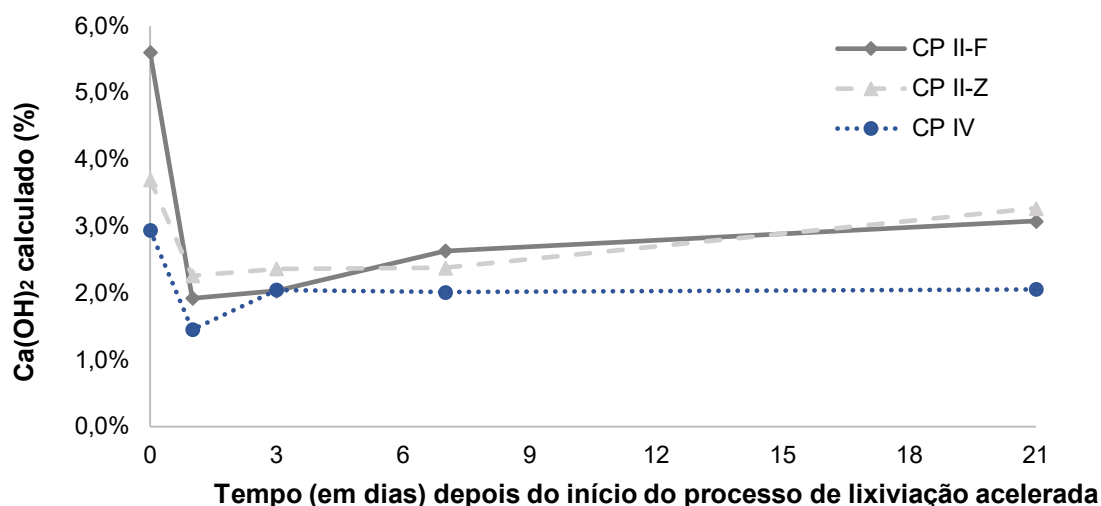


Figura 9. Massa calculada de hidróxido de cálcio (CH) entre 424 °C e 475 °C.

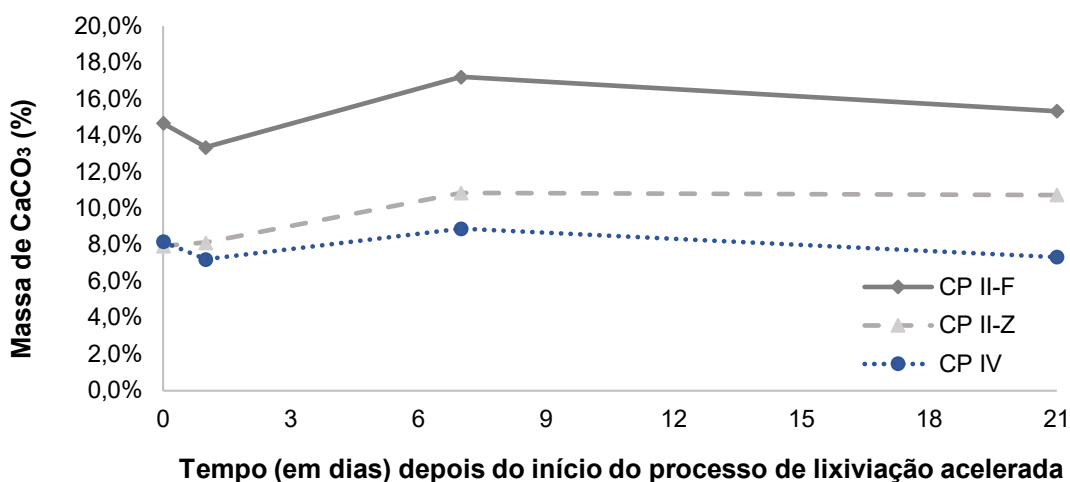


Figura 10. Massa calculada de carbonato de cálcio (CaCO₃) entre 599 °C e 764 °C.

Ao se analisar as perdas de massa calculadas a partir das equações de Scrivener et al. (2018), pode-se observar que em um dia de lixiviação a solução agressiva degradou praticamente todo o CH lixiviável (Figura 9), concluindo o estágio inicial da lixiviação descrito por Feng et al. (Feng et al., 2014), o qual é determinado pela diluição dos íons de cálcio, álcali e hidroxila ocasionando a dissolução da portlandita (CH), assim como observado por Garcia Lodeiro et al. (2021). Esta, em excesso, tampona os poros, minimizando assim a dissolução de quaisquer outras fases sólidas presentes na matriz cimentícia. No entanto, assim que o CH se dissolve por completo, este não consegue mais interromper a lixiviação do C-S-H e outras estruturas, dando início assim a fase intermediária, onde o pH da solução diminui e a descalcificação do C-S-H é iniciada. A quantificação desse processo ainda está em análise pois a faixa de temperatura onde os C-S-H são identificados na termogravimetria é compartilhada pela etringita e pela água livre (Tabela 2).

A massa de carbonatos se mostrou praticamente constante para os três cimentos analisados (Figura 10), indicando que os íons de cálcio dessas estruturas ainda não foram carregadas pelo processo de lixiviação (Feng et al., 2014). Os corpos de prova permaneceram submersos sem o contato com o CO₂ da atmosfera, fazendo com que não fosse possível a formação de carbonatos por meio da reação de carbonatação com a atmosfera ($\text{Ca} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$), entretanto os picos do Hemicarbonato, Monocarbonato e Hidrotalcita se alteram com o decorrer dos dias (Figura 7), podendo indicar a ação do processo de lixiviação nessas estruturas.

3.4 Quantificação do cálcio por titulação química

Por meio da metodologia de titulação química, o cálcio na solução foi quantificado e está representado na Figura 11. Durante o primeiro dia, os cimentos com adição de Pozolana apresentaram maior quantidade de cálcio extraído da matriz cimentícia em comparação ao cimento sem esta adição, 0,66 g/l do CP II-Z e 1,64% do CP IV contra 0,39 g/l do CP II-F, comportamento anormal quando comparado às análises de termogravimetria e avanço da lixiviação. Mais investigações com respeito aos C-S-H formados e sua relação Ca/Si estão em andamento.

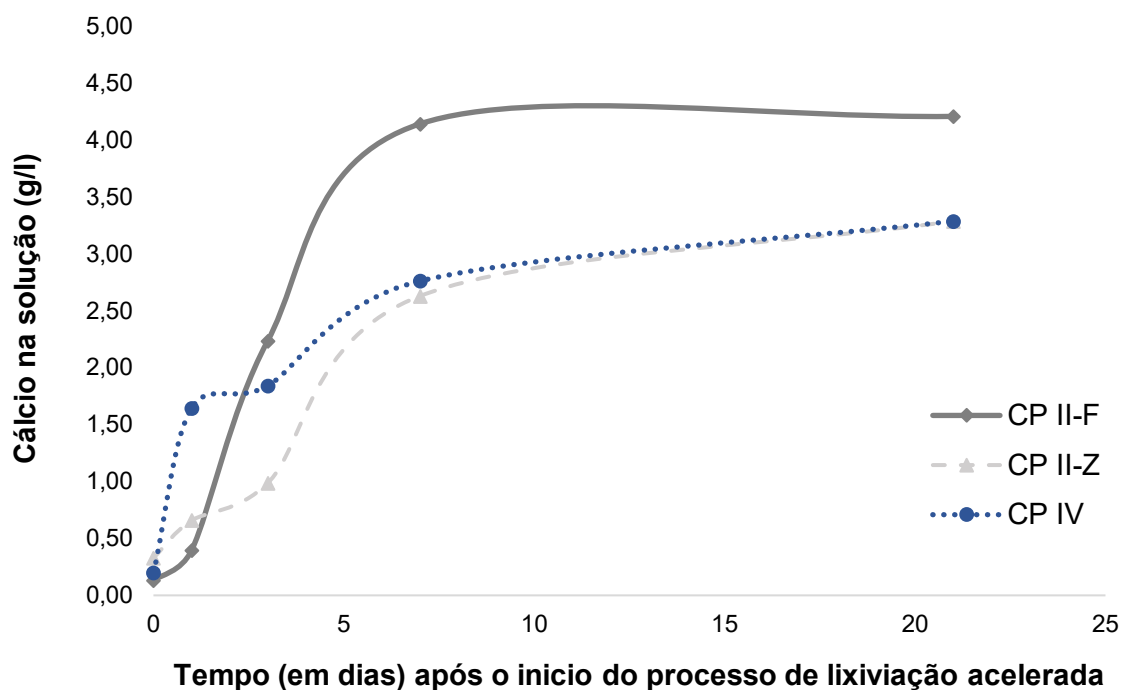


Figura 11. Massa calculada de cálcio na solução por meio do processo de titulação química.

Após o primeiro dia o cimento CP II-F passa a apresentar maior quantidade de cálcio em solução (2.24 g/l), indicando maior quantidade de cálcio lixiviado. Essa taxa crescente entre o dia 1 e 7 no CP II-F pode ser atribuída ao consumo da Portlandita, fase inicial da lixiviação (Feng et al., 2014). Após o consumo da portlandita, a próxima estrutura a ser lixiviada é o C-S-H, possuindo uma taxa mais lenta do que quando comparada a portlandita.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos até o momento é possível concluir que a presença de materiais pozolânicos é benéfica frente ao processo de lixiviação, minimizando o avanço da mesma e causando menores impactos nas propriedades resistentes. Além disso, esses cimentos são recomendados para grandes estruturas - como pontes e barragens - por apresentarem menor calor de hidratação e, muitas vezes, níveis mais baixos de C_3A , reduzindo o risco de ataque de sulfato. Embora a caracterização química por FRX tenha sido realizada, as indústrias de cimento no Brasil não são obrigadas a relatar a real composição do cimento, impossibilitando análises mais específicas a respeito do teor e tipo de adições.

Ademais, ressalta-se que as informações apresentadas nesse documento são resultados parciais, tendo em andamento análises mais específicas com respeito a quantificação da relação Ca/Si dos C-S-H e da alteração da morfologia dos produtos hidratados com o decorrer do processo de lixiviação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Itaipu e ao Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB) pelo apoio e financiamento de materiais, à Innova pelo apoio a pesquisa científica com a doação do reagente nitrato de amônio e à Unila e à CAPES pelas bolsas fornecidas aos discentes envolvidos. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais (LADEMA), Laboratório de Caracterização (LACAR) e no Laboratório Interdisciplinar de Ciências Físicas (LICT).

6. REFERÊNCIAS

Arribas, I., Vegas, I., García, V., Vigil de la Villa, R., Martínez-Ramírez, S., & Frías, M. (2018). The deterioration and environmental impact of binary cements containing thermally activated coal mining waste due to calcium leaching. *Journal of Cleaner Production*, 183, 887–897. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.127>

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *ABNT NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento — Especificação*.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *ABNT NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos*.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019). *ABNT NBR 7215: Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos Portland*.

- Cancio Díaz, Y., Sánchez Berriel, S., Heierli, U., Favier, A. R., Sánchez Machado, I. R., Scrivener, K. L., Martirena Hernández, J. F., & Habert, G. (2017). Limestone calcined clay cement as a low-carbon solution to meet expanding cement demand in emerging economies. *Development Engineering*, 2(May 2016), 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.deveng.2017.06.001>
- Cuesta, A., Santacruz, I., De la Torre, A. G., Dapiaggi, M., Zea-Garcia, J. D., & Aranda, M. A. G. (2021). Local structure and Ca/Si ratio in C-S-H gels from hydration of blends of tricalcium silicate and silica fume. *Cement and Concrete Research*, 143(March), 106405. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106405>
- Dai, Z., Tran, T. T., & Skibsted, J. (2014). Aluminum incorporation in the C-S-H phase of white portland cement-metakaolin blends studied by ^{27}Al and ^{29}Si MAS NMR spectroscopy. *Journal of the American Ceramic Society*, 97(8), 2662–2671. <https://doi.org/10.1111/jace.13006>
- Feng, P., Miao, C., & Bullard, J. W. (2014). A model of phase stability, microstructure and properties during leaching of portland cement binders. *Cement and Concrete Composites*, 49, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.01.006>
- Garcia-Lodeiro, I., Goracci, G., Dolado, J. S., & Blanco-Varela, M. T. (2021). Mineralogical and microstructural alterations in a portland cement paste after an accelerated decalcification process. *Cement and Concrete Research*, 140, 106312. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106312>
- Hossain, M. U., Poon, C. S., Dong, Y. H., & Xuan, D. (2018). Evaluation of environmental impact distribution methods for supplementary cementitious materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(September 2017), 597–608. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.048>
- IEA. (2009). *Cement Technology Roadmap 2009 - Carbon emissions reductions up to 2050* (p. 36).
- Jia, Z., Cao, R., Chen, C., & Zhang, Y. (2019). Using in-situ observation to understand the leaching behavior of Portland cement and alkali-activated slag pastes. *Composites Part B: Engineering*, 177(August), 107366. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107366>
- Jiang, C., Jiang, L., Tang, X., Gong, J., & Chu, H. (2021). Impact of calcium leaching on mechanical and physical behaviors of high belite cement pastes. *Construction and Building Materials*, 286, 122983. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122983>
- Lothenbach, B., Scrivener, K., & Hooton, R. D. (2011). Supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, 41(12), 1244–1256. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.12.001>
- Nakarai, K., Ishida, T., & Maekawa, K. (2006). Modeling of calcium leaching from cement hydrates coupled with micro-pore formation. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 4(3), 395–407. <https://doi.org/10.3151/jact.4.395>
- Neumann, C., Faria, E. F., & dos Santos, A. C. P. (2021). Concrete leaching of a hydroelectric powerhouse due to 40 years of exposure to river water. *Construction and Building Materials*, 302(May), 124253. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124253>

Neumann, C. J. (2019). *Avaliação do processo de lixiviação em concreto massa - O caso de Itaipu Binacional*. Universidade Federal da Integração Latino-Americana.

Phung, Q. T., Maes, N., Jacques, D., Perko, J., De Schutter, G., & Ye, G. (2016). Modelling the evolution of microstructure and transport properties of cement pastes under conditions of accelerated leaching. *Construction and Building Materials*, *115*, 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.049>

Rozière, E., Loukili, A., El Hachem, R., & Grondin, F. (2009). Durability of concrete exposed to leaching and external sulphate attacks. *Cement and Concrete Research*, *39*(12), 1188–1198. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.07.021>

Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, *114*(March), 2–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>

Scrivener, K., Snellings, R., & Lothenbach, B. (2018). A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials. In *A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19074>

Taylor, H. F. W. (1997). *Cement Chemistry* (Second Edi). Thomas Telford Publishing. <https://doi.org/doi:10.1680/cc.25929>

Wan, K., Li, L., Xu, Q., & Sun, W. (2015). Spatial distribution of the increased porosity of cement paste due to calcium leaching. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*, *30*(4), 735–744. <https://doi.org/10.1007/s11595-015-1221-7>

Avaliação do grau de deterioração da estrutura da ponte localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria no RS

G. D. Brackmann^{1*}, C. de Vargas¹, E. M. de Carli¹, G. F. dos Santos¹, R. C. A. de Lima², A. S. de Vargas²

*Autor de Contato: gabrielabrackmann@hotmail.com

¹ Estudante de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

² Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

RESUMO

Neste trabalho foi realizada a avaliação do grau de deterioração da estrutura (G_d) da ponte localizada dentro do campus da Universidade Federal de Santa Maria, utilizando a metodologia GDE/UnB. A partir da inspeção visual da estrutura, avaliou-se a ocorrência de manifestações patológicas nos elementos estruturais e o seu grau de intensidade, possibilitando a determinação do G_d igual a 75,90, equivalente a um nível de deterioração alto, para o qual recomenda-se a realização de uma inspeção especializada e o planejamento de uma intervenção no prazo de 1 ano. A metodologia GDE/UnB mostrou-se eficaz para definir a ordem de prioridade de intervenções na estrutura, assim, a partir dos resultados obtidos com o método, foi proposta uma lista de intervenções necessárias na ponte.

Palavras-chave: manifestações patológicas; inspeção; pontes; grau de deterioração.

ABSTRACT

In this work, the degree of deterioration of the structure (G_d) of the bridge located within the campus of the Federal University of Santa Maria was carried out, using the GDE/UnB methodology. The occurrence of pathological manifestations in the structural elements and their degree of intensity were evaluated during the visual inspection of the bridge, enabling the determination of G_d equal to 75.90, which is equivalent to a high level of deterioration, being recommended the performance of a specialized inspection and the planning of an intervention within 1 year. The GDE/UnB methodology proved to be effective in defining the order of priority of interventions in the structure, thus, based on the results obtained, a list of necessary interventions on the bridge was proposed.

Keywords: pathological manifestations; inspection; bridges; degree of deterioration.

RESUMEN

En este trabajo se realizó el grado de deterioro de la estructura (G_d) del puente ubicado dentro del campus de la Universidad Federal de Santa Maria, utilizando la metodología GDE/UnB. A partir de la inspección visual de la estructura se evaluó la ocurrencia de manifestaciones patológicas en los elementos estructurales y su grado de intensidad, posibilitando la determinación de G_d igual a 75,90, equivalente a un alto nivel de deterioro, para lo cual recomendamos si la realización de una inspección especializada y la planificación de una intervención en el plazo de 1 año. La metodología GDE/UnB demostró ser efectiva en la definición del orden de prioridad de las intervenciones en la estructura, por lo que a partir de los resultados obtenidos con el método se propuso una lista de intervenciones necesarias en el puente.

Palabras clave: manifestaciones patológicas; inspección; puentes; grado de deterioro.

1. INTRODUÇÃO

De forma geral, as manifestações patológicas são evolutivas e tendem a se agravar com o passar do tempo se não ocorrerem intervenções para manutenção e/ou recuperação, quando necessário. Além disso, segundo Helene (2003), o custo associado a uma intervenção possui um aumento exponencial em função do tempo, destacando a importância das vistorias e inspeções nas estruturas para o acompanhamento do estado de conservação e planejamento das intervenções. As inspeções têm o objetivo de identificar e acompanhar o desenvolvimento de anomalias e patologias nos elementos estruturais, resultando em manutenções menos onerosas e contribuindo para a manutenção da segurança estrutural e das condições de serviço.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) foi a primeira universidade federal criada fora de uma capital brasileira e representou um marco importante no processo de interiorização do ensino universitário público no Brasil. A UFSM foi idealizada e fundada pelo Prof. Dr. José Mariano da Rocha Filho em 1960, tornando o Rio Grande do Sul o primeiro estado da federação a contar com duas universidades federais. Parte integrante da infraestrutura da cidade universitária é a Ponte Marechal Cândido Mariano Rondon (Figura 1), que faz a ligação entre os dois extremos do campus. A Obra de Arte Especial (OAE) foi construída em 1971, possui 108 metros de extensão e leva o título de "ponte" pois o projeto urbanístico original da universidade previa a construção de um lago artificial sob ela; no entanto, essa obra nunca ocorreu.

Após 50 anos da construção da OAE, é notável a mudança ocorrida nas características e no volume de automóveis que passam pela estrutura diariamente, sendo, portanto, de extrema importância para a logística de tráfego dentro do campus garantir a manutenção do desempenho em serviço da ponte, com a conservação e manutenção da sua estrutura. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o grau de deterioração da estrutura da ponte localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria. Para isso, será utilizada a metodologia do Grau de Deterioração da Estrutura (GDE/UnB), cuja versão mais recente foi proposta por Verly (2015). Para a aplicação da metodologia GDE/UnB, é necessário realizar uma inspeção visual da estrutura, onde avalia-se a ocorrência de manifestações patológicas e seu grau de intensidade. A partir dos resultados obtidos com o método, serão listadas as intervenções necessárias na ponte, em ordem de gravidade e urgência, buscando contribuir com o planejamento interno da universidade para a manutenção da sua infraestrutura.



Figura 1. Vista geral da Ponte Marechal Cândido Mariano Rondon no campus da UFSM.

2. METODOLOGIA GDE/UnB

A metodologia do Grau de Deterioração da Estrutura (GDE/UnB) foi desenvolvida inicialmente por Castro (1994) para a avaliação de edificações e teve como base a metodologia de avaliação de OAEs proposta por Klein *et al.* (1991). A metodologia recebeu contribuições de Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007), e foi adaptada para a aplicação em OAEs por Euqueres (2011). A versão mais recente foi desenvolvida por Verly (2015) e será a metodologia adotada neste trabalho, pois é específica para a aplicação em OAEs.

A avaliação da OAE inicia com a divisão da estrutura em famílias de elementos típicos. Nessa etapa, os elementos estruturais são agrupados de acordo com suas características e função estrutural no conjunto. Elementos de uma mesma família são tratados da mesma forma pela metodologia, porém a divisão não é fixa e varia conforme o sistema estrutural da OAE analisada. Para estimar o grau de deterioração da estrutura, a metodologia GDE/UnB apresenta uma rotina de cálculo, que será detalhada nos itens a seguir.

2.1 Fator de ponderação do dano (F_p)

Durante a inspeção da OAE, a metodologia GDE/UnB propõe a identificação de ocorrência dos seguintes tipos de danos nos elementos: carbonatação, cobrimento deficiente, contaminação por cloretos, corrosão de armaduras, desagregação, deslocamento por empuxo, deslocamento, desvios de geometria, eflorescência, falha de concretagem, fissuras, flechas excessivas, impermeabilização

deficiente, infiltração de água, manchas, obstrução de juntas de dilatação, recalques e sinais de esmagamento do concreto. Para cada família típica de elementos estruturais, a metodologia GDE/UnB fornece os fatores de ponderação do dano (F_p) relativos a cada tipo de dano que pode ser observado nos elementos. Segundo Castro (1994), o objetivo do F_p é quantificar a importância relativa de um determinado dano nas condições gerais de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma determinada família. Isso permite que uma mesma manifestação patológica tenha fatores de ponderação distintos em famílias diferentes. Os valores de F_p podem variar de 1 a 5 e são definidos antes da inspeção. A única exceção é no caso das fissuras, em que o valor de F_p é definido no momento da inspeção de acordo com a natureza das fissuras observadas nos elementos.

2.2 Fator de intensidade do dano (F_i)

O fator de intensidade do dano tem como objetivo classificar a gravidade e a evolução isolada do dano em um determinado elemento, mas não diferencia o elemento estrutural no qual o dano se encontra. O valor de F_i varia de 0 a 4 e cresce com a gravidade do estado em que o dano se encontra, como demonstra a Tabela 1. Para reduzir a subjetividade da avaliação, Verly (2015) apresenta uma relação de danos e recomendações de F_i , acompanhadas por fotos e desenhos no "Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a OAEs".

Tabela 1 – Classificação do fator de intensidade do dano.

Estado do elemento	F_i
Elemento sem lesões	0
Elemento com lesões leves	1
Elemento com lesões toleráveis	2
Elementos com lesões graves	3
Elemento em estado crítico	4

Fonte: Verly (2015).

2.3 Grau do dano (D)

A formulação do grau do dano foi introduzida por Castro (1994) e faz analogia com o modelo proposto por Tuutti (1982), que considera que o processo de deterioração de uma estrutura de concreto ocorre em duas fases distintas: iniciação e propagação. Para definir o grau do dano, Castro (1994) utilizou como variáveis o fator de intensidade do dano (F_i) e o fator de ponderação do dano (F_p), dando origem às Equações (1) e (2), que correspondem às fases de iniciação e propagação, respectivamente.

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0 \quad (1)$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p \quad \text{para } F_i > 2,0 \quad (2)$$

2.4 Grau de deterioração do elemento (G_{de})

Após a avaliação de cada dano isoladamente (D), deve-se analisar o elemento estrutural sob o efeito de todos os danos nele existentes, utilizando a Equação (3). Essa equação foi proposta por Lopes (1998) e tem como objetivo incluir os efeitos dos danos menores aos efeitos do maior dano encontrado no elemento ($D_{m\acute{a}x}$).

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \cdot \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] \quad (3)$$

2.5 Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})

O grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) tem como objetivo avaliar todos os elementos pertencentes a uma mesma família. Para isso, leva em consideração os valores de G_{de} obtidos para cada elemento pertencente à família analisada, conforme a Equação (4).

$$G_{df} = G_{de,m\acute{a}x} \cdot \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de,m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}} \right] \quad (4)$$

2.6 Fator de relevância estrutural (F_r)

O fator de relevância estrutural tem como objetivo considerar a importância relativa de uma família de elementos no comportamento e no desempenho global da estrutura. Assim, o valor do F_r depende do sistema estrutural em análise, sendo recomendados por Verly (2015) os valores da Tabela 2.

Tabela 2 – Fatores de relevância estrutural.

Tipo de elemento	F_r
Barreiras de defensas, guarda-corpo, guarda-rodas, pista de rolamento	1,0
Juntas de dilatação	2,0
Transversinas, cortinas, alas	3,0
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4,0
Vigas principais e pilares	5,0

Fonte: Verly (2015).

2.7 Grau de deterioração da estrutura (G_d)

O grau de deterioração da estrutura como um todo é definido em função dos valores de G_{df} obtidos para cada família de elementos da estrutura. A Equação (5) fornece o grau de deterioração da família majorado (K), dado pelo produto do G_{df} e F_r .

Fonseca (2007) propôs a Equação (6) para determinar o grau de deterioração da estrutura (G_d), na qual os valores de G_{df} são ponderados pelos respectivos fatores de relevância estrutural. Nesse caso, valores de G_{de} menores que 15 devem ser desprezados no cálculo do G_{df} . Verly (2015) modificou a equação anterior e propôs a Equação (7) para o cálculo do grau de deterioração da estrutura modificado ($G_{d,mod}^*$), no qual todos os valores de G_{de} devem ser considerados no cálculo do G_{df} .

$$K_i = G_{df,i} \cdot F_{r,i} \quad (5)$$

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k K_i}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} \quad (6)$$

$$G_{d,mod}^* = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^k K_i) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}} \quad (7)$$

Após a definição do G_d (ou $G_{d,mod}^*$) a estrutura pode ser classificada segundo a escala apresentada na Tabela 3, onde há a indicação do nível de deterioração e recomendações de ações a serem tomadas.

Tabela 3 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e ações recomendadas.

Nível de deterioração	G_d	Ações recomendadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	≥ 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc). Planejar intervenção imediata.

Fonte: Verly (2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foi realizada uma inspeção visual, de forma que foram avaliados apenas os danos que puderam ser detectados visualmente na estrutura. Para isso, a OAE foi dividida nas seguintes famílias: pilares, travessas, laje (com seção caixão), cortinas, guarda-rodas, guarda-corpo e pista de rolamento. Devido à presença de aterro nas cabeceiras da ponte não foi possível inspecionar a estrutura de aproximação, bem como os blocos de fundação, os aparelhos de apoio e o interior da seção caixão.

3.1 Mesoestrutura

A mesoestrutura da OAE é composta pelos pilares e vigas travessas. Existem quatro conjuntos de pilares, com três pilares por conjunto. As vigas travessas estão posicionadas acima dos pilares e fazem a distribuição do carregamento oriundo da superestrutura para os pilares do conjunto. Os pilares, de forma geral, encontram-se em bom estado de conservação, recebendo pinturas recorrentes feitas pelos estudantes que utilizam o espaço para manifestações artísticas. Foram observados, no entanto, pequenos focos de deslocamento do concreto na base dos pilares (Figuras 2a e 2b), na maioria sem ocorrência de exposição das armaduras. As vigas travessas também se encontram em boas condições, tendo sido identificado apenas a ocorrência de fissuras em uma delas, e deslocamento do concreto com exposição da armadura em outra. Nesse caso, apesar da armadura estar sem o cobrimento de concreto, ela encontra-se coberta pela tinta utilizada na pintura (Figura 2c).

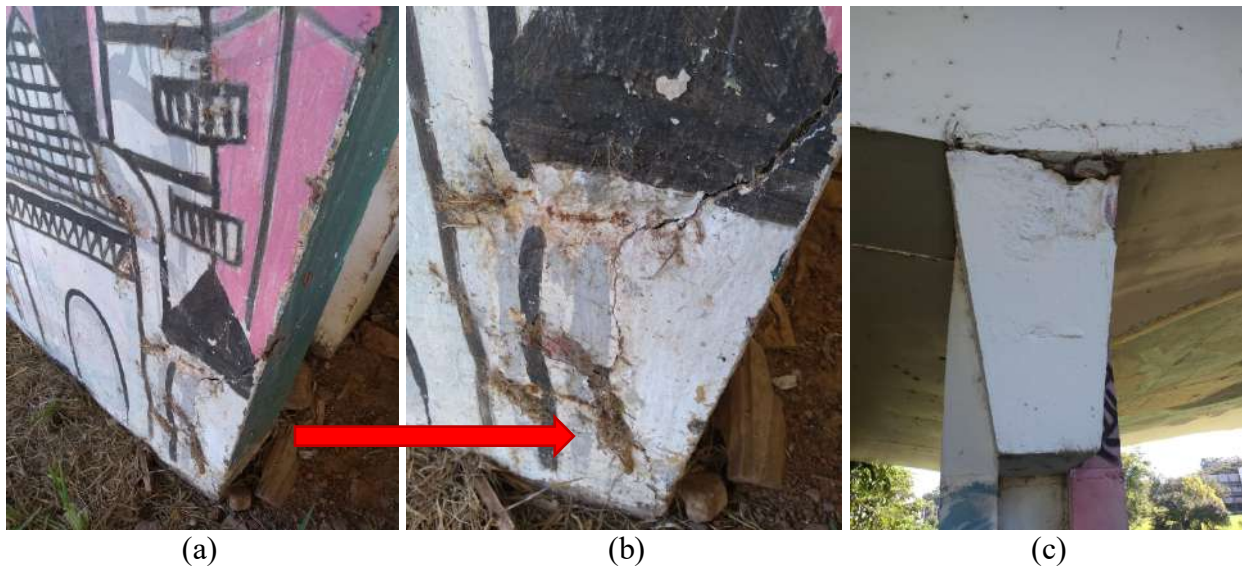


Figura 2. Desplacamento na base de pilar (a); detalhe do deslocamento (b); deslocamento com exposição da armadura em viga travessa (c).

3.2 Superestrutura

Na parte inferior da laje foram observados diversos pontos para drenagem da seção caixão (Figura 3), e buzinetes para a drenagem da pista de rolamento e passeio (Figura 5). Entretanto, vários pontos de drenagem parecem estar obstruídos, causando o surgimento de manchas (Figura 3a) e infiltrações (Figura 3b) na laje inferior da seção caixão.



Figura 3. Vista da laje inferior da seção caixão com: manchas (a) e infiltração (b).

Nas lajes laterais, destinadas ao passeio de pedestres, foram observadas inúmeras fissuras (Figura 4) oriundas, possivelmente, da ausência de juntas de dilatação nos 108 metros de extensão da ponte. As lajes de passeio são engastadas na lateral da seção caixão, com a armadura principal disposta perpendicularmente ao eixo da ponte, de forma que apenas a armadura secundária da laje (de distribuição) é responsável por resistir aos esforços decorrentes da dilatação térmica da estrutura. As fissuras, portanto, teriam ocorrido pela deficiência da armadura disposta nesse sentido. Por outro lado, na seção caixão a armadura principal está posicionada longitudinalmente ao eixo da ponte e atua resistindo aos esforços oriundos da dilatação térmica, sendo este, provavelmente, o motivo pelo qual não foram localizadas fissuras com este padrão na laje inferior da seção caixão. Além disso, foi possível observar que as fissuras na laje de passeio do lado direito da ponte (Figura 4b) possuíam abertura muito superior às fissuras presentes na laje de passeio do lado esquerdo

(Figura 4a). A deterioração das lajes do lado direito é agravada pelo sistema de drenagem da pista de rolamento, que direciona parte do volume de água aos buzínates e o excedente para a laje de passeio, de onde a água escorre livremente pela lateral, provocando manchas, infiltrações e a corrosão das armaduras na face inferior da laje.

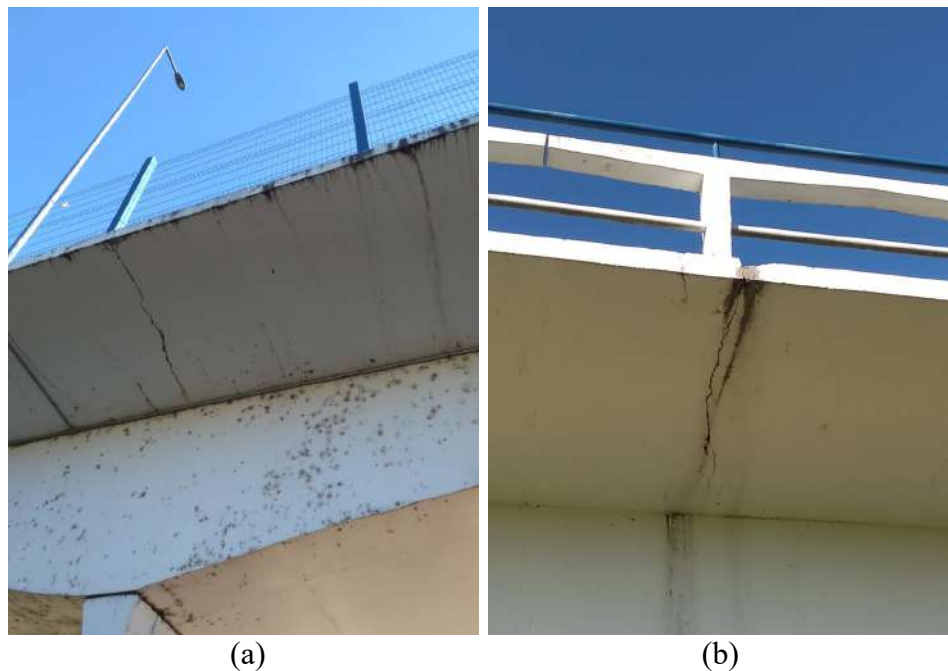


Figura 4. Fissuras transversais ao eixo da ponte localizadas nas lajes de passeio: (a) laje à esquerda da pista; (b) laje à direita da pista.

Apesar da metodologia GDE/UnB não incluir a avaliação da integridade dos aterros das cabeceiras da ponte, durante a inspeção foi possível observar que está ocorrendo a percolação de água pelo tabuleiro, com erosão significativa dos aterros nas cabeceiras (Figuras 5 e 6). A infiltração de água e presença de umidade nessa região está contribuindo para a deterioração das vigas cortinas, que já apresentam manchas e pontos de deslocamento do concreto com a exposição de armaduras, em processo avançado de corrosão.



Figura 5. Vista lateral da ponte, com erosão no aterro da cabeceira devido à infiltração de água.



Figura 6. Vista inferior do tabuleiro, com erosão do aterro da cabeceira devido à infiltração de água.

Como consequência do processo de erosão dos aterros nas cabeceiras, na pista de rolamento é possível identificar uma descontinuidade no revestimento asfáltico (Figura 7a), bem como localizar o vão por onde ocorre a percolação da água, no encontro da superestrutura com o aterro de acesso (Figura 7b). Na Figura 7 (a) pode-se visualizar que há um desnível na pista pelo desnível observado no guarda-rodas. Além disso, na Figura 7 (b) fica evidente a grande dimensão do vão por onde está ocorrendo a percolação de água ao compara-lo com a espessura de uma lapiseira.

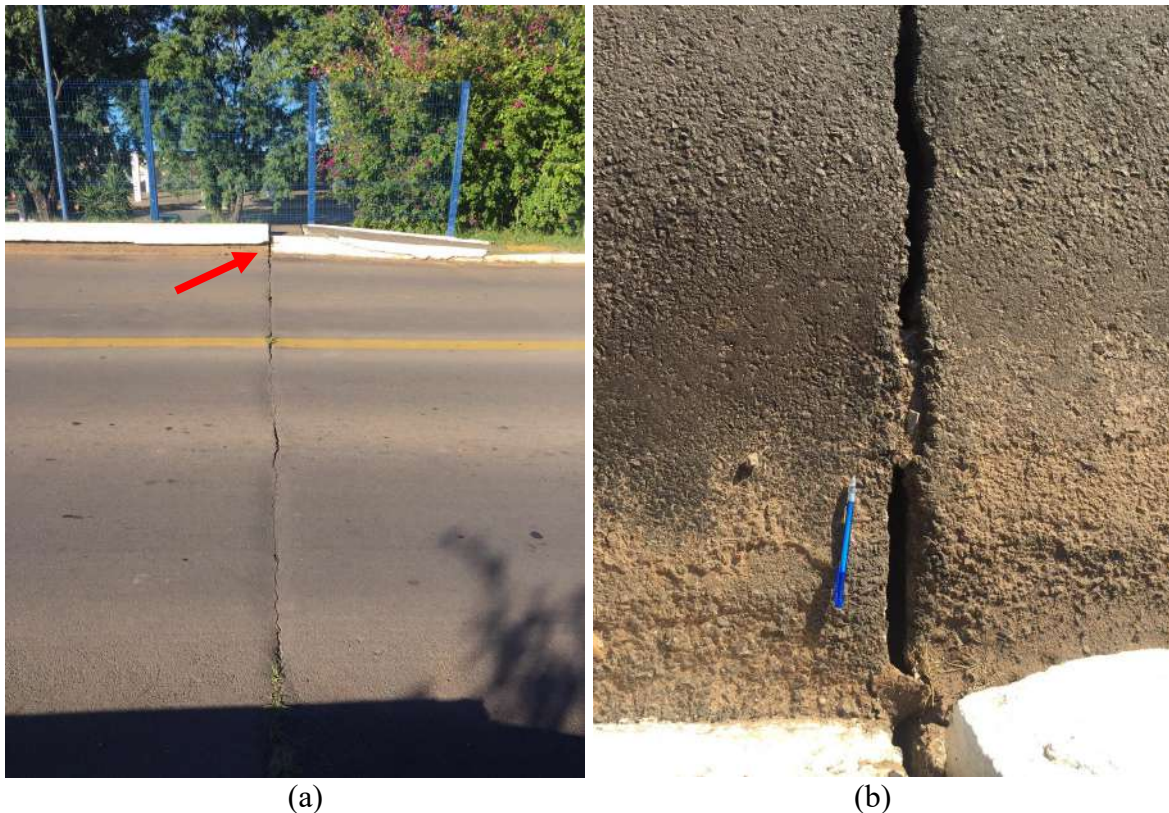


Figura 7. Cabeceira 2: descontinuidade na pista de rolamento e desnível no guarda-rodas (a); vão por onde ocorre a percolação de água (b).

Na cabeceira 1 a erosão do aterro provocou o surgimento de um degrau na pista, onde ocorre um forte impacto dos pneus dos veículos quando acessam a ponte, introduzindo esforços laterais adicionais na estrutura. Em medições realizadas *in loco*, foi constatado um desnível de 6 cm do

lado esquerdo e de 8 cm do lado direito da cabeceira (Figura 8), sinalizando a redução de altura do aterro decorrente da erosão provocada pela percolação de água.

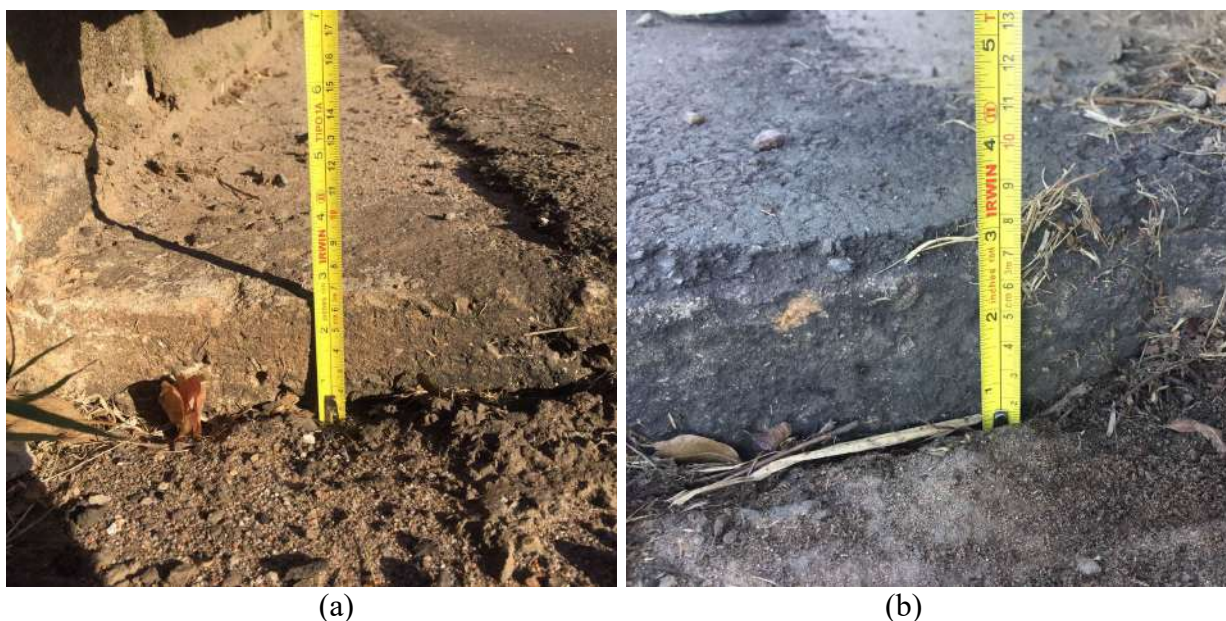


Figura 8. Cabeceira 1: desnível no acesso à ponte de 6 cm a esquerda (a) e 8 cm a direita (b).

Os guarda-rodas e o guarda-corpo, de forma geral, estavam em bom estado de conservação, com o guarda-rodas apresentando pequenas fissuras e o guarda-corpo com desagregação do concreto apenas em um ponto específico. Na pista de rolamento foi constatada uma descontinuidade grave (Figuras 7 e 8), um desgaste superficial leve do revestimento asfáltico e um desgaste tolerável da sinalização.

3.3 Resultados da metodologia GDE/UnB

De acordo com a metodologia GDE/UnB, a família de elementos que teve o pior resultado na avaliação do grau de deterioração foram as lajes, que apresentaram cobertura deficiente, corrosão de armaduras, deslocamento do concreto, fissuras, infiltração de água e manchas. O resultado é consequência, principalmente, da situação em que se encontram as lajes de passeio, com inúmeras fissuras, manchas e com corrosão de armaduras, decorrentes da ausência de juntas de dilatação e agravadas pelo sistema de drenagem deficiente. A maioria dos vãos das lajes encontram-se com um grau de deterioração do elemento (G_{de}) superior a 80, indicando um nível de deterioração sofrível, para o qual a metodologia recomenda planejar uma intervenção em no máximo 6 meses, com a definição de um prazo para ocorrer uma inspeção especializada rigorosa.

Depois das lajes, o segundo pior resultado foi da família das vigas cortinas, devido a ocorrência de corrosão de armaduras, deslocamento do concreto, infiltração de água e manchas, que resultaram em um grau de deterioração do elemento (G_{de}) superior a 60 nas duas cabeceiras, indicando um nível de deterioração alto. Nesse caso, o resultado negativo deve-se à percolação de água pelo tabuleiro, com erosão dos aterros das cabeceiras e deterioração das vigas cortinas. A metodologia GDE/UnB recomenda que uma inspeção especializada seja realizada e uma intervenção planejada para ocorrer em no máximo 1 ano.

Os pilares e as travessas obtiveram um nível de deterioração do elemento entre baixo e médio, para os quais a metodologia recomenda uma manutenção preventiva ou planejar uma intervenção em até 2 anos. Os guarda-rodas, guarda-corpo e pista de rolamento apresentaram um nível de deterioração baixo, sendo recomendada apenas uma manutenção preventiva.

O grau de deterioração da estrutura, relativo ao estado geral de conservação da ponte, foi calculado de duas formas: usando a Equação (6) do G_d , de Fonseca (2007), e a Equação (7) do $G_{d,mod}^*$, de Verly (2015). A primeira equação chegou a um G_d de 75,90, indicando um nível de deterioração alto, enquanto a segunda equação obteve um $G_{d,mod}^*$ de 102,95, que indica um nível de deterioração crítico. Foi necessário calcular o grau de deterioração da família (G_{df}) de forma independente para a aplicação nas equações do G_d e $G_{d,mod}^*$, pois na primeira deve-se considerar apenas os elementos com grau de deterioração (G_{de}) maiores que 15, enquanto a segunda considera todos os elementos. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura.

Famílias de elementos	F_r	$G_{df}^{(1)}$	G_d	$G_{df}^{(2)}$	$G_{d,mod}^*$
Pilares	5,00	48,85	75,90 Alto	51,73	102,95 Crítico
Travessas	5,00	36,00		36,00	
Lajes	4,00	144,31		145,44	
Cortinas	3,00	96,24		96,24	
Guarda-rodas	1,00	0,00		10,29	
Guarda-corpo	1,00	0,00		4,80	
Pista de rolamento	1,00	0,00		14,77	

⁽¹⁾ considera no cálculo do G_{df} apenas os $G_{de} > 15$.

⁽²⁾ considera no cálculo do G_{df} todos os G_{de} .

A partir dos resultados obtidos, como propostas de intervenções necessárias na ponte, em ordem de gravidade e urgência, sugere-se:

- melhorar o sistema de drenagem da pista, de forma a evitar que o volume excedente de água corra para as lajes de passeio, e proceder à instalação de pingadeiras nas lajes de passeio;
- recuperação e reforço das lajes de passeio, para que suportem os esforços oriundos da dilatação térmica da estrutura, evitando nova fissuração;
- selagem dos vãos entre o tabuleiro e o aterro da cabeceira, por onde está ocorrendo a percolação de água com erosão do aterro;
- recuperação das vigas cortinas;
- recomposição do aterro e nivelamento da pista de rolamento;
- manutenção nos drenos na seção caixa;
- manutenção preventiva nos pilares, travessas, guarda-rodas, guarda-corpo, no revestimento asfáltico e na sinalização da pista de rolamento.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho realizou-se a avaliação do grau de deterioração da estrutura da ponte localizada dentro do campus da Universidade Federal de Santa Maria, no RS. A partir da inspeção visual da estrutura, fez-se o levantamento das manifestações patológicas (danos) presentes em todos os elementos estruturais que compõem a OAE e fatores de intensidade foram atribuídos para cada dano, possibilitando a determinação do grau de deterioração do elemento (G_{de}), da família de elementos (G_{df}) e da estrutura como um todo (G_d ou $G_{d,mod}^*$).

Duas equações foram utilizadas para calcular o grau de deterioração da estrutura e apresentaram resultados muito distintos. A equação proposta por Fonseca (2007) para o cálculo do G_d resultou em um nível de deterioração alto para a ponte, o qual condiz mais com a realidade observada *in loco*. A equação proposta por Verly (2015) para o cálculo do $G_{d,mod}^*$ resultou em um nível de deterioração crítico, entretanto, na inspeção *in loco* fica evidente que o estado de conservação geral

da estrutura é bom, sendo crítico o estado de deterioração apenas das lajes de passeio e das cabeceiras da ponte. Assim, considerando o grau de deterioração da estrutura (G_d) de 75,90, a metodologia GDE/UnB recomenda que uma inspeção especializada seja realizada, e uma intervenção deve ser planejada para ocorrer em no máximo um ano.

A metodologia GDE/UnB mostrou-se eficaz para definir a ordem de prioridade de intervenções na estrutura da ponte. Destaca-se que a avaliação apresentada neste trabalho foi fruto apenas da inspeção visual da estrutura; ainda assim, com a metodologia GDE/UnB foi possível identificar e localizar as manifestações patológicas mais graves e em estado mais avançado de deterioração.

5. REFERÊNCIAS

Boldo, P. (2002), "*Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro*", Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 295 p.

Castro, E. K. (1994), "*Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado*", Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 185 p.

Euqueres, P. (2011), "*Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado*", Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 168 p.

Fonseca, R. P. (2007), "*A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção*", Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 213 p.

Helene, P. R. L. (2003), "*Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto*". São Paulo, Red Rehabilitar.

Klein, D. L.; Gastal, F. P. S. L.; Campagnolo, J. L.; Silva Filho, L. C. P. (1991), "*Crerios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte*" in: XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre: UFRGS, pp. 185-197.

Lopes, B. A. R. (1998), "*Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: estudo para inclusão do componente "estrutura de concreto"*", Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 308 p.

Tuutti, K. (1982), "*Corrosion steel in concrete*", Swedish Cement and Concrete, Research Institute, Stockholm.

Verly, R. C. (2015), "*Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais*", Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 178 p.

Caracterização de patologias em marquises na cidade de Gurupi-To

F. Fernandes^{1*}, T. Rodrigues², T. Melo³, D. Freitas⁴

*Autor Contato: fernandesfernando27@gmail.com

^{1,2,3,4} Curso Engenharia Civil - UNIVERSIDADE UNIG, Gurupi -TO, Brasil, ^{1,4} Curso Engenharia Civil ITPAC PORTO NACIONAL, Porto Nacional -TO, Brasil

RESUMO

A frequência de acidentes com marquises no Brasil está ligada a falta de durabilidade. As manifestações patológicas identificadas nesta investigação foram realizadas na cidade de Gurupi/TO. As marquises investigadas foram selecionadas na região central da cidade de Gurupi/TO, após avaliação visual “*In Loco*”, foram escolhidas as que visualmente apresentavam patologias (mofo, bolor, trincas, deslocamento de revestimento). Os resultados podem servir para alertar sobre a importância e cuidado que se deve dar a este tipo de estrutura, porque apresentam ruptura brusca e colocam a vida das pessoas em risco, por geralmente estarem projetadas sobre passeios públicos. Os resultados mostram que 10% das marquises investigadas apresentam idade inferior a 10 anos, 40% entre 10 a 20 anos e 40% superior a 30 anos. As principais manifestações patológicas que incidem nas marquises são provocadas pelas infiltrações como mofo, bolor, trincas ocasionadas pela corrosão da armadura. A existência de impermeabilização foi verificada em 40% das marquises e 60% não apresentavam.

Palavra-chave: Impermeabilização; Água; Manutenção; Fissuras, Marquise.

RESUMEN

La frecuencia de accidentes con marquesinas en Brasil está vinculada a la falta de durabilidad. Las manifestaciones patológicas identificadas en esta investigación se llevaron a cabo en la ciudad de Gurupi / TO. Las marquesinas investigadas fueron seleccionadas en la región central de la ciudad de Gurupi / TO, luego de una evaluación visual “In Loco”, se eligieron aquellas que presentaban patologías visualmente (moho, mildiu, grietas, descamación del recubrimiento). Los resultados pueden servir para alertar sobre la importancia y el cuidado que se debe dar a este tipo de estructuras, ya que presentan una ruptura repentina y ponen en riesgo la vida de las personas, ya que suelen proyectarse en las aceras públicas. Los resultados muestran que el 10% de las marquesinas investigadas son menores de 10 años, el 40% tienen entre 10 y 20 años y el 40% son mayores de 30 años. Las principales manifestaciones patológicas que afectan a las marquesinas son provocadas por infiltraciones como moho, mildiu, fisuras provocadas por la corrosión del refuerzo. Se verificó la existencia de impermeabilización en el 40% de los toldos y el 60% no la tenía.

Palabras clave: Impermeabilización; Agua; Mantenimiento; Grietas, marquesa.

SUMMARY

The frequency of accidents with marquees in Brazil is linked to the lack of durability. The pathological manifestations identified in this investigation were carried out in the city of Gurupi/TO. The investigated canopies were selected in the central region of the city of Gurupi/TO, after visual assessment “In Loco”, those that visually presented pathologies were chosen (mold, mildew, cracks, peeling of the coating). The results can serve to alert about the importance and care that should be given to this type of structure, as they present a sudden rupture and put people's lives at risk, as they are usually projected on public sidewalks. The results show that 10% of the investigated canopies are younger than 10 years old, 40% are between 10 and 20 years old and 40% are older than 30 years old. The main pathological manifestations that affect the marquees are caused by infiltrations such as mold, mildew, cracks caused by corrosion of the reinforcement. The existence of waterproofing was verified in 40% of the awnings and 60% did not have it.

Keyword: Waterproofing; Water; Maintenance; Fissures, Marquise.

1. INTRODUÇÃO

A pandemia do COVID 19 que atingiu o mundo no ano de 2020, fez com que a população ficasse isolada em casa para evitar a contaminação e garantir o isolamento social. No Brasil vários setores adotaram o home office como forma de não parar suas atividades e preservar a saúde de seus trabalhadores.

De acordo com o levantamento do app “GetNinjas” entre os meses de abril a novembro de 2020, foram realizadas 2,8 milhões solicitações de serviços de reforma, uma alta de 75% em comparação com o mesmo período do ano 2019 (Lorran, 2020). O número específico de solicitações de reformas e reparos cresceu 57% nos últimos oito meses. Além disso, verificou-se que os serviços mais solicitados nessa área foram respectivamente, pedreiros e eletricitas (Lorran, 2020).

A permanência por mais tempo em casa, fez com que os moradores começassem a observar as manifestações patológicas existentes em seus imóveis. Sabe-se que as residências, assim como outros tipos de imóveis necessitam de manutenção constante, a fim de preservar as próprias instalações e estrutura. Estes ambientes quando bem cuidados, tendem a ser valorizados e têm sua vida útil aumentada (SEBRAE, 2017).

Nos últimos anos no Brasil, tem se observado o crescimento na incidência de patologias em marquises de concreto de proteção, que na grande maioria dos casos são ocasionadas por falhas construtivas ou falta de projetos bem elaborados que podem contribuir para o enfraquecimento da estrutura pela penetração de água, podendo levá-la ao colapso gerando vítimas fatais (Novaes *et al.*, 2021). Além das falhas, é possível observar que muitas estruturas não apresentam um comportamento satisfatório diante do propósito para que foram construídas. O conjunto de fatores involuntários, incluem tanto o desgaste natural em estruturas como acidentes e casos de imprudência, ao se utilizarem materiais inadequados por questões de economia, promovem a deterioração das estruturas. Nesse contexto, percebeu-se a necessidade da realização de estudos científicos sobre o comportamento das estruturas e os problemas que eram averiguados nelas, surgindo então a área de patologia no âmbito da engenharia civil (Weimer, 2018). O estudo das patologias em estruturas identifica as formas de manifestações e consequências, bem como, dos mecanismos responsáveis pela ocorrência dos defeitos em construções civis. Para se diagnosticar uma patologia e determinar os mecanismos de formação e sua gravidade é necessário identificar os sintomas através da observação e realização de estudos e ensaios específicos (Gasparett, Pantoja e Ramires, 2021). Em alguns casos, para se obter o diagnóstico correto, é necessário realizar ensaios minuciosos de laboratório, revisão de projetos e mesmo instrumentação e acompanhamento da obra (Gasparett, Pantoja e Ramires, 2021).

No setor da construção civil, é possível observar que desde os primórdios, as patologias estão presentes na maioria das obras de edificações, devido a diversos fatores. As manifestações patológicas têm origem por meio de problemas recorrentes durante sua vida útil, estando relacionadas ao tempo de vida da construção, ao clima, aos materiais e técnicas construtivas utilizadas e ao nível de controle de qualidade realizado (Carvalho, Oliveira e Monteiro, 2021; Porto e Pimenta, 2021). Entre as inúmeras manifestações patológicas existentes, as mais recorrentes são as trincas e fissuras (Porto e Pimenta, 2021). As fissuras podem ser classificadas dependendo se sofrem ou não movimentação, podendo ser classificadas como ativas ou passivas. Independente da classificação, é imperioso que seja escolhido o tratamento adequado para o caso, logo que é através das fissuras que a armadura que antes estava protegida pelo concreto, agora se encontra dando espaço para a penetração dos agentes agressores que despassivam a armadura e a deixam vulneráveis a corrosão (Carvalho, Oliveira e Monteiro, 2021). Estas patologias têm maior manifestação em estruturas de concreto armado.

As marquises de cobertura são elementos estruturais formados por laje e viga ou apenas a laje (Fabiane Sartori, 2013). No caso de marquises de proteção, a laje é engastada na viga, constituindo uma extremidade engastada e outra livre. Portanto a armadura principal, é negativa (momento negativo), podendo-se dispensar o uso de armadura de distribuição positiva. O surgimento de manifestações patológicas em marquises é o resultado de erros gerados na etapa de projeto, durante o processo construtivo, utilização, além de falhas no controle de qualidade (dos materiais e da execução) ou manutenção de uma ou mais atividades, tais como: corrosão das armaduras, escoramento mal executado, falta de manutenção da estrutura. O principal problema observado que reduz a vida útil das estruturas de concreto armado, e a corrosão de armaduras, sendo este mais

frequente, também sendo responsável por grande parte dos danos nessas estruturas (Silvestro, Romano e Molin, 2021). Os danos podem ser observados quando começam a aparecer manchas superficiais, seguidas por fissuras, destacamento do concreto de cobrimento, redução da seção e perda de aderência das armaduras principais, podendo levar ao comprometimento da segurança estrutural ao longo do tempo. Os produtos originados pelo processo corrosivo são expansivos e resultam em aumento das tensões no interior do concreto, fazendo com que aconteça sua deterioração, o que contribui para a drástica redução da vida útil dessas estruturas (Gasparett, Pantoja e Ramires, 2021; Silvestro, Romano e Molin, 2021).

Objetivo deste trabalho foi identificar as manifestações patológicas com maior incidência em marquises de concreto na região central da cidade de Gurupi/TO como mofo, bolor, trincas, deslocamento de revestimento e pintura.

2. DESENVOLVIMENTO

Esta investigação avaliou de maneira visual 50 marquises em imóveis (residenciais/comerciais) que apresentavam manifestações patológicas. O levantamento “*In Loco*” foi realizado na região central da cidade de Gurupi no estado do Tocantins. A região central da cidade foi escolhida porque apresentou maior concentração de marquises com manifestações de patologia e porque tem o maior fluxo de transeuntes. Entre as 50 marquises investigadas, teve um total de 11 que apresentaram (Mofo/ Bolor/ Trincas/Desplacamento Revestimento) e 22 (Mofo/ Bolor/ Trincas); sendo estas consideradas mais críticas. Destas, apenas 5 responderam ao questionário e permitiram o registro fotográfico; sem identificação do local. As outras não autorizaram nenhum tipo de registro; sendo excluídas desta investigação. O questionário aplicado foi elaborado com base na metodologia “Qualitativa”, onde o foco concentrou-se no caráter subjetivo do objeto analisado para compreender o surgimento das manifestações patológicas e o conhecimento dos proprietários em relação a manutenção preventiva/corretiva. O questionário foi respondido pelo morador da edificação que reside a mais tempo para maior confiabilidade das respostas. Não foi feita a separação de marquises de edificações comerciais/residências, porque vários comércios também serviam de residências unifamiliar. As perguntas que fizeram parte do questionário que foi aplicado nesta investigação, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Relação de perguntas do questionário.

Item	Descrição
1	Total de pavimentos existentes.
2	A construção teve projeto.
3	Idade da construção (anos).

- 4 Existiu escavações ou vibrações excessivas próximo.
 - 5 Tipos de manifestações.
 - 6 Nível de gravidade da patologia.
 - 7 Existe impermeabilização.
 - 8 Foi realizado manutenção (preventiva/corretiva).
-

1. RESULTADOS

Toda estrutura é dimensionada de modo a atender a duas situações: coeficientes apropriados de segurança relacionados ao colapso e comportamento satisfatório sob ação de cargas de serviço. Estas situações estão relacionadas aos estados limites últimos (ELU) e aos estados limites de serviço (ELS), respectivamente. Usa-se os estados limites para verificar o comportamento e a conformidade da estrutura para o seu uso, tornando-a inadequada quando eles são atingidos (Weimer, 2018). Segundo NBR 6118:2014, os estados limites têm relação com as seguintes condições: Estados limites últimos (ELU): relacionados ao máximo da capacidade portante da estrutura, determinando a paralisação do uso da edificação. O ELU é caracterizado basicamente por perda de equilíbrio da estrutura (risco de tombamento, escorregamento) e deformações excessivas dos materiais (causando instabilidade ou ruptura). Estados limites de serviço (ELS): relacionados com as condições de utilização normal da estrutura e com a sua durabilidade. O ELS é caracterizado basicamente pela abertura de fissuras, por deformações e vibrações excessivas. A Figura 1., apresenta o resultado das manifestações patologias encontradas em 50 marquises estruturais identificadas durante o levantamento para realização deste estudo na região central da cidade de Gurupi/TO. Os resultados ilustrados na figura mostram que 34% das marquises apresentam patologias (pintura, mofo, bolor) que influenciam apenas na aparência do imóvel, 22% (mofo, bolor, trincas) e 22% (mofo, bolor, trincas, deslocamento de revestimento). Estes resultados mostram que a falta de manutenção corretiva e preventiva, poderia resolver grandes parte destas patologias, evitando que estas patologias se transformem em ocorrências mais prejudiciais as estruturas, podendo levar até ao colapso da estrutura.

Foi possível observar neste estudo que a grande maioria das edificações, tem a finalidade de locação para comercio. De acordo com os proprietários, isso não permite investimento em manutenção corretivas/preventivas. O que também foi observado é que grande parte dos imóveis

estavam desocupados com aparência de abandono, esta situação pode ter sido influenciada pelo momento em que a cidade vive em decorrência da pandemia da COVID 19.

PATOLOGIAS IDENTIFICADAS

■ Mofo/ Bolor/ Trincas/Desplacamento Revestimento ■ Mofo/ Bolor/ Trincas ■ Pintura ■ Mofo ■ Bolor

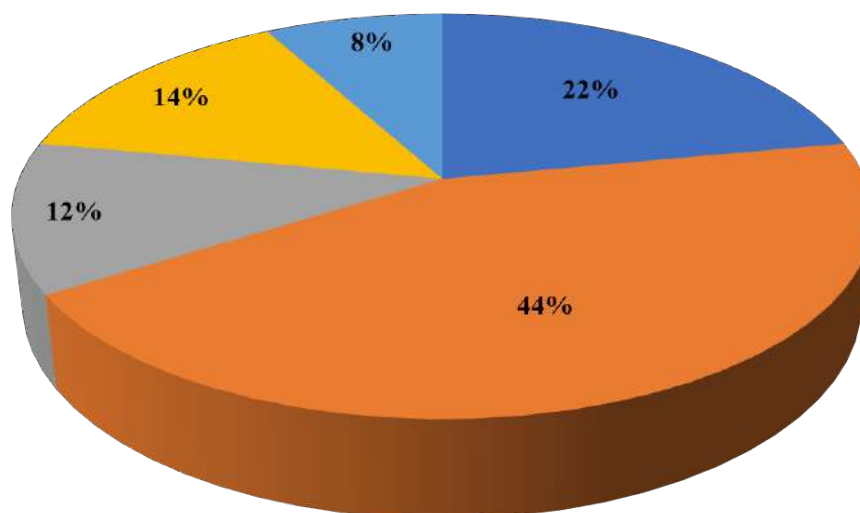


Figura 1. Patologias encontradas nas marquises durante a fase de levantamento.

3.1 Questionamentos

A Tabela 2. Apresenta a tabulação dos resultados das perguntas contidas no questionário, aplicado em 5 (cinco) imóveis que aceitaram e autorizaram a divulgação sem a identificação do local. A Figura 2. Apresenta o registro fotográfico das manifestações patológicas investigadas neste estudo.

Tabela 2. Relação das perguntas questionário aplicado.

Código	Código da marquise				
	A	B	C	D	E
Total de pavimentos existentes	2	3	1	1	1
A construção teve projeto?	não	não	não	sim	sim
Idade da construção (anos)?	32	18	16	7	36
Existiu escavações ou vibrações excessivas próximo.	não	não	não	não	não
Tipos de manifestações	mofos/ bolor/ trincas/desplacamento	mofos/ bolor/ trincas/desplacamento	mofos/ bolor/ trincas	mofos/ bolor/ trincas/desplacamento	mofos/ bolor/ trincas
Nível de gravidade da patologia.	médio	médio	baixo	baixo	médio
Existe impermeabilização	não	não	sim	não	sim
Foi realizada manutenção (preventiva/corretiva)	sim	não	sim	não	sim



Figura 2. Registro fotográfico das marquises investigadas que responderam ao questionário.

Os registros fotográficos apresentados na Figura 2., foram realizados durante a fase de levantamento e identificação das patologias nas marquises, nas ruas do centro da cidade de Gurupi. Foram considerados nesta pesquisa, apenas as marquises com maior evolução patológica, para facilitar a explicação e o exemplo de cada tipo de patologia existente.

Observando a Figura 2a, verificou-se a existência de uma fissura transversal que cruza a marquise na diagonal. Nesta investigação, não foi possível identificar se é uma fissura ativa ou passiva (Carvalho, Oliveira e Monteiro, 2021). De acordo com o proprietário a fissura já existia a bastante tempo e continua com mesma aparência. Para diagnosticar uma patologia e determinar as causas dos mecanismos de formação e da gravidade potencial de uma manifestação patológica, com base na observação dos sintomas, poderia nos induzir a erros. Para evitar estes erros é necessário a realização de estudos mais minuciosos (Carvalho, Oliveira e Monteiro, 2021). O surgimento desta fissura pode ter sido favorecido pelo tempo de vida útil da estrutura ter 32 anos, pela falta de impermeabilização na face superior e pela falta de manutenção corretiva ou preventiva. A falta de impermeabilização ou proteção adequada na marquise figura 2a, pode ter contribuído para penetração da água da chuva que fica acumulada na marquise promovendo à corrosão da armadura (Carvalho, Oliveira e Monteiro, 2021), fazendo com que o aço se expandisse contribuindo para o aumento da fissura. A afirmação de acúmulo de água da chuva na face superior, foi confirmada pelo proprietário durante aplicação do questionário sendo reforçada pelo surgimento em toda a sua extensão de mofo e bolor, conforme ilustrado na Figura 2b (Carvalho, Oliveira e Monteiro, 2021). As marquises ilustradas na Figura 2b, d, com 18 e 7 anos, respectivamente, apresentam patologias bem similares em toda a sua extensão sendo possível verificar o surgimento de microfissuras, bolor e deslocamento de pequenas áreas de reboco (Fabiane Sartori, 2013). Observando as Figuras 2a, b, c, d é possível verificar que a pintura das peças estruturais encontra-se parcial ou totalmente comprometida. Na Figura 2a observa-se a existência de deslocamento de uma pequena parte de reboco. A fissura presente na face lateral da marquise Figura 2b, podem ter sido originadas pela água da chuva em excesso que vaza pela fissura. Esta água também pode favorecer a oxidação e posteriormente a corrosão do aço promovendo abertura desta fissura (Andrade, 2006). De acordo com o proprietário do imóvel, esta situação já tem bastante tempo e nunca teve o deslocamento de revestimento. O proprietário também comentou que nunca fez nenhuma manutenção, apenas mandou retirar (1 m²) de reboco que poderia cair, como ilustrado na figura. As marquises Figuras 2b, d durante a sua construção foram apenas rebocadas (argamassa) em todas as faces e depois receberam uma de mão de emulsão asfáltica na face superior. As marquises Figura 2c, d com 16 e 36 anos respectivamente construídas apresentaram manifestações patológica na pintura, sendo resultado da formação de bolhas. De acordo com seus proprietários estas marquises receberam manutenção (\pm 4 anos), onde apenas a marquise Figura 2c, recebeu aplicação de manta asfáltica em toda área da face superior e a marquise Figura 2e, apenas foi tratada com uma pintura de emulsão asfáltica em cima do reboco na face superior. De acordo com relato dos proprietários, os imóveis têm a finalidade somente de locação com isso não podem gastar muito com reformas preventivas ou corretivas. Também foi observado nesta marquise a falta de caimento da água da chuva para evitar o acúmulo de água na face superior. Como as marquises foram reformadas recentemente, não foi encontrado o surgimento de fissuras em nem uma estrutura.

3.2 Representação dos resultados

As perguntas e respostas do questionário aplicado aos moradores mais antigo das edificações onde foi possível investigar as manifestações patológicas nas marquises estruturais, são apresentados nas figuras abaixo. Na Figura 3., é apresentado o tempo da construção da estrutura.

TEMPO DE CONSTRUÇÃO (ANOS)

■ Até 10 ■ Entre 10 e 20 ■ Maior 30

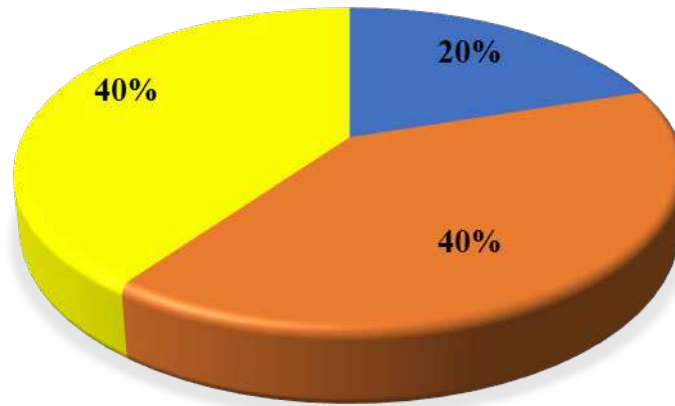


Figura 3. Tempo de construção em anos das estruturas investigadas.

Os resultados apresentados na Figura 3., mostram que o maior percentual de marquises investigadas apresenta idades superiores a 30 anos (40%), seguida por marquises entre 10 e 20 anos (20%). Estes resultados mostram que grande parte das peças estruturais investigadas neste estudo, foi construída em uma época que não existiam muitas soluções construtivas de fácil acesso como existe hoje, garantido a qualidade e a eficiência estrutural destas peças. Nesta época não existia muita precisão nos diagnósticos por causa da falta de uma investigação mais minuciosos e por ensaios de laboratórios mais precisos que pode-se identificar a origem e evolução das patologias como ensaio absorção capilar, traço/composição, porosidade e agentes agressivos, assim como profissionais com experiências para orientar (Gasparett, Pantoja e Ramires, 2021). A durabilidade de uma obra consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início da elaboração do projeto (Gasparett, Pantoja e Ramires, 2021). A idade da construção, ou tempo em que a construção existe, favorecem ao surgimento de patologias (Fabiane Sartori, 2013). A Figura 4, apresenta os tipos de patologias que foram identificadas nas estruturas investigadas.

TIPO MANIFESTAÇÕES

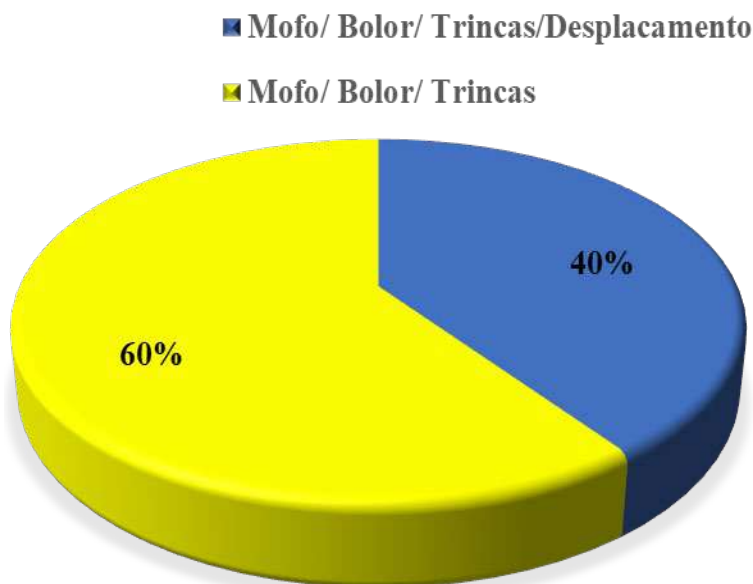


Figura 4. Tipo de manifestações nas estruturas investigadas.

Observando a Figura 4, 5 e 6., verificou-se que existe coerência entre os resultados apresentados nestas figuras. Isso porque, 60% das patologias apresentadas pelas marquises investigadas é caracterizada por: mofo, bolor e trincas (Silvestro, Romano e Molin, 2021), resultando em nível de gravidade baixo e 40% apresentam risco médio. Estes valores são similares aos resultados apresentados pela Figura 6., onde a falta de impermeabilização nas marquises chegou a 60% e apenas 40% apresentaram. Este resultado também indica que o nível de gravidade apresentado pelas estruturas investigadas é influenciado pelo tipo de patologia ao qual a peça estrutural está submetida. Quando se observa a Figura 5., é possível verificar que a falta de impermeabilização tem forte influência no nível de gravidade da patologia e no tipo de manifestação patologia na estrutura, isso porque a penetração de água na estrutura fica mais fácil favorecendo o surgimento de manifestações patológicas. O risco médio Figura 5., é verificado pelo deslocamento de revestimento Figura 2b, c em valores mínimos de área. Este resultado é importante porque mostra que os revestimentos executados durante a execução das estruturas, apresenta boa aderência e resistência ao tempo, ocasionado possivelmente pela qualidade dos materiais e da mão-de-obra durante a construção da peça estrutural. Isso corrobora para garantir a segurança dos transeuntes nas calçadas onde existe este tipo de estrutura. A Figura 5, apresenta o nível de gravidade das patologias nas estruturas investigadas neste estudo.

NÍVEL DE GRAVIDADE DA PATOLOGIA

■ Baixo ■ Médio

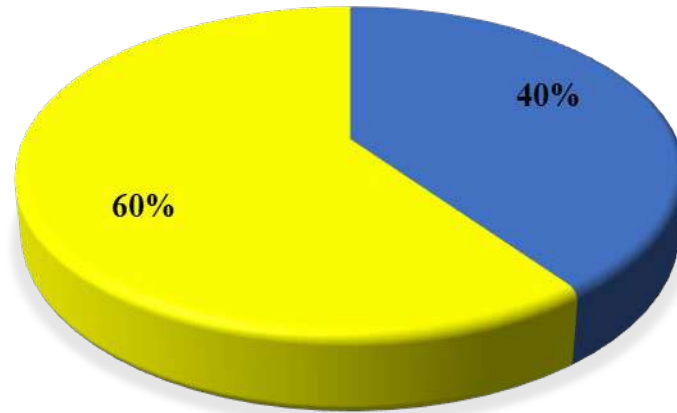


Figura 5. Nível de gravidade apresentada pelas estruturas investigadas.

EXISTÊNCIA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

■ Sim ■ Não

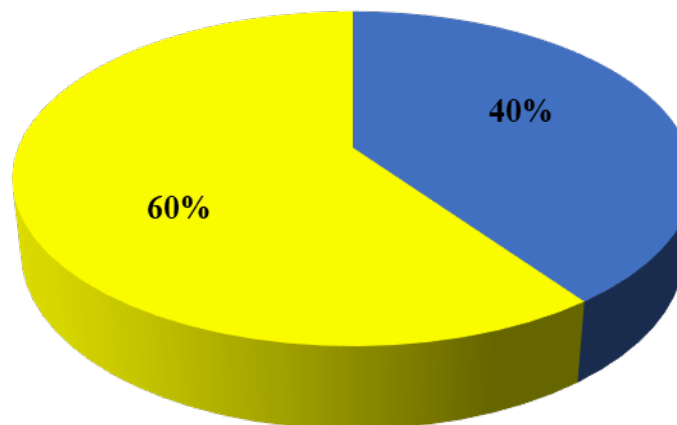


Figura 6. Existência de impermeabilização.

**FOI REALIZADO MANUTENÇÃO
(PREVENTIVA/CORRETIVA)**

■ Sim ■ Não

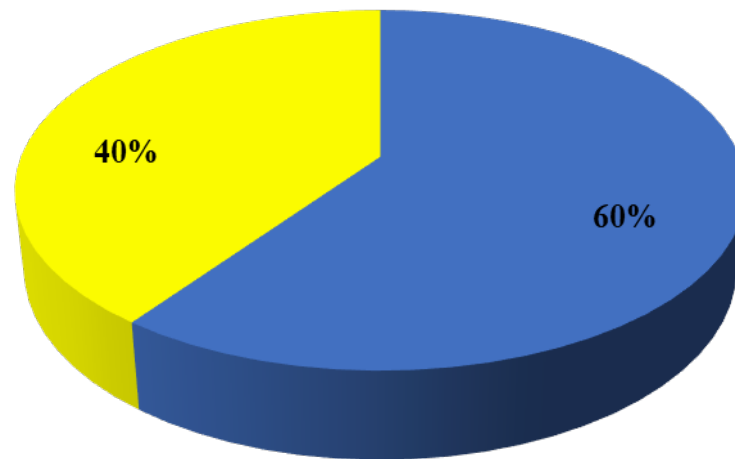


Figura 7. Realização de manutenção nas estruturas investigadas.

A falta de manutenção preventiva ou corretiva apresentado na Figura 7., chega 60% nas marquises, este resultado mostra que a falta de manutenção corrobora para o surgimento de patologias durante a sua vida útil das peças estruturais investigadas. As estruturas que receberam manutenção (40%) apresentaram patologias com nível de gravidade baixo. Os valores apresentados na Figura 8 mostram a falta de conhecimento dos proprietários/moradores pela necessidade de manutenção preventiva ou corretiva.

IMPORTÂNCIA DE MANUTENÇÃO (PREVENTIVA/CORRETIVA)

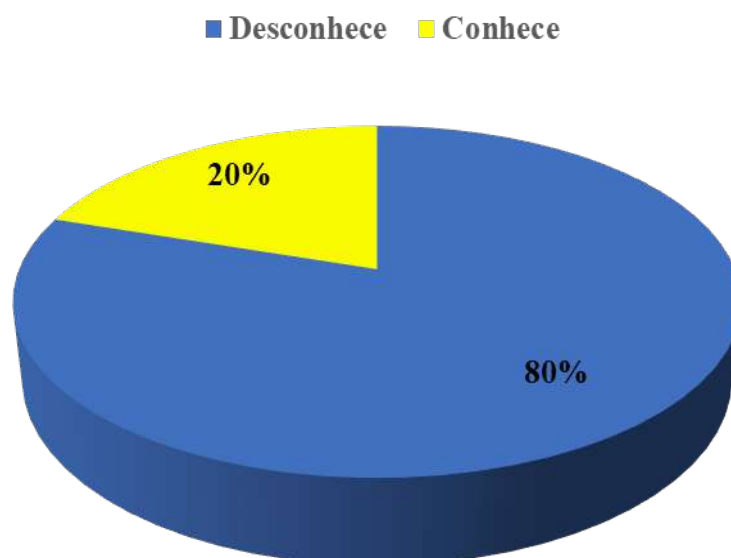


Figura 8. Importância de manutenção, grau de conhecimento do proprietário/morador das marquises investigadas que responderam ao questionário.

Os resultados apresentados na Figura 8., mostram (80%) dos proprietários/moradores não tem conhecimento da importância das manutenções preventivas e corretivas que deveriam ser executadas nas peças estruturais. Este resultado pode ser consequência da finalidade final do imóvel, onde ($\pm 80\%$) são destinados a locação pelos seus proprietários. Este resultado foi coletado de maneira informal durante a aplicação do questionário.

4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados nesta investigação mostram que a falta de manutenção corretiva ou preventiva pode ter influenciado no surgimento das patologias encontradas nas marquises investigadas. A investigação mostrou que 60% não sofreram nem um tipo de manutenção. Isso pode ser resultado da falta de conhecimento do proprietário do imóvel, isso porque 80% desconhecem a necessidade da manutenção neste tipo de peça estrutural.

5. REFERENCIAS

ANDRADE, L. LEVANTAMENTO DE PATOLOGIA CAUSADA POR UMIDADE EM UMA EDIFICAÇÃO NA CIDADE DE PALMAS – TO, Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções CBPAT 2016. Belém Pará: 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

CARVALHO, E. D. A.; OLIVEIRA, M.; MONTEIRO, E. Análise da Frequência em que Fontes Geradoras de Infiltração Ocorrem em Edifícios Inspeccionados na Cidade de Aracaju-SE e Suas Manifestações Patológicas. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 6, n. 1, p. 93–100, 19 jan. 2021. <http://revistas.poli.br/index.php/repa/article/view/1462>

FABIANE SARTORI, K. Levantamento De Manifestações Patológicas Em Marquises De Concreto Armado Survey of Pathological Manifestations in Reinforced Concrete Marquees. *Revista Thêma et Scientia* –, v. 3, n. 1, p. 69–78, 2013. <http://www.themaetscientia.fag.edu.br/index.php/RTES/article/view/125>

GASPARETT, A.; PANTOJA, J. DA C.; RAMIRES, F. B. METODOLOGIA PARA INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA E DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO / METHODOLOGY FOR INSPECTION AND EVALUATION OF THE SAFETY AND DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 4942–4960, 2021.

LORRAN, T. Reformas de casas sobem 57% na pandemia, diz aplicativo de serviços. Disponível em: <Reformas de casas sobem 57%25 na pandemia, diz aplicativo de serviços>. Acesso em: 6 maio. 2021.

NOVAES, R. F. P. *et al.* STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF A MARQUEE ELEMENT/ANÁLISE DE FIABILIDADE ESTRUTURAL DE UM ELEMENTO DE MARQUISE. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 11928–11941, 2021. <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/24106/19299>

OLIVEIRA, M. N. *et al.* Production of Interlocked block with added Tire Rubber Waste. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, v. 8, n. 5, p. 113–116, 2021. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.85.11>.

PEREIRA, A. P. *et al.* Production of Non-Structural Concrete with Addition of Polyethylene Terephthalate Fiber (PET) in Porto Nacional - TO. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, v. 6, n. 11, p. 372–378, 2019. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.67>

PORTO, T. B.; PIMENTA, G. F. Pathological manifestation analysis in Curvelo-MG building. *International Journal of Geoscience, Engineering and Technology*, v. 3, n. 1, p. 41–46, 2021.

SEBRAE. Comércio e serviços: Serviços de reparos residenciais. Serviço de ed. Salvador: 2018.

SILVA FERNANDES, F. A. DA *et al.* Glass foams produced from soda-lime glass waste and rice husk ash applied as partial substitutes for concrete aggregates. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 128, p. 77–84, ago. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.044>

SILVESTRO, L.; ROMANO, F. S.; MOLIN, D. C. C. D. Penetração de cloretos em concretos expostos em zona de atmosfera marinha por um período de 9 anos. *Ambiente Construído*, v. 21, n. 1, p. 101–118, jan. 2021.

WEIMER, B. F. *Patologia das estruturas [recurso eletrônico] / Bianca Funk Weimer, Mauricio Thomas, Fernanda Dresch; revisão técnica : André Luís Abitante.* Porto Alegre: 2018.

Aplicação da Metodologia do Grau de Deterioração da Estrutura (GDE/UnB) em um viaduto: estudo de caso no município de Santa Maria/RS

C. de Vargas^{1*}, G. D. Brackmann¹, G. F. dos Santos¹, E. M. de Carli¹, A. S. de Vargas², R. C. A. de Lima²

*Autor de Contato: camile.vargas@ufsm.br

¹ Estudante de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

² Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

RESUMO

Viadutos são estruturas sujeitas a ações externas, como o intemperismo ambiental, resultando em danos que podem diminuir sua vida útil consideravelmente caso não ocorram manutenções periódicas para sua conservação. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo analisar e identificar as manifestações patológicas de um viaduto localizado no município de Santa Maria (RS), o qual faz a ligação entre dois bairros importantes da cidade, utilizando a metodologia GDE/UnB, na versão proposta por Verly (2015). A aplicação da metodologia GDE/UnB possibilitou a obtenção de resultados condizentes com os dados obtidos na vistoria *in loco*, permitindo a determinação de quais seriam as ações imediatas que devem ser priorizadas visando reestabelecer a conservação e o desempenho da estrutura objeto deste estudo.

Palavras-chave: viaduto; manifestação patológica; grau de deterioração; manutenção.

ABSTRACT

Viaducts are structures subject to external actions, such as environmental weathering, resulting in damage that can considerably shorten its useful life if there are no periodic maintenance for its conservation. In this sense, this study aimed to analyze and identify the pathological manifestations of a viaduct located in Santa Maria city (RS), which connects two important neighborhoods of the city, using the GDE/UnB methodology, in the version proposed by Verly (2015). The application of the GDE/UnB methodology made it possible to obtain results consistent with the data obtained in the on-site survey, allowing the determination of what would be the immediate actions that should be prioritized in order to re-establish the conservation and performance of the analyzed structure.

Keywords: viaduct; pathological manifestation; degree of deterioration; maintenance.

RESUMEN

Los viaductos son estructuras sometidas a acciones externas, como la intemperie ambiental, resultando en daños que pueden acortar considerablemente su vida útil si no se realizan mantenimientos periódicos para su conservación. En este sentido, este estudio objetivas analizar e identificar las manifestaciones patológicas de un viaducto ubicado en la ciudad de Santa María (RS), que conecta dos importantes barrios de la ciudad, utilizando la metodología GDE/UnB, en la versión propuesta por Verly. (2015). La aplicación de la metodología GDE/UnB permitió obtener resultados consistentes con los datos obtenidos en el relevamiento in situ, permitiendo determinar cuáles serían las acciones inmediatas que se deben priorizar para restablecer la conservación y el desempeño de la estructura analizada.

Palabras clave: viaducto; manifestación patológica; grado de deterioro; mantenimiento.

1. INTRODUÇÃO

Viadutos são Obras de Arte Especiais (OAE) de grande importância dentro da estrutura viária de uma cidade, uma vez que viabilizam o deslocamento sobre obstáculos e assim facilitam a logística de tráfego encurtando distância e realizando a interligação entre localidades. Na maioria dos casos, a manutenção dessas estruturas é negligenciada e à medida que a estrutura se deteriora naturalmente, a falta de manutenção acelera o surgimento de patologias, denotando a importância de intervenções periódicas.

Entre os vários métodos disponíveis para a avaliação da degradação de estruturas, existe a metodologia do Grau de Deterioração da Estrutura (GDE/UnB), que classifica os danos e avalia a deterioração de estruturas de concreto. Essa avaliação é feita a partir da inspeção da estrutura, com a atribuição de notas conforme a intensidade dos danos observados nos elementos estruturais. Assim, o objetivo deste trabalho é aplicar a metodologia GDE/UnB à estrutura de um viaduto situado na cidade de Santa Maria/RS, por meio de uma inspeção das condições gerais da estrutura. O viaduto alvo da análise é responsável pela ligação de dois bairros da cidade, sendo, portanto, importante realizar o acompanhamento de seu estado de conservação regularmente, para que sejam realizadas as devidas manutenções quando necessário.

2. METODOLOGIA GDE/UnB

A metodologia a ser aplicada no presente artigo é a do Grau de Deterioração da Estrutura (GDE/UnB), desenvolvida inicialmente por Castro (1994). A evolução da metodologia GDE/UnB ocorreu com Lopes (1998) e Fonseca (2007), que utilizaram a mesma para avaliar estruturas de edificações, assim como com Euqueres (2011) e Verly (2015), que apresentaram excelentes resultados de aplicação da metodologia em OAE. O fluxograma apresentado na Figura 1 mostra a sequência de aplicação da metodologia GDE/UnB, assim como os respectivos fatores e equações que serão melhor detalhados nesta seção.

2.1 Fator de ponderação de dano (F_p)

A metodologia GDE/UnB propõe a verificação da ocorrência ou não de determinados tipos de danos nos elementos, sendo eles a carbonatação, o cobrimento deficiente, a contaminação por cloretos, a corrosão de armaduras, a desagregação, o deslocamento por empuxo, o deslocamento, os desvios de geometria, a eflorescência, a falha de concretagem, as fissuras, as flechas excessivas, a impermeabilização deficiente, a infiltração de água, as manchas, a obstrução de juntas de dilatação, os recalques e os sinais de esmagamento do concreto. Os valores de F_p podem variar de 1 a 5, sendo definidos antes da inspeção com exceção do dano relativo às fissuras, em que o valor de F_p é definido no momento da inspeção de acordo com a natureza das fissuras identificadas nos elementos. Os elementos estruturais são divididos em famílias típicas para fins de análise e para cada uma delas, a metodologia GDE/UnB fornece os fatores de ponderação do dano (F_p) relativos a cada tipo de dano que pode ser identificado nos elementos, o quais têm como finalidade quantificar uma importância relativa de um determinado dano nas condições gerais de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma família (Castro, 1994).

2.2 Fator de intensidade do dano (F_i)

Na atribuição desse fator é importante observar o ambiente onde se encontra o dano, a profundidade do mesmo, assim como as deformações aparentes, de modo a diminuir a interferência da subjetividade da análise que é feita visualmente no momento da vistoria. O fator de intensidade do dano tem como objetivo classificar a gravidade e a evolução isolada do dano em um determinado elemento, variando de 0 a 4 (zero a quatro), conforme Tabela 1, sendo que 0 (zero) é o valor atribuído ao elemento que não possui nenhuma lesão de um determinado tipo de dano (corrosão de armaduras, cobrimento insuficiente, etc.), enquanto que 4 (quatro), o valor máximo, é atribuído ao elemento que apresentar uma determinada lesão em estado crítico.

Tabela 1. Classificação do fator de intensidade do dano.

Estado do elemento	F_i
Elemento sem lesões	0
Elemento com lesões leves	1
Elemento com lesões toleráveis	2
Elementos com lesões graves	3
Elemento em estado crítico	4

Fonte: Verly (2015).

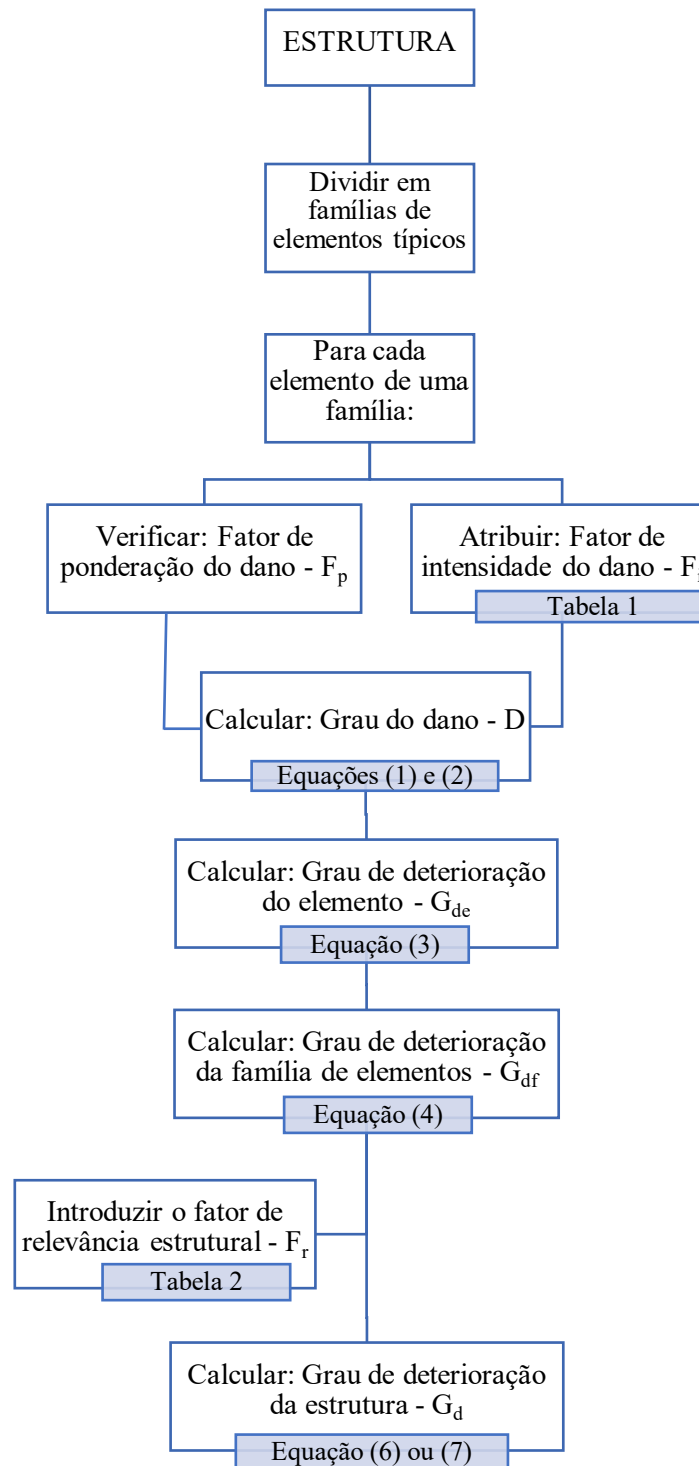


Figura 1. Fluxograma de aplicação da metodologia GDE/UnB (adaptado de Castro, 1994).

2.3 Grau de dano (D)

O grau de dano (D) foi desenvolvido com a finalidade de quantificar o processo de deterioração da estrutura. É o fator que relaciona o Fator de Intensidade (F_i) e o Fator de Ponderação (F_p) a partir das Equações (1) e (2).

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0 \quad (1)$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p \quad \text{para } F_i > 2,0 \quad (2)$$

2.4 Grau de deterioração do elemento (G_{de})

O grau de deterioração do elemento (G_{de}) é o parâmetro que indica o nível de degradação de cada elemento individualmente. Deve ser feita a análise do elemento estrutural sob o efeito de todos os danos nele existentes, utilizando a Equação (3) que foi proposta por Lopes (1998).

$$G_{de} = D_{máx} \cdot \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{máx}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] \quad (3)$$

Onde: D_i = grau de dano de ordem i ; $D_{máx}$ = maior dano identificado no elemento; n = número de danos encontrados em um elemento.

2.5 Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})

O grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) representa a deterioração de um conjunto de elementos pertencentes a uma mesma família. Para seu cálculo são considerados os valores de G_{de} de cada elemento da família que está sendo analisada, conforme a Equação (4).

$$G_{df} = G_{de,máx} \cdot \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de,máx}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}} \right] \quad (4)$$

Onde: $G_{de,máx}$ = grau de deterioração máxima do elemento; $G_{de,i}$ = grau de deterioração do elemento de ordem i ; m = número de elementos da família.

2.6 Fator de relevância estrutural (F_r)

O fator de relevância estrutural tem como papel considerar a influência de cada família em função de sua importância na estabilidade estrutural e bom desempenho da estrutura. Dessa forma, o valor do F_r depende do sistema estrutural em análise, sendo recomendados por Verly (2015) os valores da Tabela 2.

Tabela 2. Fatores de relevância estrutural.

Tipo de elemento	F_r
Barreiras de defensas, guarda-corpo, guarda-rodas, pista de rolamento	1,0
Juntas de dilatação	2,0
Transversinas, cortinas, alas	3,0
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4,0
Vigas principais e pilares	5,0

Fonte: Verly (2015).

2.7 Grau de Deterioração da Estrutura (G_d)

Para obter o grau de deterioração da estrutura (G_d), deve ser considerado o fator de relevância de cada família e o grau de deterioração da família. A Equação (5) fornece o grau de deterioração da família majorado (K), dado pelo produto do $G_{d,f}$ e F_r . Enquanto Fonseca (2007) propôs a Equação

(6) para determinar o grau de deterioração da estrutura (G_d), em que os valores de G_{df} são ponderados pelos respectivos fatores de relevância estrutural desprezando-se os valores de G_{de} menores que 15 no cálculo do G_{df} , Verly (2015) modificou tal equação e propôs a Equação (7) para o cálculo do grau de deterioração da estrutura modificado ($G_{d,mod}^*$), e definiu que todos os valores de G_{de} devem ser considerados no cálculo do G_{df} .

$$K_i = G_{df,i} \cdot F_{r,i} \quad (5)$$

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k K_i}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} \quad (6)$$

$$G_{d,mod}^* = \frac{K_{máx}}{7,07} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^k K_i) - K_{máx}}{\sum_{i=1}^k K_i}} \quad (7)$$

Após o cálculo do G_d (ou $G_{d,mod}^*$), a estrutura pode ser classificada em níveis conforme a Tabela 3, onde constam recomendações de ações a serem tomadas em cada caso.

Tabela 3. Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e ações recomendadas.

Nível de deterioração	G_d	Ações recomendadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 – 50	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 – 100	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	≥ 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.

Fonte: Verly (2015).

3. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A OAE analisada neste estudo de caso está localizada na Avenida Assis Brasil, sobre os trilhos da ferrovia que passa pelo município, entre os bairros Centro e Itararé, fazendo a interligação dos mesmos, na cidade de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A Figura 2 apresenta a localização da estrutura no bairro Itararé.

A estrutura do viaduto é composta de vigas, longarinas, transversinas e lajes em concreto armado, moldado *in loco*. Em relação à seção transversal, essa possui uma largura total de 9,70m, largura de pista de 7,30m, passeios de 1,20 m de comprimento e 0,18 m de altura além de guardas - corpo de 1,44m cada, dispostos lado a lado, com 0,90 m de altura, conforme detalhado na Figura 3. O tipo de fundação do viaduto e as condições atuais dessa estrutura não puderam ser verificadas.



Figura 2. Localização da OAE em imagem de satélite. Fonte: Google Earth (2021).

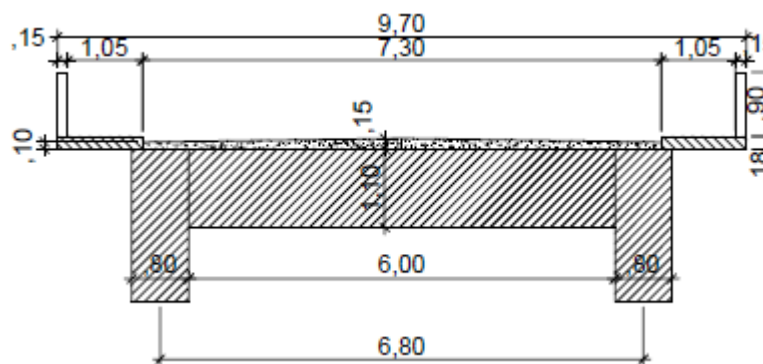


Figura 3. Seção Transversal do Viaduto do Itararé localizado na cidade de Santa Maria/RS.

3.1 Mesoestrutura

A mesoestrutura do viaduto analisado é composta por cinco estruturas aperticadas, cada uma composta por dois pilares (80x50 cm) e uma viga (50x110 cm), todos de seção constante e em concreto armado (Figura 4).

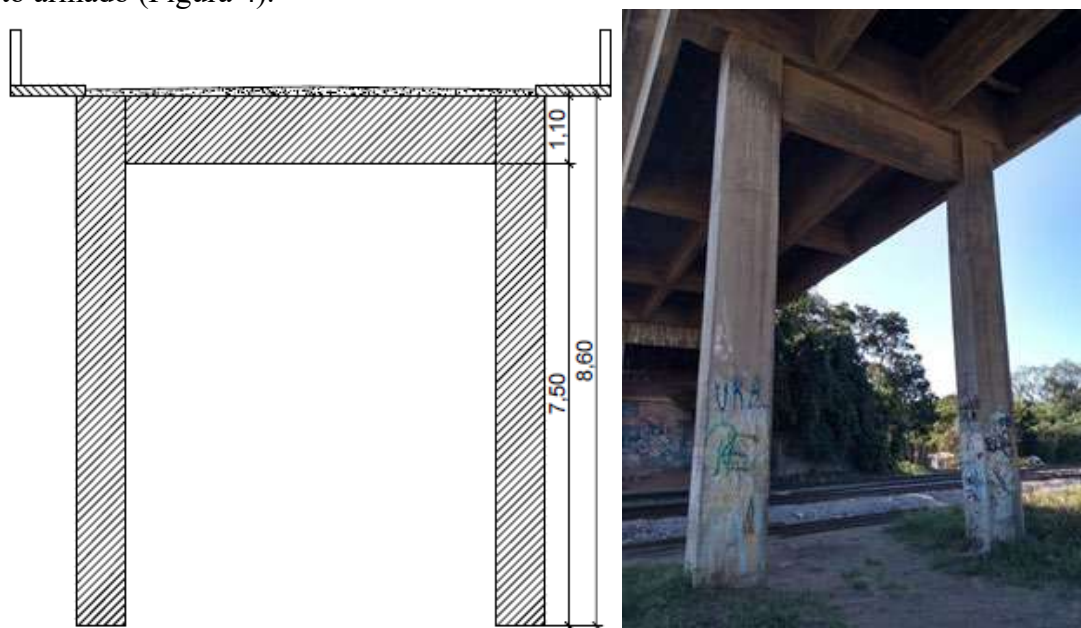


Figura 4. Pórticos que compõem o viaduto.

3.2 Superestrutura

A superestrutura do viaduto, objeto analisado neste artigo, é composta de um tabuleiro de lajes maciças de concreto armado, travessas, longarinas e transversinas (Figura 5).

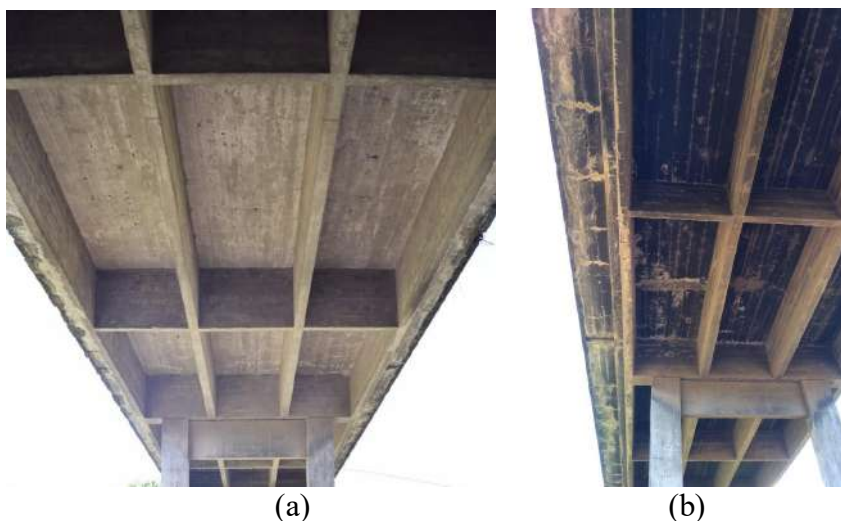


Figura 5. Tabuleiro de lajes maciças de concreto armado, travessas, longarinas e transversinas que compõem a estrutura do viaduto.

4. INSPEÇÃO DA OAE

A inspeção foi realizada de forma visual, para caracterizar a geometria dos elementos e identificar fenômenos patológicos existentes. Para fins de análise, a OAE foi dividida nas seguintes famílias: pilares, travessas, longarinas, transversinas, lajes, pista de rolamento, guarda-roda e guarda-corpo.

4.1 Pilares

Em geral, os pilares apresentavam pontos de deslocamento e manchas evidentes. Na base do Pilar 5 (P5), conforme mostra a Figura 6, foram identificados pontos de exposição da armadura, tanto da principal como dos estribos e presença de corrosão. Seguindo a metodologia GDE/UnB, para o deslocamento, o fator de intensidade adotado foi igual a 3 por serem lascamentos de grandes proporções, com exposição da armadura. Para a corrosão, adotou-se o fator de intensidade igual a 2, uma vez que foram identificadas apenas manifestações leves, com pequenas manchas.



Figura 6. Pilar 5 com armaduras expostas.

4.2 Travessas, Longarinas e Transversinas

As travessas, longarinas e transversinas apresentavam pontos de corrosão das armaduras, desagregação, deslocamento, infiltração de água e manchas, sendo que alguns pontos dessas manifestações patológicas são mais acentuados do que outros. As longarinas localizadas nas bordas (L1 e L4) possuíam manchas mais significativas devido a falhas de drenagem. As travessas apresentavam situações semelhantes em geral, no entanto, algumas delas possuíam pontos de corrosão de armadura que não foram identificados em outras. Em relação às transversinas, a T4 encontrava-se em situação mais crítica quando comparada com todas as outras, apresentando desde infiltração de água e manchas até desagregação, deslocamento e corrosão de armaduras.

4.3 Lajes

Para fins de análise dividiu-se a estrutura que compõe a laje do viaduto em quatro vãos. Observou-se que os vãos intermediários possuíam manchas mais intensas devido à umidade, adotando-se F_i igual a 4 para estas e F_i igual a 3 para as manchas visualizadas nos vãos das extremidades. Devido à considerável infiltração de água, resultando em grandes manchas, o F_p utilizado no cálculo para essa manifestação patológica foi 3. A Figura 7(a) mostra uma fotografia do tabuleiro em 2018 e a Figura 7(b) em 2021, comparação que permite identificar o avanço rápido das manifestações patológicas ao longo dos últimos dois anos devido, principalmente, à ausência de manutenção periódica.

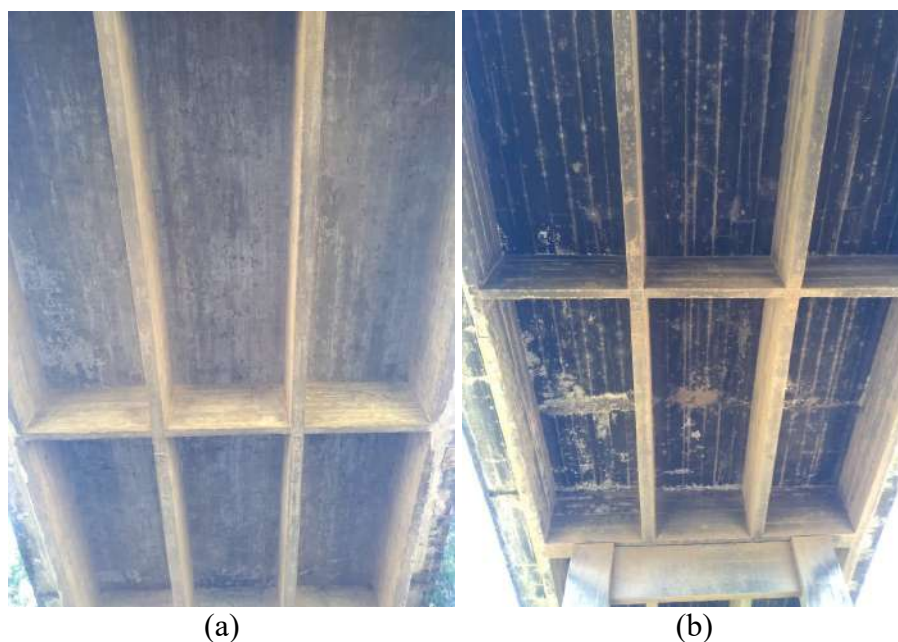


Figura 7. Comparação do Tabuleiro do Viaduto do Itararé em 2018 (a) e 2021 (b).

4.4 Pista de rolamento e Juntas de dilatação

A pista de rolamento apresenta desgaste superficial em estado avançado, conforme a Figura 8(a), sendo atribuído um fator de intensidade igual a 3 seguindo as recomendações da metodologia GDE/UnB. Além disso, foram verificadas descontinuidades na pista.

Em relação às juntas de dilatação, como é possível observar na Figura 8(b), essas possuem obstruções com perda de elasticidade do material da junta, acompanhada do início de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes, o que justifica a atribuição do fator de intensidade 2 para esse dano.

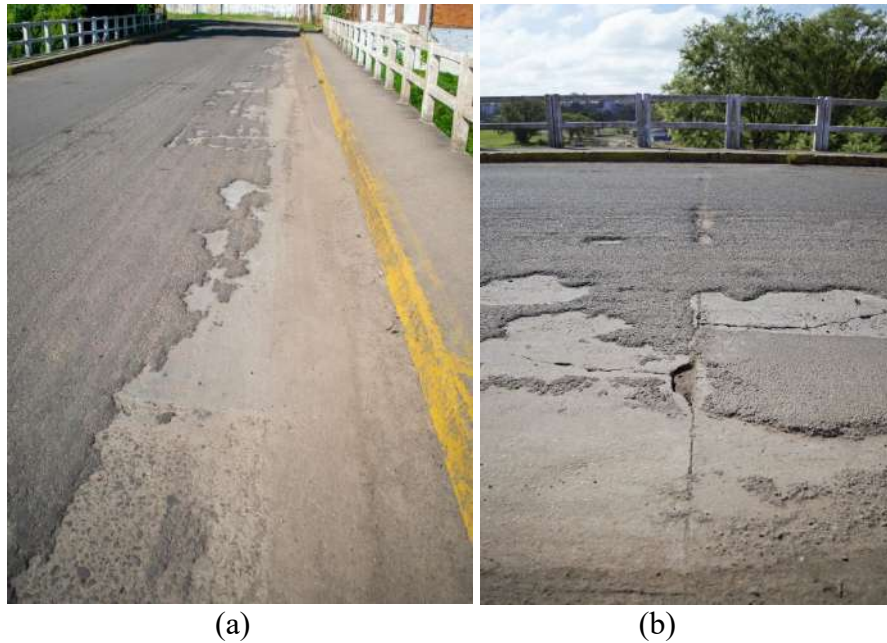


Figura 8. Pista de rolamento (a) e junta de dilatação (b)

4.5 Guarda-rodas e guarda-corpo

Os guarda-rodas apresentavam bom estado de conservação, sendo identificadas apenas algumas manchas e pequenos pontos de desagregação não intensos. No entanto, nos guarda-corpos, foram identificados, em vários pontos, cobertura insuficiente, em que era possível visualizar os agregados graúdos utilizados no concreto que compõe o elemento (Figura 9). Em outros pontos, a deterioração era ainda mais intensa, com deslocamentos caracterizados por apresentar lascamentos acentuados com perda relevante da seção, tendo sido atribuído, portanto, F_i igual a 4 para esse dano, assim como para a corrosão que já havia levado à uma perda relevante de seção da armadura.



Figura 9. Detalhe dos danos no guarda-corpo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 são apresentados os valores do Fator de Relevância (F_r) e Fator de Ponderação do Dano (F_p) utilizados, seguindo a metodologia GDE/UnB, assim como os Fatores de Intensidade do Dano (F_i) adotados para as manifestações patológicas verificadas em cada elemento e respectivos resultados do cálculo do Grau de Dano (D) e Grau de Deterioração do Elemento (G_{de}).

Tabela 4. Aplicação da metodologia GDE/UnB no viaduto do Itararé.

Família	F_r	Elementos	Manifestação Patológica	F_p	F_i	D	G_{de}
Transversinas	3	T1; T13	Infiltração de água	3	1	3	8,00
			Manchas	3	2	6	
		T2;T3;T5;T6; T7;T8;T9; T10;T11;T12	Corrosão de armaduras	5	2	10	14,74
			Infiltração de água	3	1	3	
			Manchas	3	2	6	
			Corrosão de armaduras	5	2	10	
		T4	Desagregação	3	2	6	36,24
			Desplacamento	3	3	24	
			Infiltração de água	3	1	3	
			Manchas	3	2	6	
Longarinas	3	L1; L4	Corrosão de armaduras	5	2	10	32,43
			Infiltração de água	3	1	3	
			Manchas	3	3	24	
		L2; L3	Corrosão de armaduras	5	2	10	14,74
			Infiltração de água	3	1	3	
			Manchas	3	2	6	
Pilares	5	P3; P4; P6; P7	Cobrimento deficiente	3	2	6	35,48
			Corrosão de armaduras	5	2	10	
			Desplacamento	3	3	24	
			Manchas	3	2	6	
		P1; P2; P8; P9; P10	Desplacamento	3	2	6	9,00
			Manchas	3	2	6	
		P5	Cobrimento deficiente	3	2	6	76,10
			Corrosão de armaduras	5	2	10	
			Desplacamento	3	4	60	
			Manchas	3	2	6	
Travessas	5	TV1; TV5	Infiltração de água	3	1	3	8,00
			Manchas	3	2	6	
		TV2; TV3; TV4	Corrosão de armaduras	5	2	10	14,74
			Infiltração de água	3	1	3	
			Manchas	3	2	6	
			Manchas	3	2	6	

Tabela 4 (continuação). Aplicação da metodologia GDE/UnB no viaduto do Itararé.

Família	F _r	Elementos	Manifestação Patológica	F _p	F _i	D	G _{de}
Lajes	4	VÃO 1; VÃO 4	Cobrimento deficiente	3	1	3	42,90
			Corrosão de armaduras	5	2	10	
			Desagregação	3	3	24	
			Desplacamento	3	3	24	
			Fissuras	2	2	4	
			Infiltração de água	3	3	24	
			Manchas	3	3	24	
		VÃO 2; VÃO 3	Cobrimento deficiente	3	1	3	95,84
			Corrosão de armaduras	5	2	10	
			Desagregação	3	3	24	
			Desplacamento	3	3	24	
			Fissuras	2	2	4	
			Infiltração de água	3	3	24	
			Manchas	3	4	60	
Guarda-corpo	1	-	Cobrimento deficiente	3	3	24	147,37
			Corrosão de armaduras	5	4	100	
			Desplacamento	3	4	60	
			Manchas	3	2	6	
Guarda-rodas	1	-	Desagregação	3	2	6	9,00
			Manchas	3	2	6	
Pista de rolamento	1	-	Descontinuidade	5	3	40	66,67
			Desgaste superficial	5	3	40	
			Desgaste da sinalização	5	3	40	
Juntas de dilatação	3	J1; J2; J3; J4; J5	Obstrução de junta	5	3	40	48,00
			Desgaste do material de preenchimento da junta	5	2	10	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA			$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k K_i}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} = 80,54$				
			$G_{d,mod}^* = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^k K_i) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}} = 120,34$				

Foram utilizadas duas equações distintas para o cálculo do grau de deterioração da estrutura do viaduto. Como se observa na Tabela 4, o Grau de Deterioração encontrado a partir da primeira equação, de Fonseca (2007), foi de 80,54, indicando um nível sofrível que condiz mais com a realidade da estrutura do que o resultado obtido com a segunda equação, de Verly (2015), de 120,34. O nível sofrível, resultado encontrado com a equação de Fonseca (2007), indica a necessidade de planejamento de uma inspeção detalhada rigorosa visando uma intervenção de curto prazo (em 6 meses) na estrutura analisada neste estudo.

6. CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia GDE/UnB permitiu a obtenção de resultados satisfatórios e condizentes com a avaliação empírica da estrutura realizada durante a vistoria *in loco*, em que foram identificadas as manifestações patológicas presentes nos elementos estruturais. Além disso, foi possível identificar o nível das lesões e recomendar ações e intervenções adequadas ao nível de deterioração da estrutura. Os resultados obtidos indicaram um nível sofrível de degradação que denota a necessidade de planejamento de uma inspeção detalhada rigorosa visando uma intervenção de curto prazo (em até 6 meses) na estrutura analisada. Essas medidas possibilitariam atenuar as principais patologias identificadas que se desenvolveram principalmente pela falta de manutenção periódica, resultante da ausência de um sistema de gerenciamento de OAE como esta que possui importância significativa na estrutura viária da cidade, uma vez que faz a ligação entre dois bairros principais. Destaca-se, portanto, a viabilidade da aplicação da metodologia GDE/UnB no levantamento de dados capazes de definir a situação atual desta e de outras estruturas, resultando em um planejamento de ações de correção compatível com cada caso.

7. REFERÊNCIAS

Castro, E. K. (1994), "*Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado*", Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 185 p.

Euqueres, P. (2011), "*Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado*", Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 168 p.

Fonseca, R. P. (2007), "*A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção*", Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 213 p.

Lopes, B. A. R. (1998), "*Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: estudo para inclusão do componente "Estrutura de Concreto"*". Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 308 p.

Verly, R. C. (2015), "*Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais*", Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 178 p.

Aplicação da metodologia GDE/UnB (2015) de inspeção em um edifício residencial de quatro pavimentos.

Teixeira^{1*}, Guilherme. Filho¹, Leonidas. Leonel¹, Fábio. Silva¹, Juliano¹.

*Autor de Contacto: guilherme.henrique.eng@hotmail.com

¹ Universidade Estadual de Goiás, Anápolis-GO, Brasil

RESUMO

Este trabalho determina o grau de deterioração estrutural de um edifício residencial de quatro pavimentos, executado em concreto armado. A avaliação das manifestações patológicas incidentes na estrutura foi quantificada através da metodologia Grau de Deterioração da Estrutura - GDE/UnB (2015). As anomalias contidas nos elementos inspecionados foram registradas através de fotografias, com análise *in loco*, e, posteriormente, a aplicação da metodologia. Os resultados mostram que o edifício apresentou um grau de deterioração de 55,25, classificando-o como nível alto de deterioração. Concluiu-se que a aplicação de metodologia GDE/UnB elucidou uma visão geral da condição do objeto de estudo, a qual auxilia durante a inspeção e tomada de decisão, objetivando a correção das falhas existentes e a prevenção de novas deficiências estruturais.

Palavras chave: Metodologia GDE; Patologia; Deterioração; Manutenção.

ABSTRACT

This work determines the degree of structural deterioration of a four-story residential building, built in reinforced concrete. The evaluation of pathological manifestations incident on the structure was quantified using the Degree of Deterioration of the Structure methodology - GDE/UnB (2015). As anomalies contained in the inspected elements were found through photographs, with in loco analysis, and, later, the application of the methodology. The results show that the building has a degree of deterioration of 55.25, classifying it as a high level of deterioration. It was concluded that the application of the GDE/UnB methodology elucidated an overview of the condition of the object of study, which helps during the before and decision making, aiming at correcting existing flaws and preventing new deficiencies before.

Keywords: GDE Methodology; Pathology; Deterioration; Maintenance.

RESUMEN

Este trabajo determina el grado de deterioro estructural de un edificio residencial de cuatro plantas, ejecutado en hormigón armado. La evaluación de las manifestaciones patológicas incidentes en la estructura fue cuantificada a través de la metodología Grado de Deterioro de la Estructura - GDE/UnB (2015). Las anomalías contenidas en los elementos inspeccionados se registraron mediante fotografías, con análisis in situ y, posteriormente, la aplicación de la metodología. Los resultados muestran que el edificio presentaba un grado de deterioro de 55,25, clasificándolo como nivel de deterioro alto. Se concluyó que la aplicación de la metodología GDE/UnB dilucidó una visión general del estado del objeto de estudio, lo que ayuda durante la inspección y la toma de decisiones encaminadas a la corrección de los fallos existentes y la prevención de nuevas deficiencias estructurales.

Palabras clave: Metodología GDE; Patología; Deterioro; Mantenimiento.

1. INTRODUÇÃO

A inspeção predial trata-se de uma ferramenta inicial capaz de realizar corretos diagnósticos e se resume na identificação das manifestações patológicas presentes por meio do aspecto visual. (TUTIKIAN; PACHECO, 2013; BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). De modo a auxiliar essa análise e dar maior objetividade, pode-se agregar outras ferramentas como a utilização da metodologia GDE/UnB. Esta metodologia permite atribuir valores numéricos às manifestações patológicas e identificar o estado em que a estrutura se encontra, além de possibilitar uma hierarquização de elementos com prioridade de intervenção.

Segundo Braga (2019), conhecer o estado em que a estrutura se encontra e o seu grau de deterioração é fundamental, pois possibilita o fornecimento de suporte necessário para a busca de soluções de manutenção e reparo.

A metodologia Grau de Deterioração da Estrutura (GDE), da Universidade de Brasília (UnB), foi desenvolvida por Castro (1994) com base nos estudos de Klein et al (1991) em edifícios usuais. Após isso, diversos outros autores trouxeram contribuições para o desenvolvimento da mesma, como por exemplo Lopes (1998), Boldo (2002), Fonseca (2007) e Verly (2015), os quais vieram acrescentando revisões de fatores ou reformulações de determinadas variáveis.

Essa metodologia consiste em, após identificar os elementos deteriorados, dividi-los em famílias de elementos semelhantes e, para cada elemento, atribuir fatores de intensidade (F_i) às manifestações presentes, que tem como finalidade classificar a gravidade em que determinada manifestação se encontra. Da mesma maneira, um fator de ponderação (F_p) é atribuído ao elemento de acordo com a manifestação, pois expressa a importância desse dano para o elemento. Dessa forma, feito isso é possível calcular os parâmetros do grau de dano (D) de cada manifestação patológica e sequencialmente calcular o grau de deterioração do elemento (G_{de}), grau de deterioração da família (G_{df}) e grau de deterioração da estrutura (G_d). Além disso, é possível associar níveis de deterioração e ações recomendadas de acordo com o grau de deterioração.

A aplicação dessa metodologia vem sendo utilizada em diversos trabalhos como ferramenta na análise das manifestações patológicas, buscando maior objetividade. Medeiros et al. (2020) realizaram uma análise das manifestações patológicas presentes em uma ponte situada próximo à cidade de Mossoró-RN e com isso, obteve um grau de deterioração da estrutura (G_d) de 64,03, indicando um nível de deterioração alto. Além disso, realizou-se uma comparação com a metodologia aplicada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), ao qual conclui-se que a metodologia GDE/UnB apresenta uma maior redução da subjetividade no processo de inspeção.

Lima et al. (2019) realizaram um estudo de caso de manifestações patológicas em três viadutos de Brasília, a fim de quantificar e qualificar esses danos para servirem de suporte na tomada de decisão. Dessa forma, por meio da metodologia foi possível identificar o nível de deterioração de cada viaduto e definir um prazo de intervenção. Além disso, chegaram à conclusão de que o viaduto 02 era o que apresentava maior grau de deterioração da estrutura (G_d), igual a 37,25, valor que foi justificado devido ao maior fluxo de veículos neste viaduto em comparação aos outros. Dessa forma, os autores ressaltam que a metodologia serve para auxiliar o engenheiro na tomada de decisão.

Santana et al. (2019) trabalharam sobre a análise das manifestações patológicas em um edifício, utilizando a metodologia GDE/UnB, Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE) e GUT. O objeto de estudo desta pesquisa sofreu a ação de temperaturas elevadas devido um incêndio. Neste trabalho os autores concluíram que a metodologia GDE/UnB possibilita uma classificação de prioridade com maior clareza do que somente a GUT ou somente a do IBAPE, visto que as análises de vários pontos em ambas metodologias resultaram em coincidência de valor ou classificação.

2. METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho consiste na aplicação da metodologia GDE-UnB (2015) para quantificação das manifestações patológicas e identificação da prioridade de intervenção em um prédio residencial de quatro pavimentos, situado na cidade de Anápolis-GO. O edifício nunca passou por processo de intervenção e possui dezesseis anos de idade. Os elementos vistoriados foram divididos em famílias conforme apresentado abaixo.

- Pilares;
- Vigas;
- Lajes;
- Reservatórios;
- Escadas.

Feita essa divisão, realizou-se a atribuição dos fatores de intensidade (F_i) e fatores de ponderação (F_p) para cada manifestação presente no elemento inspecionado, conforme as tabelas presentes no trabalho de Fonseca (2007). Dessa forma, foi possível realizar o cálculo do grau de dano (D), de acordo com as Equações 1 e 2.

$$D = 0,8 * F_p * F_i \quad \text{Para } F_i \leq 2,0 \quad (1)$$

$$D = (12 * F_i - 28) * F_p \quad \text{Para } F_i \geq 3,0 \quad (2)$$

Onde:

D – Grau de dano

F_i – Fator de intensidade

F_p – Fator de ponderação

Com o grau de dano (D) de cada manifestação, calcula-se o grau de deterioração do elemento (G_{de}) conforme a Equação 3.

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} * \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] \quad (3)$$

Onde:

G_{de} - Grau de deterioração do elemento;

D_i - Grau do dano “i”;

$D_{m\acute{a}x}$ - Maior grau do dano no elemento;

n – Números de danos no elemento.

Com o valor do grau de deterioração do elemento, relaciona-se um nível de deterioração e assim obtém-se recomendações de ações a serem tomadas. Essa relação pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação do nível de deterioração dos elementos.

Fonte: (VERLY, 2015) – Modificado.

Nível de deterioração	G_{de}	Ações recomendadas
Baixo	0-15	Estado aceitável Manutenção preventiva
Médio	15-50	Definir prazo e natureza de nova inspeção Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50-80	Definir prazo para inspeção especializada Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano)
Sofrível	80-100	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses)
Crítico	>100	Intervenção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramentos, etc). Planejar intervenção imediata.

Para determinar o grau de deterioração dos elementos divididos em grupos semelhantes é calculado o grau de deterioração da família (G_{df}), o qual é função do grau de deterioração do elemento (G_{de}) através da Equação 4.

$$G_{df} = G_{de,máx} \sqrt{1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^n G_{de,i}\right) - G_{de,máx}}{\sum_{i=1}^n G_{de,i}}} \quad (4)$$

Onde:

$G_{de,máx}$ – Maior grau de deterioração do elemento

$G_{de,i}$ – Grau de deterioração do elemento “i” (≥ 15)

m – Número de elementos com $G_{de} \geq 15$

E por fim, ao obter o grau de deterioração de cada família (G_{df}), calcula-se o grau de deterioração da estrutura (G_d). A equação utilizada para este cálculo é expressa abaixo, Equação 5.

$$G_d = \frac{K_{máx}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^k K_i\right) - K_{máx}}{\sum_{i=1}^k K_i}} \quad (5)$$

Onde:

K – Número de famílias na estrutura

$K_{máx}$ – Maior valor do produto entre $G_{de,i}$ pelo respectivo F_r

K_i – Produto entre $G_{de,i}$ pelo respectivo F_r

Dessa forma, para o grau de deterioração da estrutura, de maneira semelhante ao grau de deterioração do elemento (G_{de}), pode ser feita a associação a um nível de deterioração e consequentemente obter medidas que podem ser tomadas quanto essa situação. A tabela aplicada para essa análise trata-se da própria Tabela 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Pilares

Foram analisados os pilares na região do pilotis, onde foi possível identificar a presença de fissuras e destacamento do concreto devido ao processo de corrosão da armadura. Trata-se de uma região exposta ao sol, chuva e uma grande quantidade de dióxido de carbono. Sendo identificado através do ensaio de aspersão de fenolftaleína que o processo de corrosão ocorre devido à carbonatação. Dentre os pilares, aqueles que apresentaram aspectos visuais de danos foram o P05, P06, P19, P30, P31, P38, P46 e P47.

Os pilares P05, P06, P19, P38, P46 e P47, como pode ser visto na Figura 1, apresentam o desenvolvimento de corrosão ainda em estágio inicial. Isso é devido à falta de manchas e de fissuras de corrosão e o deslocamento que acontece nos elementos é superficial, na forma de escamação. Por esse motivo, adotou-se o fator de intensidade (F_i) igual a 2 tanto para as fissuras quanto para o destacamento do concreto. Além disso, segundo Castro (1994), não é necessário considerar a carbonatação visto que já ocorre a corrosão. Para evitar superposição considera-se a intensidade apenas da corrosão.

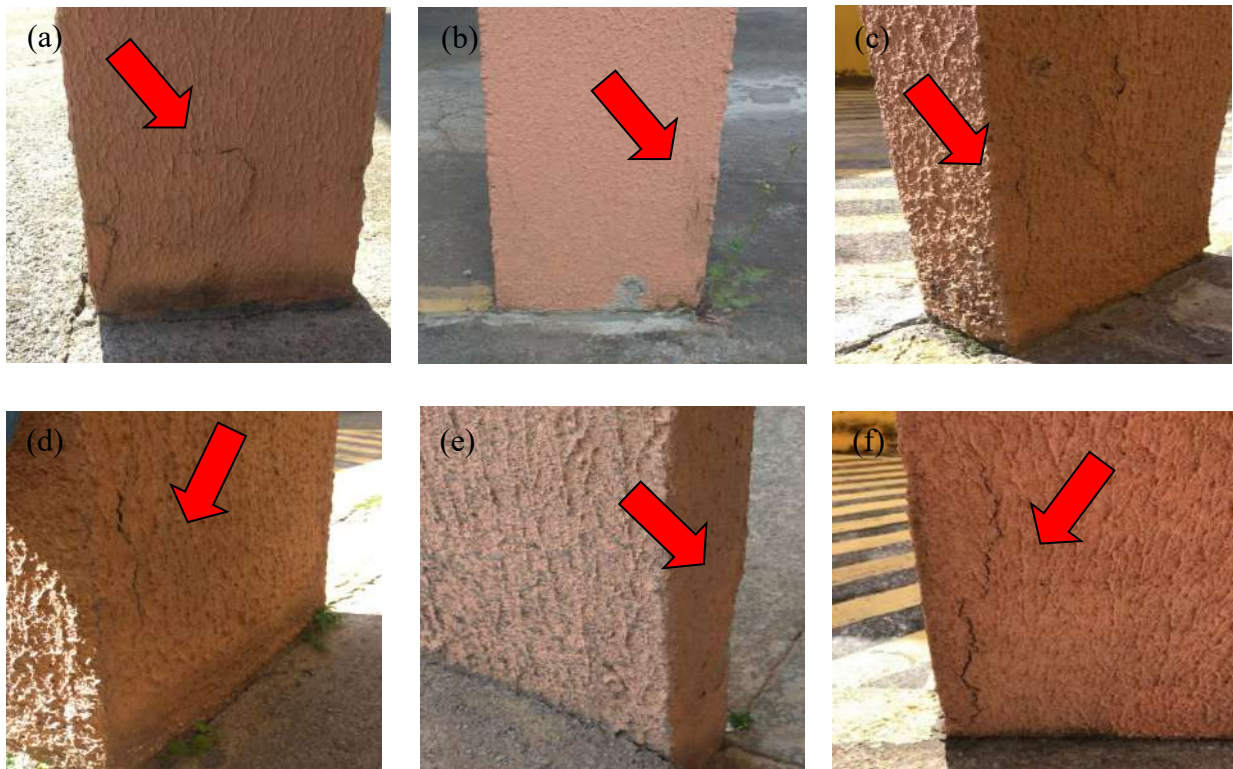


Figura 1 – (a) Pilar 05, (b) Pilar 06, (c) Pilar 19, (d) Pilar 38, (e) Pilar 46, (f) Pilar 47.

Dessa forma, o Grau de deterioração do elemento (G_{de}) para cada um dos pilares citados acima é abaixo de 15, o que representa um nível de deterioração baixo, ficando em um estado aceitável, necessitando apenas de manutenções preventivas. O cálculo realizado apresenta-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Grau de deterioração dos pilares P05, P06, P19, P38, P46, P47.

Nome do elemento	P05=P06=P19=P38=P46=P47		
Local	Pilotis		
Danos	Fp	Fi	D
Corrosão	5	2	8
Desplacamento	3	2	4,8
	G _{de}		11

O pilar 30, Figura 2, apresenta um processo avançado de corrosão, porém não foi possível observar a perda de seção da armadura. Por isso, foi considerado um fator de intensidade da corrosão igual a 3 e para o deslocamento, por ocorrer um lascamento capaz de expor a armadura em grandes proporções, o fator de intensidade considerado é igual a 3. Com isso, o grau de deterioração do elemento é igual a 55, conforme a Tabela 3. Dessa forma, constata-se que o elemento apresenta um nível de deterioração alto, caracterizando a necessidade de inspeções especializadas e necessidade de intervenções em médio prazo (máximo 1 ano).



Figura 2 – Pilar 30.

Tabela 3 – Grau de deterioração do pilar P30.

Nome do elemento	P30		
Local	Pilotis		
Danos	Fp	Fi	D
Corrosão	5	3	40
Desplacamento	3	3	24
	G _{de}		55

O pilar 31, Figura 3, não apresenta o deslocamento da seção de concreto, porém ocorre um processo de corrosão identificado pela presença de fissuras paralelas as armaduras, caracterizando um fator de intensidade 3. Dessa forma, o grau de deterioração do elemento é de 40, conforme a Tabela 4, caracterizando um nível de deterioração médio, o qual necessita de intervenção de no máximo 2 anos.



Figura 3 – Pilar 31.

Tabela 4 – Grau de deterioração do pilar P31.

Nome do elemento	P30		
Local	Pilotis		
Danos	Fp	Fi	D
Corrosão	5	3	40
Desplacamento	3	0	0
	G _{de}		40

Para o cálculo do grau de deterioração da família (G_{df}) dos pilares foi utilizado apenas os valores resultantes dos pilares P30 e P31, visto que, segundo a metodologia, os valores de G_{de} abaixo de 15 não devem ser considerados nos cálculos, pois não são representativos. Com isso, o valor do grau de deterioração da família (G_{df}) foi de 65,56, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Grau de deterioração da família de pilares.

Nome do elemento	G_{de}	G_{df}
P30	55	65,56
P31	40	

3.2 Lajes

Foram identificados danos nas lajes em três regiões. O primeiro dano (L01) na região dos pilotis, logo abaixo da região do banheiro de um dos apartamentos. O segundo dano (L02) na sacada do apartamento, situada na parte à esquerda da fachada frontal. O terceiro dano (L03) localizado no terceiro pavimento, na parte inferior da laje de cobertura, na região do reservatório. A Figura 4 mostra as lajes danificadas.

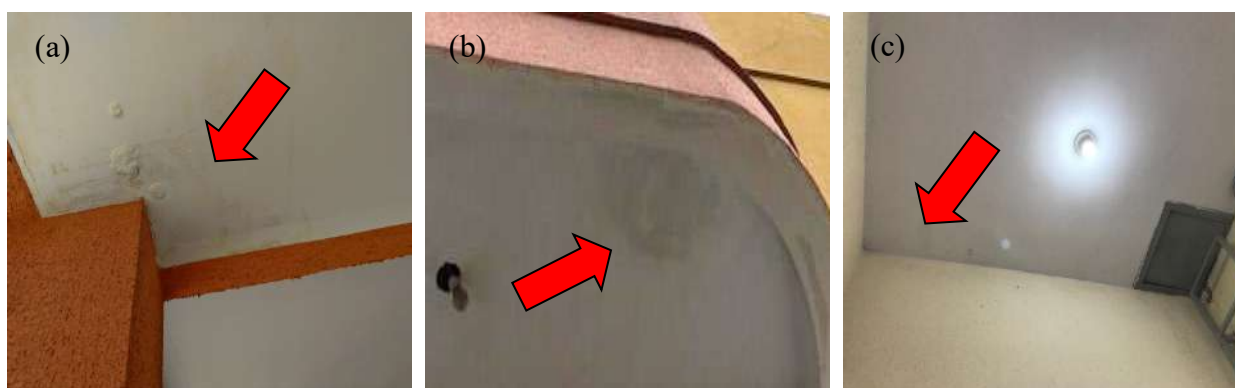


Figura 4 – (a) Laje L01, (b) Laje L02, (c) Laje L03.

As manifestações identificadas são relacionadas com a presença de umidade, sendo considerados fatores de intensidade de 1 e 2, como pode ser visto nas Tabelas 6 e 7. Porém, não representam danos significativos para a estrutura, uma vez que apresentam um nível de deterioração baixo, enquadrando-se em um estado aceitável que necessita apenas de manutenções preventivas. Dessa maneira, como os elementos identificados apresentam valores de grau de deterioração (G_{de}) inferiores a 15, conforme Castro (1994), os mesmos não são representativos para considerações de cálculo do grau de deterioração da família (G_{df}). Dessa forma, o valor de G_{df} será igual a 0.

Tabela 6 – Grau de deterioração da laje L01 e L02. Tabela 7 – Grau de deterioração da laje L03.

Nome do elemento	L01=L02		
	Pilotis/Sacada		
Danos	Fp	Fi	D
Umidade	3	2	4,8
	G_{de}		4,8

Nome do elemento	L03		
	3º Pavimento		
Danos	Fp	Fi	D
Umidade	3	1	2,4
	G_{de}		2,4

3.3 Vigas

As vigas vistoriadas não apresentaram nenhuma anomalia visível.

3.4 Escada

Na escada (E01), região do primeiro lance, foi observado o destacamento do concreto e início do processo corrosivo, como pode ser observado na Figura 5. Porém, como não foi possível identificar com clareza a perda de seção da armadura, considerou-se um fator de intensidade igual a 3 para o processo corrosivo. Quanto ao destacamento de concreto, devido à constatação de um processo já em fase de exposição de armadura, o valor considerado para o fator de intensidade foi igual a 3. Além disso, esses tipos de manifestações para as escadas representam fatores de ponderação igual a 5 para a corrosão e igual a 3 para o destacamento, logo o grau de deterioração do elemento é de 55, conforme Tabela 8. Dessa forma, constata-se que o elemento apresenta nível de deterioração alto, caracterizando uma necessidade de inspeções especializadas e intervenção dentro de um prazo médio (máximo de 1 ano).



Figura 5 – Laje E01.

Tabela 8 – Grau de deterioração da laje E01.

Nome do elemento	L01		
	Térreo		
Local	Fp	Fi	D
Corrosão	5	3	40
Desplacamento	3	3	24
	G_{de}		55

Como possui apenas um elemento dentro da família, o valor do grau de deterioração da família (G_{df}) será igual a 55.

3.5 Reservatório

O reservatório superior (R1), mostrado na Figura 07, apresenta fissuras devido movimentações higrotérmicas e manchas escuras devido ao acúmulo de umidade. Por esse motivo, atribuiu-se um fator de intensidade 3 pela impermeabilização deficiente em alguns pontos, identificadas a partir das manchas escuras, o fator de ponderação para esta manifestação é igual a 4. Para as fissuras, por conta das pequenas dimensões e por apresentarem sinais de estabilização, considerou-se um valor de fator de intensidade igual a 2 e o fator de ponderação para essa manifestação igual a 3. Logo, o grau de deterioração do elemento é de 36,17, conforme Tabela 08. Dessa forma, o elemento apresenta um nível de deterioração médio, sendo necessário definir intervenções em longo prazo (máximo de 2 anos). Já o reservatório inferior (R2) não apresenta sinais de deterioração. Necessitando apenas de se manter a periodicidade das manutenções preventivas.

Como apenas o elemento R1 é determinante para o cálculo do grau de deterioração da família, o seu valor será de 36,17.



Figura 6 – Paredes R01.

Tabela 9 – Grau de deterioração da laje R01.

Nome do elemento	R01		
Local	Reservatório		
Danos	Fp	Fi	D
Fissuras	3	2	4,8
Impermeabilização deficiente	4	3	32
	G _{de}		36,17

3.6 Grau de deterioração da estrutura

Por fim, com o grau de deterioração de cada família associado ao seu respectivo fator de relevância, o grau de deterioração da estrutura obtido foi de 55,25, como pode ser observado por meio da Tabela 10. Logo, conclui-se que o edifício se apresenta em um nível de deterioração alto, o que requer uma inspeção especializada e intervenção dentro de um prazo médio (máximo de 1 ano). Dessa forma, analisando os elementos deteriorados e classificando quanto a prioridade, temos que a família de pilares é a que mais necessita de atenção, seguidos da escada e posteriormente do reservatório, como pode ser visto na Tabela 10. Obtemos, dentre todos os elementos, a hierarquização de prioridade apresentada na Tabela 11.

Tabela 10 – Grau de deterioração da estrutura.

Família	G _{df}	Fr	G _d
Pilares	65,56	5	55,25
Vigas	0	5	
Lajes	0	4	
Escada	55	3	
Reservatório	36,17	2	

Tabela 11 – Grau de deterioração dos elementos.

Elemento	G _{de}	Nível de deterioração	Prazo
P30	55,00	Alto	1 ano
E01	55,00	Alto	1 ano
P31	40,00	Médio	2 anos
R01	36,17	Médio	2 anos
P05	11,00	Baixo	Manutenção preventiva
P06	11,00	Baixo	Manutenção preventiva
P19	11,00	Baixo	Manutenção preventiva
P38	11,00	Baixo	Manutenção preventiva
P46	11,00	Baixo	Manutenção preventiva
P47	11,00	Baixo	Manutenção preventiva
L01	4,80	Baixo	Manutenção preventiva
L02	4,80	Baixo	Manutenção preventiva
L03	2,40	Baixo	Manutenção preventiva

4. CONCLUSÃO

Com base na realização deste trabalho foi possível concluir que com a aplicação de metodologia GDE/UnB (2015) obtém-se uma visão geral da condição da edificação, a qual auxilia durante a inspeção e na tomada de decisão, fornecendo informações necessárias para identificar pontos que necessitam de maior atenção. Além disso, por meio da mesma, observa-se uma diminuição da subjetividade na análise e determinação dos pontos de maior prioridade devido à aplicação dos fatores e formulações matemáticas.

No edifício de estudo, por meio da aplicação da metodologia, identificou-se que os pontos mais críticos tratavam-se da região dos pilares e da escada, dos quais os elementos P30 e E01 possuíam, ambos, grau de deterioração igual a 55, o que representa um nível de deterioração alto e sugestão de prazo de intervenção de no máximo 1 ano, demonstrando uma urgência maior.

Com nível médio de deterioração encontra-se o pilar P31 e o reservatório superior, R01, respectivamente, com o grau de deterioração igual a 40 e 36,17, exigindo que seja realizada uma intervenção em um prazo máximo de 2 anos.

Os demais elementos vistoriados possuem um nível de deterioração baixo, mostrando um estado aceitável, sendo necessário apenas a realização de manutenções preventivas.

Dessa forma, o edifício como um todo apresenta grau de deterioração igual a 55,25 e se enquadra em um nível alto de deterioração, o que requer intervenção dentro de um prazo máximo de 1 ano.

Com essas informações e atrelada com a realização da inspeção e diagnóstico é possível direcionar o engenheiro a uma decisão mais objetiva e concentrando os esforços nos pontos de maior prioridade.

5. REFERÊNCIAS

Tutikian, B., Pacheco, M. (2013), “*Boletim Técnico nº 1 – Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil*”, ALCONPAT, México, Mérida, p. 17

Bolina, F., Tutikian, B., Helene, P. (2019), “*Patologia de Estruturas*”, Oficina do Texto, Brasil, São Paulo, p. 320

Boldo, P. (2002), “*Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 312 p.

Braga et.al., (2019), Aplicação da Matriz GUT na análise de manifestações patológicas em construções históricas. *Revista ALCONPAT*. 9 (3): 320-335. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i3.400>

Castro, E. (1994), “*Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 139 p.

Fonseca, R. (2007), “*A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 231 p.

Klein et. al., (1991), “*Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte*” em: XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre: UFRGS, pp. 185-197.

Lima et.al., (2019), Análise de manifestações patológicas do concreto em viadutos urbanos. *Revista ALCONPAT*. 9 (2): 247-259. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i2.308>

Lopes, B. (1998), “*Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 158 p.

Medeiros et.al., (2020), Aplicação de metodologias de inspeção em ponte de concreto armado. *Ambiente Construído*. 20 (3): 687-702. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300453>

Santana et.al., (2019), “*Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado submetidas a ação de incêndio*” em: Congresso Brasileiro de Concreto, Fortaleza: IBRACON, 17 p.

Verly, R. (2015), “*Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 198 p.

Principais manifestações patológicas de um edifício em Anápolis-GO

G. Teixeira Filho^{1*}, L. Dias Filho¹, F. Leonel¹, J. Silva¹, E. Alves².

*Autor de Contacto: guilherme.henrique.eng@hotmail.com

¹ Universidade Estadual de Goiás, Anápolis-GO, Brasil

² Goinfra, Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar as principais manifestações patológicas que incidem em um edifício residencial localizado na cidade de Anápolis – GO. A análise ocorre mediante inspeção predial realizada *in loco*, fundamentando-se nas diretrizes de normas de avaliações, perícias e manutenções prediais (IBAPE, 2012; ABNT NBR 5674, 2012; ABNT NBR 16747, 2020). Como resultado, apresentou-se as principais manifestações patológicas que influenciam no desempenho e durabilidade da edificação, buscando correlacionar as anomalias com suas possíveis causas e apresentando propostas de intervenção capazes de reverter o quadro deficiente dos elementos deteriorados. Dentre as manifestações apresentadas, destacaram-se as infiltrações, visto que outras patologias, como as fissuras e recalque diferencial, foram causadas e intensificadas pela negligência de tratamento das infiltrações em estágio inicial.

Palavras chave: Patologia; Recalque; Edifícios; Infiltração; Deterioração.

ABSTRACT

This study aims to analyze the main pathological manifestations that occur in a residential building located in the city of Anápolis – GO. The analysis occurs through building inspection performed

in loco, based on the guidelines of standards for assessments, surveys and building maintenance (IBAPE, 2012; ABNT NBR 5674, 2012; ABNT NBR 16747, 2020). As a result, the main pathological manifestations that influence the performance and durability of the building were presented, seeking to correlate the anomalies with their possible causes and presenting proposals for intervention capable of reversing the deficient picture of the deteriorated elements. Among the manifestations presented, the infiltrations stood out, since other pathologies, such as cracks and differential settlement, were caused and intensified by the negligence of treatment of the infiltrations in the initial stage.

Key words: Pathology; Settlement; Buildings; Infiltration; Deterioration.

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo analizar las principales manifestaciones patológicas que se producen en un edificio residencial situado en la ciudad de Anápolis – GO. El análisis ocurre a través de la inspección del edificio realizada *in loco*, con base en las directrices de las normas de evaluación, peritaje y mantenimiento del edificio (IBAPE, 2012; ABNT NBR 5674, 2012; ABNT NBR 16747, 2020). Como resultado, se presentaron las principales manifestaciones patológicas que influyen en el rendimiento y la durabilidad del edificio, buscando correlacionar las anomalías con sus posibles causas y presentando propuestas de intervención capaces de revertir el cuadro deficiente de los elementos deteriorados. Entre las manifestaciones presentadas destacaban las infiltraciones, ya que otras patologías, como las grietas y los asentamientos diferenciales, eran causadas e intensificadas por la negligencia en el tratamiento de las infiltraciones en fases tempranas.

Palabras clave: Patología; Asentamiento; Edificios; Infiltración; Deterioro.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de sua vida útil, toda edificação sofre um processo de degradação natural por ação do tempo e do meio ambiente. Segundo Souza (2019), uma edificação é composta pelo conjunto de materiais e de processos construtivos em cadeia (projeto, execução e utilização), cuja

heterogeneidade de processos resulta nos principais pontos de origem das patologias. O processo patológico é capaz de afetar os desempenhos de segurança, habitabilidade e durabilidade das edificações. O concreto armado, como sistema construtivo, apresenta manifestações patológicas bem características que evidenciam a necessidade de manutenções periódicas que mitigam as anomalias.

A ausência de recomendações e ações voltadas à preservação das construções de concreto pode resultar em manifestações de deficiências indicativas de deterioração, sendo a patologia das construções o ramo da ciência que busca estudar e identificar as origens, as causas e os mecanismos de ação do desenvolvimento patológico das edificações. (Silva Neto, 2019).

Com isso, o presente estudo tem como objetivo analisar as principais manifestações patológicas que incidem em um edifício residencial de quatro pavimentos localizado na cidade de Anápolis – GO. Essa análise busca identificar no edifício, que possui aproximadamente vinte anos de uso, as anomalias, correlacionando suas possíveis causas e complicações, e apresentar propostas de intervenção capazes de reverter o quadro deficiente dos elementos da edificação.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização desta pesquisa foi a de inspeção predial baseada em vistoria técnica realizada *in loco*, para avaliação das manifestações patológicas que acometem os elementos construtivos do objeto de estudo. Para isso, a pesquisa se fundamentou nas diretrizes da Norma de Inspeção Predial do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE (2012), nas especificações da ABNT NBR 5674 (2012) e nas orientações da ABNT NBR 16747 (2020).

A inspeção foi realizada para diagnosticar as anomalias construtivas e as falhas de manutenção que influem e prejudicam o estado de utilização do prédio e suas instalações. A Norma de Inspeção Predial (IBAPE, 2012) primeiro classifica, em três níveis (1, 2 e 3), a inspeção predial quanto a sua complexidade e elaboração de laudo, levando em consideração as características técnicas para a execução do trabalho.

Em seguida, a avaliação define a natureza do elemento construtivo a ser inspecionado e, com um relatório fotográfico, classifica três graus de risco (mínimo, regular e crítico) para uma anomalia, levando em conta os critérios de riscos oferecidos aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio. Por fim, a inspeção predial termina com as definições de prioridades para as recomendações técnicas e a avaliação da manutenção e uso que possibilita intervir nas manifestações patológicas incidentes.

Neste trabalho, a edificação foi classificada como “Inspeção de Nível 01” e o seu grau de risco em análise como um todo é o “regular”, visto que as manifestações de risco crítico não se sobressaem.

3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Este tópico descreverá alguns ambientes analisados e as manifestações patológicas atuantes, apresentando as possíveis causas, a classificação do problema e a metodologia a ser seguida para reverter o quadro de deterioração.

3.1 Reservatórios superiores – Eflorescências e fissuras

Identificou-se infiltrações, fissuras e manchas brancas (eflorescências) em elementos estruturais ao longo das paredes do reservatório superior, pode-se visualizar as manifestações constatadas no local através das Figuras 1 a 4.



Figura 1. Manchas brancas de eflorescência.



Figura 2. Manchas brancas de eflorescência.



Figura 3. Sinais de infiltração.



Figura 4. Reenquadramento da abertura.

As manifestações patológicas encontradas foram devidas a falha na manutenção e anomalia construtiva, ocasionadas devido ao tempo de uso do edifício, aproximadamente vinte anos, e a falta de manutenções periódicas.

Referente a fissura presente na abertura de acesso à cobertura, ela ocorre devido à ausência do seu correto acabamento. Dessa forma, devido a concentrações de tensões que ocorrem nessas regiões, surgem fissuras partindo das extremidades dessas aberturas.

Observa-se também a presença do destacamento da pintura, característico do uso de saibro como argamassa de revestimento. Pois na época da construção do edifício era usual utilizar saibro (material pulverulento) na composição da argamassa do reboco, que com o tempo, pode causar as fissuras e destacamento do reboco.

A eflorescência pode induzir a degradação do concreto, quando a água infiltra nos poros do concreto, ela dissolve os sais presentes no cimento e na cal, principalmente o hidróxido de cálcio. Esses sais são conduzidos até a superfície durante a evaporação da água através da percolação

(passagem da água pelo concreto). Com a evaporação da água, esses sais se cristalizam, gerando manchas de cor clara. Os depósitos podem aparecer pontualmente ou de forma generalizada, assim como podem se formar lenta ou rapidamente, dependendo do grau de exposição à umidade e à quantidade de sais presentes no concreto. Com a perda do hidróxido de cálcio ocorre a diminuição do pH, tornando o ambiente interno ácido e fazendo com que as armaduras percam sua camada passivadora (proteção do aço) causando a oxidação da armadura, que pode comprometer a vida útil do reservatório e (ou) da estrutura.

A detecção de eflorescência em estruturas de concreto exige intervenção rápida e assertiva. Como ocorre com outros tipos de manifestações patológicas, a primeira ação deve ser identificar e controlar a fonte do problema. Recuperar as fissuras e fazer uma nova impermeabilização do reservatório.

Recomenda-se os procedimentos a seguir: Realizar limpeza do local, isentando-o de poeiras, óleos, graxas, natas de cimento, pinturas, partículas soltas, “nichos” de concretagem, pontas de ferro, restos de madeira, agentes de cura química ou desmontes e quaisquer outros elementos que possam prejudicar a aderência do produto, lavar com escova de aço e água; Reparar possíveis “nichos” e falhas de concretagem com argamassa de cimento e areia média lavada; Umedecer a superfície antes da aplicação da primeira demão, tomando cuidado para não saturar; Aplicar argamassa polimérica (SikaTop® 100 ou similar) com vassoura de pelos macios trincha pincel ou broxa, com consumo aproximado de 1,0 quilograma de massa fresca por metro quadrado de área (1,0 kg/m²) por demão. Aplicar duas demãos cruzadas do produto; Aplicar argamassa polimérica (SikaTop® 107 ou similar) com vassoura de pelos macios, trincha, pincel ou broxa, com consumo aproximado de 1,0 quilograma de massa fresca por metro quadrado de área (1,0 kg/m²) por demão. Entre a primeira e a segunda demão, fixar tela de poliéster para auxiliar na estruturação da membrana. Aplicar quatro demãos cruzadas do produto, ao todo. As demais demãos devem ser aplicadas após a anterior ter endurecido ou apresentado secagem ao toque (3 a 6 horas, dependendo das condições locais de temperatura e umidade).

Além disso, recomenda-se uma verificação da possibilidade de pontos de vazamento e a realização de manutenções periódicas com intuito de monitorar todo o sistema. Atentar para a verificação da correta impermeabilização interna do reservatório e verificação da integridade do reservatório associado com a exposição das armaduras. A impermeabilização externa do reservatório também é necessária.

O reboco de saibro deve ser removido e refeito, pois como a manifestação patológica é sistêmica, e de grande grau de degradação, sugere-se para uma solução definitiva, realizar a remoção de todo o reboco da região afetada até a face da parede de alvenaria e (ou) concreto, recompondo a região removida com argamassa industrializada para reboco para garantir a uniformidade do novo revestimento. Após essa etapa, respeitar o período de cura do reboco e proceder com a aplicação da argamassa polimérica. Esse sistema como um todo apresenta grau de risco crítico.

3.2 Barrilete – Eflorescências, manchas escuras e viga danificada

Observou-se a presença de sinais de infiltração, eflorescência e danos na viga, que podem ser visualizados nas Figuras 5 a 10.



Figura 5. Eflorescência.



Figura 6. Manchas escuras.



Figura 7. Eflorescência.



Figura 8. Fissuras na casa de máquinas.



Figura 9. Danos na viga.



Figura 10. Danos na viga.

O problema exposto nas Figuras de 5 a 8 são classificados como anomalias construtivas, causadas pelo composto hidróxido de cálcio, que é formado durante o processo de hidratação do cimento fresco. Após o endurecimento do concreto, essa substância, em contato com a água, pode ser dissolvida e carregada (lixiviada) para fora da superfície do concreto, causando eflorescências, que são manchas brancas sobre a estrutura ou o revestimento. Ao lixiviar o concreto são produzidas as

manchas brancas mencionadas, o que torna o concreto mais ácido (reduzem o pH), favorecendo a reação química de oxidação do ferro. Além disso, a presença da umidade na estrutura favorece a formação de manchas escuras pois é constituída por matéria orgânica de fungos, que possuem proliferação facilitada por condições de abrigo do sol e acúmulo de umidade. Isto aponta para o fato de que os problemas de umidade excessiva e falta de incidência solar estão presentes nestes locais em certa proporção. Dessa forma, tais sinais indicam a ocorrência de infiltração na estrutura de concreto e conseqüentemente a possibilidade do desenvolvimento de um processo corrosivo.

As eflorescências além de antiestéticas são difíceis de serem removidas e podem comprometer a vida útil do reservatório e (ou) da estrutura. Assim como citado no item 3.1, para sanar os problemas devido à infiltração deve-se identificar e controlar a fonte do problema, recuperar as fissuras e fazer uma nova impermeabilização do reservatório. As eflorescências salinas brancas podem ser removidas por escova a seco ou com água limpa e uma escova firme, ou em casos mais simples e superficiais, é possível remover os depósitos salinos com uma limpeza com ácido acético e água (proporção 1:1). Uma vez sanado a origem dos problemas de infiltração deve-se prosseguir para a recuperação da estrutura e seu acabamento.

Quando ao dano da viga, observa-se uma anomalia construtiva devida a introdução das tubulações no seu interior. O procedimento realizado provoca uma perda da sua capacidade de resistência, inutilizando-a naquele trecho e transferindo os esforços, ali presente, para o restante da estrutura. Deve-se, para sanar o problema, realizar a mudança do traçado da tubulação e proceder com a recuperação do concreto danificado com recuperação da parte deteriorada com uso de graute.

Essa manifestação patológica apresenta-se como grau crítico na estrutura.

3.3 Reservatório superior – Impermeabilização da laje do reservatório e manutenção da tampa do reservatório

Observou-se um desgaste natural da laje do topo do reservatório e nas bordas das aberturas, há pequenos sinais de desgaste do concreto, esse desgaste pode ser visualizado nas Figuras 11 e 12. Além disso, nas extremidades do reservatório observa-se um destacamento da pintura devido a infiltração e intensificado pelo uso de saibro como argamassa de revestimento, também foi observado sinais de trincas devido a movimentações higroscópicas, associadas a absorção de água pela argamassa e seu movimento relativo em relação ao restante da estrutura, as Figuras 13 e 14 expõem essa manifestação.



Figura 11. Desgaste da impermeabilização.



Figura 12. Sinais de desgaste da base da tampa.



Figura 13. Destacamento da pintura.



Figura 14. Destacamento da pintura.

O reservatório apresenta anomalia construtiva, formado devido ao desgaste natural ao longo do tempo, uso indevido de saibro na argamassa de reboco e ausência das devidas manutenções periódicas com limpeza das superfícies internas e externas do reservatório, que torna a água reservada susceptível à agentes de contaminação, comprometendo assim a sua qualidade.

Recomenda-se que seja realizada a substituição da impermeabilização na laje do topo, através do seguinte procedimento: remover o material de impermeabilização existente; regularizar as superfícies localizadas abaixo das mantas com argamassa desempenada de cimento e areia, com caimento mínimo de 1% em direção aos ralos, como recomendado pela NBR 9575 (2010); realizar limpeza do local, retirando resíduos de argamassa, madeiras, pontas de ferro, graxa, óleo e partículas soltas; aplicar demão de *primer* asfáltico, com o intuito de posterior aplicação de manta aluminizada; aquecer o *primer* asfáltico e a parte inferior da manta asfáltica aluminizada até o plástico de proteção derreter. Recomenda-se utilização de manta asfáltica aluminizada com espessura de 3 mm para uma maior eficiência e durabilidade do sistema. O sistema, segundo a ABAPE (2012) apresenta grau regular.

3.4 Pavimento tipo – Fissuras nos apartamentos

No apartamento 401 do bloco C foi identificada a presença de fissuras com inclinação de 45° nas paredes dos quartos, como pode-se observar nas figuras 15 a 18. Foi identificado ainda fissuras na escada de entrada para os apartamentos, como documentado nas Figuras 19 e 20.



Figura 15. Fissura na parede do apartamento.



Figura 16. Fissura na parede do apartamento.



Figura 17. Fissura na parede do apartamento.



Figura 18. Fissura intensificada pela umidade.



Figura 19. Fissuras de possível recalque.



Figura 20. Infiltração da água da chuva.

As fissuras encontradas são classificadas como anomalias construtivas e uma das possíveis causas é a ocorrência de recalque diferencial próxima à região das caixas de passagem, tendo em vista que as caixas apresentam um elevado grau de umidade e deterioração provocado por uma impermeabilização ineficiente, a qual permite com que a água percole (passe) pelo solo tornando-o saturado (umedecendo), e gerando assim uma deformação do solo. Em consequência, proporciona condições favoráveis para o recalque diferencial. Além disso, o processo é potencializado devido ao grande volume de água que ali se acumula, uma vez que a inclinação do terreno é acentuada para aquela direção. As fissuras originadas devido a esse processo são bem caracterizadas pelo aspecto de inclinação de 45°, como é identificado no apartamento.

Além de causar insegurança aos moradores, as trincas devido ao recalque diferencial podem comprometer a estrutura da edificação. Para sanar esse problema, deve-se procurar estabilizar o solo e para isso recomenda-se a utilização de solo cimento na região que está úmida da caixa de passagem. Deve-se prosseguir com a retirada do concreto do calçamento, verificar possíveis vazamentos e com a investigação de toda a região saturada (úmida) delimitar a área afetada pelos vazamentos. Proceder com a impermeabilização das caixas de inspeção em todo seu perímetro, em seguida, realizar a mistura do solo com cimento na proporção de 6% do peso de cimento e 20% de areia, em relação ao peso do solo que será retirado e misturado. Fazer essa mistura e recompor em camadas compactadas de 30 cm em 30 cm do solo retirado.

Após essa etapa, prosseguir com a recuperação do calçamento de concreto e recuperação das caixas de passagem (parte interna e externa). Nas caixas deve ser realizada a sua devida impermeabilização e aplicação de selante nas tampas para evitar a infiltração de água da chuva e recompor as partes de concreto removidas.

Nas paredes de alvenaria do apartamento fissuradas, verifica-se que a alvenaria se trata do componente mais susceptível a fissurações devido a sua diferença de deformação em relação ao restante da estrutura, para isso como recuperação é sugerido o seguinte tratamento: Remoção do revestimento da parede, numa faixa de largura aproximadamente de 15 cm entre a fissura e realizar a limpeza da base; Imprimir com *primer* PU e aplicar selante a base PU; Aplicar sobre a alvenaria exposta, uma tela de poliéster em uma faixa de 10 cm; Aplicar o chapisco externo a bandagem; Recuperar a abertura com uma argamassa com baixo módulo de deformação; Por fim, realizar pintura após espera do período de secagem, que corresponde a sete dias.

O sistema, segundo a ABAPE (2012) apresenta grau crítico.

4. CONCLUSÃO

Tendo em consideração as manifestações patológicas expostas, é evidente a negligência quanto aos efeitos que infiltrações de água podem causar ao edifício. Geralmente causados por falhas na etapa de impermeabilização, as infiltrações são responsáveis, em seus estágios iniciais, por manifestações brandas, como o destacamento da pintura, e caso a infiltração não seja controlada, pode-se evoluir para manifestações mais críticas, como o deslocamento de concreto e consequente exposição da armadura.

A consequente exposição da armadura às intempéries da superfície, pode ocasionar a oxidação da armadura. Essa manifestação patológica causa perda considerável da capacidade resistente do elemento metálico, podendo resultar na inutilização total do elemento. Essa situação pode ser agravada e acelerada em edifícios construídos anteriormente à data de publicação da NBR 6118:2014, visto que norma vigente anterior NB-1/1960 previa cobrimento mínimo de concreto inferior ao atual, que corresponde ao valor de 2,5 cm.

Tais manifestações, quando negligenciadas e associadas a outras anomalias construtivas, tais como danos em vigas para introdução de tubulações, podem comprometer gravemente a estrutura da

edificação. Desta forma, por meio desse documento, salienta-se a importância da prevenção e manutenção das infiltrações e das manifestações patológicas atreladas. Recomenda-se ainda a manutenção das edificações por mão de obra especializada, afim de evitar o retorno das manifestações patológicas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *NBR 5674: Edificações – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento*. Rio de Janeiro.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. (2012). *Norma de Inspeção Predial*. São Paulo.

Silva Neto, D. F. da. (2019), “*Análise das manifestações patológicas em edifício residencial da Asa Sul em Brasília-DF*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Goiás, 138 p.

Souza, MM (2019), Principais patologias estruturais e atuais metodologias de controle na construção civil. *Inter-American Journal of Development and Research*. 2 (1): 57-73. <https://doi.org/10.32916/iadrj.v2i1.69>

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

D. Muniz^{1*}, A. Silva², F. Leite³, I. Prazeres⁴, J. Souza⁵, E. Monteiro⁶, A. Lordsleem Jr⁷

*Autor de contato: dvm@poli.br

^{1,2,3,4,5} Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste artigo consiste em apresentar uma revisão sistemática de estudos recentes sobre a aplicação de ensaios não destrutivos em estruturas de concreto armado. A metodologia utilizada seguiu as diretrizes do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analysis), com triagem realizada no Portal de Periódicos da CAPES. Foram encontrados inicialmente 836 artigos e, a partir dos critérios de inclusão e exclusão, a seleção resultou em 24 artigos. A análise baseou-se nos ensaios utilizados e seus respectivos resultados, em função do tipo de dano avaliado. Observou-se as novas metodologias para detecção de danos, capazes de aumentar o grau de precisão e eficiência dos ensaios, as limitações dos ensaios e a integração entre dois ou mais métodos.

Palavras-chave: Ensaios não destrutivos; Concreto; Novas metodologias.

ABSTRACT

The objective of this article is to present a systematic review of recent studies on the application of non-destructive tests on reinforced concrete structures. The methodology used followed the guidelines of PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analysis), with selection performed on the CAPES Journal Portal. Initially, 836 articles were found and, based on the inclusion and exclusion criteria, the selection resulted in 24 articles. The analysis was based on the tests used and their respective results, depending on the type of damage evaluated. It was observed the new methodologies for damage detection, able of increasing the degree of precision and efficiency of the tests, the limitations of the tests and the integration between two or more methods.

Key-words: Non-destructive testing, Concrete; New methodologies.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação atual com a qualidade e o desempenho das construções tem contribuído para aumentar a relevância dos conceitos de vida útil dos materiais construtivos e de durabilidade, nas tomadas de decisões de projeto e execução das edificações. Tendo em vista que as exigências de qualidade estão se firmando, cada vez mais, no setor da construção civil, é de vital importância o desenvolvimento de alternativas que permitam, de forma eficaz e rápida, avaliar a qualidade das estruturas de concreto (Barreto *et al.*, 2019).

O uso de métodos de ensaios não destrutivos (END) é uma maneira de viabilizar a inspeção e a avaliação do estado de conservação de construções civis, de forma econômica e eficiente. Dada sua natureza predominantemente não invasiva, os ensaios tipo END se constituem em uma das principais ferramentas de controle da qualidade de materiais e produtos, e já são amplamente utilizados em diversas atividades, tais como na indústria aeroespacial, no ramo automobilístico, no ramo elétrico e na construção naval (Cho, 2003).

Os ensaios não destrutivos permitem a coleta de informações como tamanho, profundidade, localização e estado da armadura, além de condições físicas e parâmetros que estão associados aos processos de deterioração ou risco de danos à estrutura, tudo isso causando pouco ou nenhum prejuízo ao elemento (Mapa da obra, 2016). Dentre os ensaios não destrutivos mais comumente aplicados estão: Termografia de Pulso Longo (LPT); Termografia infravermelha; Tomografia Ultrassônica (UT); Aplicação de sensores ultrassônicos e automotivos; Resistividade elétrica; Potencial Eletroquímico; Emissão Acústica (AE).

Existem normas específicas para cada método de ensaio, por isso é importante a correta qualificação do profissional que irá realizar o ensaio e a elaboração de procedimentos conforme tais normas. Existem também normas que regulam empresas de END, tais como a ISO 17020 (SGS, 2018).

Várias pesquisas são realizadas no intuito de ressaltar a aplicabilidade dos ensaios não destrutivos. Neste sentido, este estudo teve como objetivo revisar a literatura relacionada aos ensaios não destrutivos mais utilizados em pesquisas recentes para avaliar as estruturas de concreto armado.

2. PROCEDIMENTO

2.1. Estratégia de Pesquisa

Esta revisão sistemática foi baseada nas diretrizes do modelo PRISMA, Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (Liberati *et al.*, 2009). Os artigos selecionados para esta revisão foram pesquisados no Portal de Periódicos da CAPES.

As palavras-chave utilizadas na busca foram “non-destructive testing”, “ensaios não destrutivos”, “concrete”, “concreto”, “inspection”, “inspeção” combinadas com o booleano “AND” seguidas do booleano “NOT” para as palavras “mortar”, “argamassa”, “grout”, “compressive”.

2.2. Critérios de inclusão

Foram incluídos artigos em português e inglês, revisados por pares, sendo que para os artigos em português foram considerados os publicados nos 5 últimos anos e para os artigos em inglês foram considerados apenas os publicados nos 2 últimos anos, devido ao grande número de artigos encontrados quando a busca era ampliada para os últimos 5 anos.

2.3. Critérios de exclusão

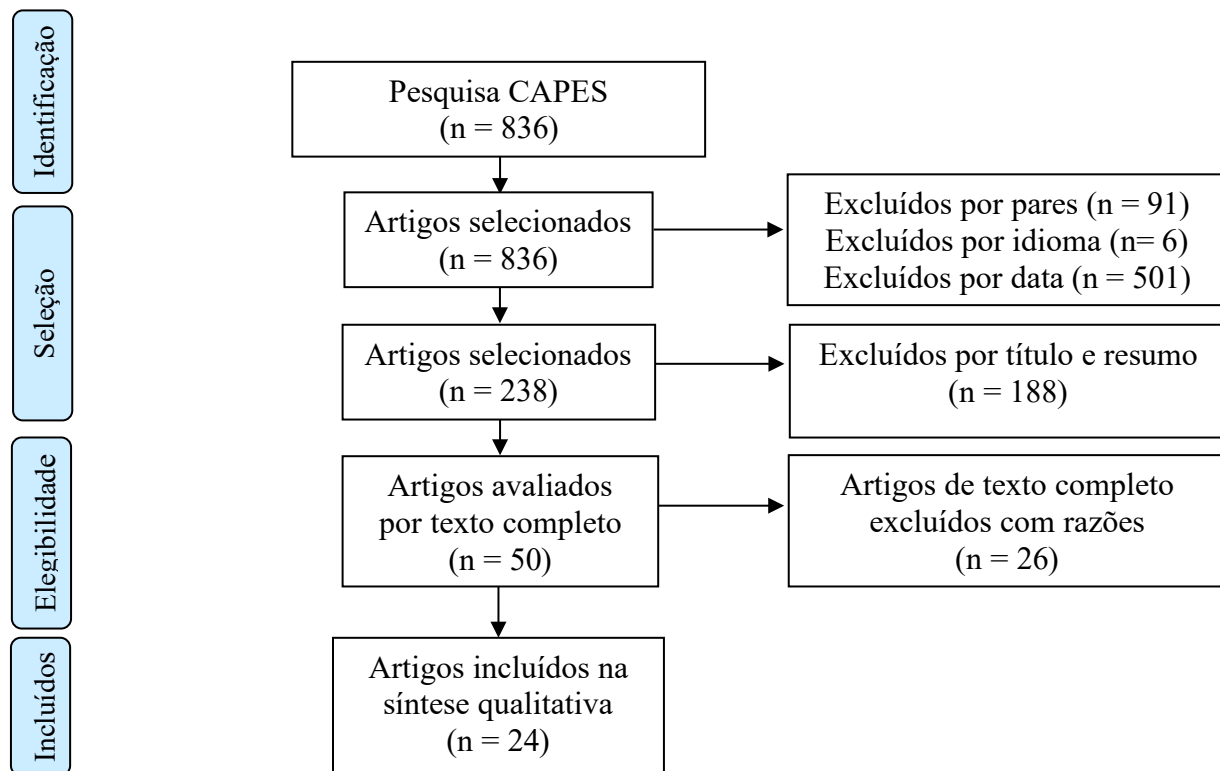
Para os artigos em inglês foram excluídos os publicados em periódicos cujo qualis era inferior a A2, artigos repetidos para ambos os idiomas e que estavam inseridos em periódicos que não abordavam os ensaios não destrutivos em concreto dentro da engenharia civil.

2.4. Seleção dos estudos

Os artigos que restaram depois de aplicados os critérios já descritos, foram analisados com base nos títulos e resumos. Posteriormente, os artigos selecionados foram lidos por completo e selecionados de acordo com sua relevância dentro do tema proposto.

3. RESULTADOS

Utilizando a estratégia PRISMA de pesquisa, foram encontrados inicialmente 836 artigos e destes, 745 foram revisados por pares. Depois da aplicação dos critérios de inclusão, idioma inglês e português, publicados nos 2 últimos anos para os artigos em inglês e 5 últimos anos para os artigos em português, restaram 238 artigos. Posteriormente, os 238 artigos foram analisados por título e resumo, onde foram excluídos os artigos que não abordavam os ensaios não destrutivos dentro da engenharia civil, restando 50 artigos. Em seguida, os artigos foram avaliados por completo, analisando sua relevância dentro do tema proposto, o que resultou na exclusão de 26 artigos, ficando com um total final de 24 artigos para esta revisão bibliográfica, conforme ilustrado no Fluxograma 1, que contém todo o processo de seleção.



Fluxograma 1. Processo de seleção dos artigos

Fonte: Elaborado pelos autores

A Tabela 1 apresenta um resumo de pontos importantes dos trabalhos selecionados, sendo eles: autor, ano, país, ensaio utilizado e defeito detectado. O estudo reuniu diferentes ensaios não destrutivos realizados em 11 países para detectar danos ou características do concreto e/ou armadura. Dessa forma, a revisão se propõe a apresentar os resultados obtidos por ensaios utilizados para cada tipo de manifestação patológica, bem como, discutir seus principais resultados e contribuições.

Tabela 1. Tabela resumo dos artigos selecionados

Nº	Autor	Ano	País	Ensaio(s)	Defeito detectado
1	Sun <i>et al.</i>	2018	China	Excitação eletromagnética aberta	Danos na armadura
2	Balamonica <i>et al.</i>	2020	Índia	Sensor piezoelétrico	Danos no concreto e medição de deformações
3	Song Popovics ^e	2019	EUA	Onda ultrassônica	Fissuras próximas à superfície do concreto
4	Tran <i>et al.</i>	2018	Coréia do Sul	Termografia pulsada	Delaminações com relação à largura-profundidade
5	Lorenzi <i>et al.</i>	2016	Brasil	Velocidade de pulso ultrassônico; Termografia Infravermelha; Tomografia Ultrassônica	Falhas de concretagem, fissuras, heterogeneidades
6	Teng <i>et al.</i>	2019	Suíça	Teoria e aplicação de microondas, com sensor (permissividade)	Teor de umidade e deterioração em concreto
7	Zhou <i>et al.</i>	2018	China	Radar de penetração no solo (GPR) e métodos de indução eletromagnética (EMI)	Diâmetro do vergalhão e a espessura do cobrimento com precisão por uma única varredura
8	Ullah, Jeong e Lee	2018	Suíça	Aplicação de sensor e a utilização de um aplicativo	Avaliar integridade de barras.
9	Ye <i>et al.</i>	2018	Japão	Interpretação de dados sonoros com utilização de martelo e microfone	Avaliação de estruturas de concreto
10	Louhi Kasahara <i>et al.</i>	2020	Japão	Martelamento e informações visuais. ^e	Delaminações e vazios
11	Chakraborty <i>et al.</i>	2019	Polônia	Sensores ultrassônicos	Fissuras
12	Fujino e Siringoringo ^e	2020	Japão	Indução eletromagnética de baixa frequência	Avaliação geral das condições de estruturas
13	La Malfa Ribolla <i>et al.</i>	2018	Itália	Sensores ultrassônicos	Danos concretos reforçados com fibras
14	Słonski <i>et al.</i>	2020	Polônia	Tomografia ultrassônica (UT) e Rede neural convolucional (CNNs)	Detecção automática de falhas em elementos de concreto
15	Rucka <i>et al.</i>	2020	Polônia	Teste Ultrassônico (UT) e Radar de penetração no solo (GPR)	Detecção de lacunas de ar
16	Zhang <i>et al.</i>	2018	França	Sensores ultrassônicos	Fissuras
Nº	Autor	Ano	País	Ensaio(s)	Defeito detectado

17	Hashimoto <i>et al.</i>	2020	Japão	3D SIBIE - Imagens de pilha de amplitudes espectrais com base no eco de impacto	Detecção de fissuras e vazios no concreto.
18	Sofi <i>et al.</i>	2019	Austrália	Medição de cobrimento e disposição de armadura (Profometer); Ensaio de permeabilidade ao ar (Torrent); Resistividade elétrica (Resipod); Potencial eletroquímico (Canin+)	Avaliação geral das condições de estruturas de concreto
19	Vashpanov <i>et al.</i>	2019	República da Coreia	8-bit RGB (red, green and blue) imagem	Determinação de parâmetros geométricos de fissuras em concreto
20	Wu <i>et al.</i>	2018	China	Termografia infravermelha	Detecção de danos de impacto de uma viga de PVA-ECC
21	Pan <i>et al.</i>	2018	China	Novo método baseado em um sistema de detecção de temperatura distribuída	Detecção de defeitos em pontes tubulares de aço preenchidas com concreto (CFST)
22	Huh <i>et al.</i>	2018	Coreia do Sul	Termografia de Pulso Longo (LPT)	Efeito da profundidade, tempo de aquecimento e vergalhões sobre a capacidade de detecção de delaminação
23	Dorafshan <i>et al.</i>	2018	USA	Detectores de borda comuns e redes neurais convolucionais profundas (DCNN)	Detecção de fissuras
24	Takamine <i>et al.</i>	2018	Japão	Emissão acústica (AE)	Rachaduras em pontes

Fonte: Elaborada pelos autores

4. DISCUSSÃO

Os estudos foram classificados em função das manifestações patológicas abordadas, de forma que, dos 24 artigos selecionados, 5 artigos abordavam sobre cobrimento e/ou corrosão, 10 sobre fissuras e 9 sobre integridade estrutural.

4.1. Cobrimento de armaduras

A Tabela 2 apresenta os autores, países, ensaios executados e resultados encontrados dos artigos que discutiram sobre cobrimento de armaduras.

Tabela 2. Tabela resumo dos artigos com abordagem sobre cobrimento de armaduras

Autor (ano)	Ensaio utilizado	Resultados
Huh <i>et al.</i> (2018)	Termografia de Pulso Longo (LPT)	Varição de dissipação de temperatura com impactos de cobrimento que aumentam em função do espaço dissipado.
Tran <i>et al.</i> (2018)	Termografia de Pulso Longo (LPT)	Difusividade térmica de 1,076 cm ² / min
Sofi <i>et al.</i> (2019)	Medição de cobrimento e disposição de armadura (Profometer) e ensaio de permeabilidade ao ar (método Torrent)	Os resultados mostraram que o cobrimento de concreto, pode ser medido com uma precisão de cerca de ± 1 mm.
Zhou <i>et al.</i> (2018)	Radar de penetração no solo (GPR) e métodos de indução eletromagnética (EMI)	Conclui-se que o sensor duplo GPR-EMI desenvolvido e o algoritmo proposto podem estimar o diâmetro do vergalhão e a espessura do cobrimento com precisão por uma única varredura.
Fujino e Siringoringo (2020)	Indução eletromagnética de baixa frequência	A precisão do sistema eletromagnético comercial para encontrar a profundidade da barra pode não ser adequado.

Fonte: Elaborada pelos autores

A termografia infravermelha tem sido um dos ensaios não destrutivos mais utilizados, devido à facilidade de se obter o resultado e pela sua metodologia executiva. De acordo com o critério da Relação Sinal Ruído (RSR), utilizado por Huh, J. *et al.* (2018) é possível identificar a espessura do cobrimento com 7 cm em estruturas de concreto, entretanto, à medida que os cobrimentos aumentam, a eficácia do RSR reduz consideravelmente.

A limitação de alcance de acordo com a profundidade também foi apresentada por Tran *et al.* (2018), que determinou coeficientes de proporcionalidade entre tamanho e profundidade, chamado de relação largura-profundidade. Os autores analisaram o aumento da temperatura e os impactos de difusão gerados pelo experimento, concluindo que a delaminação, para uma relação largura-profundidade igual ou superior a 1,25, pode ser detectada usando uma câmera infravermelha de longo comprimento de onda adequada.

Sofi, M. *et al.* (2019), com o objetivo de detectar o cobrimento do concreto, utilizando a medição de cobrimento e disposição de armadura (Profometer) e ensaio de permeabilidade ao ar (método Torrent), mostraram que a corrosão aumenta a permeabilidade do ar e, conseqüentemente, reduz a qualidade da cobertura de concreto.

Zhou *et al.* (2018) utilizaram de forma integrada os ensaios de radar de penetração no solo (GPR) e método de indução eletromagnética (EMI), como métodos simultâneos de estimativa do diâmetro do vergalhão e espessura do cobrimento. Um experimento de laboratório apresentou erro máximo de estimativa para a espessura do cobrimento de 6,7%. Um ensaio de campo foi realizado em um edifício recém-construído e apresentou erro de estimativa da espessura de cobrimento inferior a 5%. O estudo conclui que o sensor duplo GPR-EMI desenvolvido e o algoritmo proposto podem estimar o diâmetro do vergalhão e a espessura do cobrimento com precisão por uma única varredura.

Fujino e Siringoringo (2020) relataram um método que utiliza indução eletromagnética de baixa frequência, por meio do qual os resultados mostraram que a precisão do sistema eletromagnético comercial para encontrar a profundidade da barra pode não ser adequado.

4.2. Corrosão

A Tabela 3 apresenta os autores, países, ensaios executados e resultados encontrados dos artigos que discutiram sobre corrosão de armaduras.

Tabela 3. Tabela resumo dos artigos com abordagem sobre corrosão

Autor (ano)	Ensaio utilizado	Resultados
Sofi <i>et al.</i> (2019)	Ensaio de permeabilidade ao ar (método Torrent); Resistividade elétrica (Resipod); Potencial eletroquímico (Canin+)	O estudo comprovou que uma determinada quantidade de NaCl diminui a permeabilidade do ar no concreto, porém aumenta a corrosão. A introdução de cinzas volantes apresentou como resultado a redução da taxa de corrosão, mas com pequeno efeito benéfico.
Fujino e Siringoringo (2020)	Indução eletromagnética de baixa frequência; espectroscopia de perda de energia de elétrons; medições magnéticas altamente sensíveis	A precisão do sistema eletromagnético comercial para encontrar a profundidade da barra pode não ser adequado. Concluiu-se que o aço de cromo tem resistência à corrosão significativamente maior do que aço de carbono em concreto. Os resultados mostraram a capacidade de medir mudanças de espessura e verificar a presença de corrosão.

Fonte: Elaborada pelos autores

Sofi *et al.* (2019), com o objetivo de detectar a corrosão em elementos de concreto, utilizaram medições de potencial de meia célula com Canin +, para o mapeamento do estado de corrosão dos vergalhões, e medição de resistividade elétrica com Resipop, para obter a taxa de corrosão.

Os resultados mostraram que o acréscimo de uma pequena quantidade de NaCl aumentou a durabilidade do concreto, pois diminuiu a permeabilidade do ar em relação ao cobrimento, porém aumentou a corrosão. Além disso, a introdução de cinzas volantes parece ter resultado na redução da taxa de corrosão, entretanto o efeito benéfico foi pequeno.

Fujino e Siringoringo (2020) apresentaram três maneiras diferentes de avaliar corrosão. A primeira utilizou a indução eletromagnética de baixa frequência e seus resultados mostraram que a precisão do sistema eletromagnético comercial para encontrar a profundidade da barra pode não ser adequado, o que torna difícil o uso para avaliação de redução do diâmetro do vergalhão de aço devido à corrosão. A segunda utilizou espectroscopia de perda de energia de elétrons, com o objetivo de encontrar relação entre a alta resistência à corrosão e a formação de ferrugem para o rolamento aço de cromo em comparação com o aço carbono em concreto exposto ao ambiente costeiro. Nesta análise, foi possível concluir que o aço de cromo tem resistência à corrosão significativamente maior do que aço de carbono em concreto. O terceiro método, teste de corrente de frequência extremamente baixa para avaliação de defeitos mais profundos e extensos na infraestrutura do aço, apresentou resultados que mostraram a capacidade de medir mudanças de espessura e verificar a presença de corrosão.

4.3. Fissuras

A Tabela 4 apresenta os autores, países, ensaios executados e resultados encontrados dos artigos que discutiram sobre fissuras.

Tabela 4 .Tabela resumo dos artigos com abordagem sobre fissuras

Autor (ano)	Ensaio utilizado	Resultados
Song e Popovics (2019)	Onda ultrassônica	Variação de ondas ultrassônicas em regiões fissuradas. Fator F - K de caracterização de tipo de dano definido. Localização onde o dano foi gerado.
Chakraborty et al. (2019)	Onda ultrassônica	Detecção eficiente de microfissuras com avanço de propagação e aumento.
Zhang et al. (2018)	Onda ultrassônica	A alta sensibilidade do Locadiff permite a caracterização de trincas com solicitações muito limitadas.
La Malfa Ribolla et al. (2018)	Onda ultrassônica	Resultados eficientes sobre desempenho de colagem de reforço de fibra de carbono em estrutura de concreto, através de sensibilidade de sensor.
Pan et al. (2018)	Método baseado em um sistema de detecção de temperatura distribuída	Variação térmica encontrada de acordo com vazios entre interface da estrutura de estudo.
Hashimoto et al. (2020)	Emissão acústica (EA)	Estimaram e exibiram danos internos e informações geométricas dos materiais que constituem as camadas de concreto, como pavimento asfáltico e revestimento reforçado com fibra.
Takamine et al (2018)	Emissão acústica (EA)	Diagnóstico de fissuras <i>in loco</i> e padronização da caracterização em laboratório.
Dorafshan et al. (2018)	DCNN e detecção de bordas através de imagens	Detecção dificuldades de padronização pelo método DCNN e precisão favorável para o método de detecção de bordas.
Vashpanov et al. (2019)	DCNN e detecção de bordas através de imagens	Detecção de fissuras com imagens, porém com limitações. A precisão dos parâmetros estimados obtidos com a distribuição não pode ser ultrapassada $\pm 10\%$ para a largura e $\pm 15\%$ para a profundidade no ambiente de laboratório.
Sun et al. (2018)	Simulações tridimensionais de elementos finitos e experimentos comparando o efeito de magnetização	A técnica eletromagnética aberta tem um efeito de magnetização semelhante e uma boa capacidade de detecção de defeitos em comparação com as bobinas tubulares tradicionais. Uma nova técnica MFL SHM elétrica para vergalhões de concreto usando bobinas eletromagnéticas abertas como magnetizadores.
Fujino e Siringoringo (2020)	Algoritmo em sistema montado em veículo em movimento. Método de previsão de falhas usando a simulação de tempo de vida e dados de inspeção do local.	Esse sistema foi capaz de identificar as fissuras e suas dimensões. O método de assimilação proposto reproduz as rachaduras internas mais prováveis sobre o volume de domínios de análise com sucesso.

Fonte: Elaborada pelos autores

A propagação de ondas para identificação de fissuras foi utilizada por Song e Popovics (2019), onde com o auxílio de um aparelho ultrassônico foi possível detectar os danos induzidos através da propagação de ondas nessas fissuras, gerando amplitude de reprodução das ondas com as

fendas oriundas dos danos. Os autores reforçaram que os danos gerados artificialmente diferem dos danos causados nas estruturas naturalmente, variando de acordo com diversos fatores, como a morfologia do dano, conectividade geométrica e dimensões.

Segundo Chakraborty *et al.* (2019), os sensores ultrassônicos de técnica difusa obtiveram resultados mais sensíveis detectados internamente e o recurso de detecção mostrou-se eficiente também para a localização da fissura gerada. Ainda segundo os autores, a amplitude pico a pico e o indicador do coeficiente tiveram um destaque na análise, pois ambos evoluem continuamente e seguem bem as três fases que descrevem os mecanismos de falha: o início das microfissuras, a propagação das rachaduras e a falha final.

Sobre a sensibilidade mencionada por Chakraborty *et al.* (2019), esta foi mensurada por Zhang *et al.* (2018) que, simulando uma mudança de pressão menor que 1 kPa, detectou mudanças estruturais (microdeformações) nas fissuras, possíveis de visualizar através dos ultrassons difusos.

Como método de avaliação La Malfa, Ribolla *et al.* (2018) buscaram analisar o desempenho de colagem do reforço de fibra de carbono em estruturas de concreto. A análise foi modelada numericamente usando um código comercial de elementos finitos e validada experimentalmente por meio de testes de amostras de concreto reforçadas com tiras de CFRP (Compósitos Reforçados com Fibras de Carbono). Os autores utilizaram também sensores ultrassônicos para desenvolver o estudo, apresentando uma metodologia mais eficiente e sensível do que as convencionais, pico a pico e RMS (Raiz do valor quadrático médio).

O estudo de Pan *et al.* (2018) foi realizado em estruturas tubulares preenchidas de concreto, utilizadas para construção de pontes e viadutos, chamadas pontes arcos, onde a principal preocupação foi a interface entre os materiais (o aço e o concreto preenchido). Os autores apresentaram os resultados experimentais utilizando a variação de temperatura para mapear possíveis alterações de espaçamento entre os elementos. No caso dos vazios maiores, a temperatura se dissipava com maior variação entre elas. Para um único modelo, a temperatura da altura máxima do vazio foi a mais alta, a taxa de aumento foi a mais rápida e a taxa de resfriamento foi a mais lenta (Pan *et al.* 2018).

A variação de temperatura para o modelo com diferentes formas de vazio, apresentou que quanto maior o vazio, maior a temperatura, pois, devido a existência do vazio, o calor absorvido pela superfície superior é transferido lentamente para a área do vazio e então acumulado (Pan *et al.* 2018).

Takamine *et al.* (2018) realizaram ensaios com sistema de monitoramento de emissão acústica (EA) com sensores piezoelétricos. O estudo foi desenvolvido *in loco* em estruturas de pontes com uma metodologia baseada em ondas elásticas geradas pelo fraturamento do material e captada por estes sensores.

Eco de impacto é um método acústico de avaliação de estruturas de concreto, no qual se baseia no uso de ondas elásticas geradas por impacto que se propagam através do concreto e são prospectadas por falhas internas ou superfícies externas. Vazios no concreto, delaminações, rachaduras e localização de falhas também podem ser identificadas com o método. (HASHIMOTO *et al.* 2020).

Hashimoto *et al.* (2020), desenvolveu uma melhoria para o procedimento SIBIE (imagem de pilha de amplitudes espectrais com base no eco de impacto), de forma que neste estudo, as etapas de medição e computação foram estendidas para o modelo tridimensional (3D), usando uma unidade de matriz multisensor (acelerômetro) para medição no local, onde o processo de cálculo permitiu estimar e exibir os danos internos e informações geométricas dos materiais que constituem as camadas de concreto, como pavimentos asfálticos e revestimentos reforçados com fibra.

A detecção de fissuras em estruturas de concreto também pode ser identificada por outras metodologias, além da emissão de ondas ultrassônicas e eco impacto, como no caso de Dorafshan *et al.* (2018) e Vashpanovet *al.* (2019) que determinaram a inspeção por detecção de bordas e DCNN (Redes neurais convolucionais profundas), algoritmos para detecção de fissuras em concreto com base em imagens.

Entretanto, de acordo com Dorafshan *et al.* (2018), a padronização de algoritmos para determinadas imagens nos conjuntos de dados estudados reduz a precisão em casos de variações de cada situação, como em condições de baixa iluminação, câmeras com resolução inferior, e presença de sombras.

Os autores ainda realizaram um comparativo entre as DCNN e o método de detecção de bordas, destacando que os esquemas de detecção de borda obtiveram resultados razoavelmente positivos. Com melhor desempenho, o método detectou com precisão cerca de 79% dos pixels fissurados e obteve excelentes resultados na detecção de rachaduras maiores que 0,1 mm.

De acordo com Fujino e Siringoringo (2020) dois métodos são usados para detectar fissuras. O primeiro método utiliza um algoritmo em um sistema que foi montado em um veículo em movimento. Esse sistema foi capaz de identificar as fissuras em duas dimensões. O segundo é um método de previsão de falhas usando a simulação de tempo de vida acoplada com dados de inspeção do local. O método de assimilação proposto reproduz as rachaduras internas mais prováveis sobre o volume de domínios de análise com sucesso.

4.4. Integridade estrutural

A Tabela 5 apresenta os autores, países, ensaios executados e resultados encontrados dos artigos que discutiram sobre integridade estrutural.

Tabela 5 .Tabela resumo dos artigos com abordagem sobre integridade estrutural

Autor (ano)	Ensaio utilizado	Resultados
Fujino e Siringoringo (2020)	Veículo de inspeção com sistema de mapeamento, sistema de detecção com laser remoto de alta velocidade, entre outros.	O veículo de inspeção equipado com sistema de mapeamento, sistema de detecção com laser remoto e o TLS apresentaram resultados positivos.
Balamonica <i>et al.</i> (2020)	Investigação experimental com unidades de sensor de titanato de zirconato de chumbo inteligentes	O método é promissor para diminuir o volume de dados coletados dos sensores para identificar danos em uma estrutura.
Lorenzi <i>et al.</i> (2016)	Velocidade de pulso ultrassônico (VPU); Termografia Infravermelha; Tomografia Ultrassônica para avaliar resistência/ densidade	O emprego de ensaios não destrutivos permite obter indicações importantes para a caracterização do concreto e dados sobre a estrutura.
Teng <i>et al.</i> (2019)	Antena inteligente (sensor eletromagnético)	O sensor é capaz de detectar o teor de umidade de forma não destrutiva.
Ye <i>et al.</i> (2018)	Interpretação de dados sonoros com utilização de martelo (computadorizado) e microfone e algoritmos de máquina avançada	Os resultados demonstraram que o esquema proposto obteve uma avaliação de precisão favorável com alta eficiência e baixa carga de computação.
Louhi Kasahara <i>et al.</i> (2020)	Martelamento e informações visuais	A consistência da qualidade da supervisão fraca foi aumentada, resultando em um aumento geral no desempenho.
Słonski <i>et al.</i> (2020)	Tomografia ultrassônica (UT) e Rede neural convolucional (CNNs).	A metodologia obteve resultados e confirmam que podem ser úteis para detectar

Autor (ano)	Ensaio utilizado	Resultados
	São realizadas varreduras mostrando a parte interna do membro de concreto investigado.	automaticamente falhas em elementos de concreto com altíssima precisão.
Rucka <i>et al.</i> l.(2020)	Teste Ultrassônico (UT) e Radar de penetração no solo (GPR)	A inspeção integrada dos dois ensaios pareceu ser eficaz para diagnósticos estruturais subterrâneas em edifícios de patrimônio cultural.
Wu <i>et al.</i> (2018)	Termografia Infravermelha	O método proposto é inovador e abordagem é eficaz para detectar danos de impacto.
Ullah, Jeong e Lee <i>et al.</i> (2018)	Aplicação de sensor e a utilização de um aplicativo, com o uso de algoritmo de redução de dimensionalidade de mapeamento de característica isométrica e florestas aleatórias.	O método proposto pôde verificar barras quebradas ou não de acordo com os dados reais do sensor e foi capaz de prever 97% de sinais corretos entre e sinais de crack em dados de sensor não classificados.

Fonte: Elaborada pelos autores

Fujino e Siringoringo (2020) apresentaram um artigo com vários métodos para diagnóstico das estruturas, tais como: veículo de inspeção equipado com um sistema de mapeamento que detecta defeitos internos no revestimento de concreto e apresentou resultados encorajadores de aplicações de campo; sistema de detecção com laser remoto de alta velocidade, com base no método de martelamento que foi desenvolvido para detectar defeitos na parede de concreto de um túnel ferroviário que apresentou resultados idênticos aos medidos com método de martelagem; a digitalização a laser para obter medições 3D confiáveis de estruturas em grande escala e os resultados mostraram que o sistema de reconhecimento automático pode reconhecer com sucesso duas formas de membros de aço.

Os autores também apresentaram a metodologia do Terrestrial Laser Scanning (TLS) para levantamento utilizando um método de registro de nuvens de pontos de pontes escaneadas a laser que apresentou taxas de sucesso do bruto e o registro foi de 100% e dois métodos com veículos aéreos não tripulados (UAV). O primeiro, composto por UAV com concha esférica de rotação passiva, permitiu uma visão aérea completa sob a ponte, tornando possível capturar partes críticas da ponte onde os danos ocorrem com frequência. O segundo (multicóptero de duas rodas com tecnologia de modelagem tridimensional), que demonstra a utilização de UAV para inspeção de pontes, permitiu verificar condições da ponte, possíveis danos e defeitos.

Já Balamonica *et al.* (2020) apresentaram um método para detectar danos estruturais utilizando técnicas não tripuladas de monitoramento de integridade estrutural e sensores feitos de materiais de titanato de zirconato de chumbo. Foi comprovado que o método é promissor para diminuir o volume de dados coletados dos sensores para identificar danos em uma estrutura.

O artigo apresentado por Lorenzi *et al.* (2016) evidenciou como poderiam ser empregados os ensaios não destrutivos para controle de estruturas através de 4 estudos de caso e concluíram que os ensaios não destrutivos são ferramentas úteis para a análise de estruturas, visto que os dados obtidos permitem obter indicações importantes para a caracterização do concreto, bem como dados sobre a homogeneidade e a qualidade da estrutura.

Teng *et al.* (2019) apresentaram uma técnica de detecção usando uma antena (sensor) inteligente para a avaliação não destrutiva do teor de umidade e inspeção de deterioração em blocos de concreto. O sensor é capaz de detectar o teor de umidade de forma não destrutiva e pode ser uma técnica potencial para manutenção e controle de qualidade do desempenho do edifício.

No artigo desenvolvido por Ye *et al.* (2018) o objetivo foi construir um sistema de análise de resposta à marteladas no concreto usando aprendizado de máquina online, que é capaz de imitar habilidade de especialista humano em martelar investigação de resposta em estruturas de concreto. Os resultados demonstraram que o esquema proposto obteve uma avaliação de precisão favorável com alta eficiência e baixa carga de computação.

Segundo Louhi Kasahara *et al.* (2020), uma abordagem ativa fracamente supervisionada e reforçada por informação visual para a inspeção de estruturas de concreto usando métodos acústicos foi utilizada para detecção de defeitos em estruturas de concreto. Experiências em condições de laboratório, utilizando blocos de teste de concreto com defeitos provocados de delaminações e vazios, e em condições de campo, utilizando túnel simulado e módulo de martelamento automatizado foi realizado. A consistência da qualidade da supervisão fraca foi aumentada, resultando em um aumento geral no desempenho.

Já os autores Słonski *et al.* (2020), utilizaram tomografia ultrassônica e uma rede neural convolucional para automatizar a avaliação de defeitos e falhas em elementos de concreto. A metodologia apresentada obteve resultados que confirmam que podem ser úteis para detectar automaticamente falhas em elementos de concreto com altíssima precisão.

Rucka *et al.* (2020) revelaram no artigo a detecção de lacunas de ar subterrâneas e outras anomalias como paredes de tijolos, canos, entulho e restos humanos, localizado sob os ladrilhos de pedra e as lápides, utilizando modelos de laboratório ilustrando o comportamento das ondas eletromagnéticas e ultrassônicas com teste ultrassônico integrado e do radar de penetração no solo. Os métodos se complementaram, permitindo a exclusão de suas limitações. A inspeção integrada das duas técnicas pareceram eficazes para diagnósticos não destrutivos.

No artigo desenvolvido por Wu *et al.* (2018) foi utilizada termografia infravermelha para detectar danos de impacto em uma estrutura de viga feita de um compósito cimentício reforçado com fibra de álcool polivinílico (PVA-ECC). Por meio de investigação experimental, os resultados demonstraram que diferentes graus de dano correspondem a diferentes características térmicas infravermelhas.

Já os autores Ullah, Jeong e Lee (2018) desenvolveram um aplicativo que classifica os sinais de campo magnético de vários canais, conforme medido a partir dos postes de concreto armado para monitoramento da integridade estrutural com o uso de algoritmo de redução de dimensionalidade de mapeamento de característica isométrica (ISOMAP) e florestas aleatórias. O aplicativo pôde perceber se as barras estavam quebradas ou não e foi capaz de prever 97% de sinais corretos entre e sinais de crack em dados de sensor não classificados.

5. MANUTENÇÃO

A ausência da realização de manutenções preventivas é um dos fatores capazes de afetar o processo de deterioração de estruturas de concreto armado. Por isso, é importante ressaltar a necessidade da execução de um programa de manutenção que contemple inspeções periódicas ao sistema estrutural, possibilitando a avaliação do estado de conservação da estrutura.

As técnicas de ensaios não destrutivos (END) se apresentam como uma alternativa eficiente para tais inspeções, visto que, por não alterarem as características da estrutura, podem ser realizadas durante a fase de uso das edificações. Assim, é possível que os problemas sejam detectados ainda no estágio inicial, evitando que as manifestações patológicas evoluam, aumentem os danos, os riscos e os custos da manutenção ou reparo.

Os artigos analisados apresentaram diversas metodologias de END capazes de coletar dados com qualidade e auxiliar na avaliação do estado de conservação das estruturas. Sabe-se que o programa de manutenção deve considerar as características e condições de exposição para cada

tipo de estrutura de concreto, entretanto, com base nos resultados dos artigos analisados, sugere-se um programa de manutenção genérico, disposto na Tabela 6, como contribuição ao tema.

Tabela 6. Sugestão de programa de manutenção preventiva para estruturas de concreto armado

Atividade	Ensaio não destrutivo sugerido	Periodicidade	Responsável
Verificação e mapeamento de fissuras, trincas ou rachaduras	Onda ultrassônica; Emissão acústica; Detecção de bordas e Redes neurais convolucionais profundas	A cada 1 ano	Profissional habilitado com experiência em patologia das estruturas de concreto. Deve ser elaborado um relatório técnico com emissão de ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) do serviço.
Verificação de manchas superficiais	Termografia infravermelha		
Verificação da presença de corrosão das armaduras	Radar de penetração no solo e Métodos de Indução eletromagnética		
Verificar a integridade estrutural	Tomografia ultrassônica e Rede neural convolucional		

Fonte: Elaborada pelos autores

6. CONCLUSÃO

Com base nos artigos analisados, mediante uma revisão sistemática, foi possível observar que diversas tecnologias têm sido aplicadas em ensaios não destrutivos de estruturas de concreto armado, resultando na formulação de novos métodos avaliativos, capazes de aumentar o grau de precisão e eficiência quando comparados às metodologias tradicionais.

Os estudos abordaram métodos com resultados satisfatórios e grande potencial de detecção de danos, como a termografia infravermelha, os sensores ultrassônicos e a emissão acústica. Alguns conceitos inovadores foram utilizados, como as Redes Neurais Convolucionais Profundas (DCNN), que possibilitam a detecção de danos por meio de algoritmos e processamento de imagens.

Também foi possível observar contribuições quanto às limitações dos métodos, como no caso da precisão da Indução Eletromagnética de Baixa Frequência e da relação largura-profundidade da Termografia de Pulso Longo (LPT). Alguns ensaios foram realizados em estágios iniciais de investigação e apresentaram resultados promissores, como os sensores de materiais de titanato de zirconato de chumbo.

Além dos resultados individuais dos ensaios, alguns estudos apresentaram experimentos com a integração de dois ou mais métodos, como a associação entre a Tomografia Ultrassônica com a Rede neural convolucional (DCNN) e a integração entre o Radar de Penetração no Solo (GPR) com o método de indução eletromagnética (EMI) e com o Teste Ultrassônico (UT). Neste último caso, os métodos se complementaram, permitindo inclusive a exclusão de suas limitações.

Conclui-se que, a aplicação de novas tecnologias nos ensaios não destrutivos, tem desenvolvido o aprimoramento das inspeções em estruturas de concreto. Sugere-se que estudos futuros sejam direcionados a aperfeiçoar e incrementar as metodologias abordadas, a fim de obter resultados com nível ainda maior de precisão e qualidade, contribuindo para as análises do estado de conservação das estruturas e seus diagnósticos.

7. REFERÊNCIAS

- BARRETO *et al.* Principais manifestações patológicas encontradas em edifícios históricos. JUNIOR, B.B.; RABBANI, E.R.; ZLATAR, T. [Orgs.]. *Aplicações do método PRISMA para revisão sistemática da literatura na Engenharia Civil*. Recife: EDUPE, p. 73, 2019. 252p.
- CHAKRABORTY, J.; KATUNIN, A.; KLIKOWICZ, P.; SALAMAK, M. Early Crack Detection of Reinforced Concrete Structure Using Embedded Sensors. *Sensors*, v.19, 3879, 2019.
- CHO, Y. S. Non-destructive Testing of High Strength Concrete using Spectral Analysis of Surface Waves. *NDT&E International*. [s.l.], n. 36, p. 229-235, 2003.
- DORAFSHAN, S.; THOMAS, R. J.; MAGUIRE, M. Comparison of deep convolutional neural networks and edge detectors for image-based crack detection in concrete. *Construction and Building Materials*, v. 186, p.1031–1045, 2018.
- FUJINO, Y.; SIRINGORINGO, D. Recent research and development programs for infrastructures maintenance, renovation and management in Japan. *Structure and Infrastructure Engineering*, v.16, p. 3-25, 2020.
- HASHIMOTO, K.; SHIOTANI, T.; OHTSU, M. Application of Impact-Echo Method to 3D SIBIE Procedure for Damage Detection in Concrete. *Applied Sciences*, v. 10, 2729, 2020.
- HUH, J.; MAC, V.H.; TRAN, Q.H.; LEE, K.-Y.; LEE, J.-I.; KANG, C. Detectability of Delamination in Concrete Structure Using Active Infrared Thermography in Terms of Signal-to-Noise Ratio. *Applied. Sciences*, v. 8, 1986, 2018.
- JUNIOR, B.B.; RABBANI, E.R.; ZLATAR, T. [Orgs.]. *Aplicações do método PRISMA para revisão sistemática da literatura na Engenharia Civil*. Recife: EDUPE, p. 73, 2019. 252p.
- K, B. *et al.* Piezoelectric sensor-based damage progression in concrete through serial/parallel multi-sensing technique', *Structural Health Monitoring*, v. 19, p. 339–356, 2020.
- LIBERATI, A. *et al.* The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Journal of clinical epidemiology*, v. 62, n. 10, p. e1-e34, 2009.
- LORENZI, A *et al.* Emprego de Ensaio Não Destrutivos para Inspeção de Estruturas de Concreto. *Revista de Engenharia Civil IMED*, v. 3, n. 1, p. 3–13, 2016.
- LOUHI KASAHARA, J.Y.; YAMASHITA, A.; ASAMA, H. Acoustic Inspection of Concrete Structures Using Active Weak Supervision and Visual Information. *Sensors*, v. 20, 629, 2020.
- MAPA DA OBRA. *Métodos não destrutivos auxiliam na identificação de manifestações patológicas em estruturas de concreto*. 2016. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/veja-como-funciona-ensaio-de-esclerometria/>. Acesso em: 24 ago. 2020.
- PAN, S.; ZHU, Y.; LI, D.; MAO, J. Interface Separation Detection of Concrete-Filled Steel Tube Using a Distributed Temperature Measuring System. *Applied. Sciences*, v. 8, 1653, 2018.
- RIBOLLA, E.L.M.; HAJIDEHI.M.R; RIZZO, P; SCIMEMI, G.F.; SPADA, A.; GIAMBANCO, G. Ultrasonic inspection for the detection of debonding in CFRP-reinforced concrete. *Structure and Infrastructure Engineering*, v.14, p. 807–816, 2017.

- RUCKA, M.; WOJTCZAK, E.; ZIELINSKA, M. Integrated Application of GPR and Ultrasonic Testing in the Diagnostics of a Historical Floor. *Materials*, v. 13, 2547, 2020.
- SGS (2018). *Ensaio Não destrutivo. O que é preciso saber? Uma discussão inicial sobre os ensaios não destrutivos e suas aplicações diretas*. 2018. Disponível em: <https://www.sgsgrup.com.br>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- SLONSKI, M.; SCHABOWICZ, K.; KRAWCZYK, E. Detection of Flaws in Concrete Using Ultrasonic Tomography and Convolutional Neural Networks. *Materials*, v. 13, p. 1 - 16, 2020.
- SOFI, M., OKTAVIANUS, Y., LUMANTARNA, E., RAJABIFARD, A., DUFFIELD, C., ; MEDIS, P. (2019). Condition assessment of concrete by hybrid non-destructive tests. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. v 9, p.339-351, 2019
- SONG, H.; POPOVICS, J.S. Contactless Ultrasonic Wavefield Imaging to Visualize Near-Surface Damage in Concrete Elements. *Applied. Sciences*, v. 9, 3005, 2019.
- SUN, Y. *et al.* Magnetic flux leakage structural health monitoring of concrete rebar using an open electromagnetic excitation technique, *Structural Health Monitoring*, v. 17, p. 121–134, 2018
- TAKAMINE, H.; WATABE, K.; MIYATA, H.; ASAUE, H.; NISHIDA, T.; SHIOTANI, T. Efficient damage inspection of deteriorated RC bridge deck with rain-induced elastic wave. *Construction and Building Materials*, v.162, p. 908–913, 2018
- TENG, K.H.; KOT, P.; MURADOV, M.; SHAW, A.; HASHIM, K.; GKANTOU, M.; AL-SHAMMA'A, A. Embedded Smart Antenna for Non-Destructive Testing and Evaluation (NDT&E) of Moisture Content and Deterioration in Concrete. *Sensors*, v. 19, 547, 2019.
- TRAN, Q. H.; HUH, J.; KANG, C.; LEE, B. Y.; KIM, I.-T.; AHN, J.-H. Detectability of Subsurface Defects with Different Width-to-Depth Ratios in Concrete Structures Using Pulsed Thermography. *Journal of Nondestructive Evaluation*, v. 37, 2018.
- ULLAH, S.; JEONG, M.; LEE, W. Nondestructive Inspection of Reinforced Concrete Utility Poles with ISOMAP and Random Forest. *Sensors*, v.18, 3463, 2018.
- VASHPANOV, Y.; SON, J-Y; HEO, G.; PODOUSOVA, T.; KIM, Y.S. Determination of Geometric Parameters of Cracks in Concrete by Image Processing. *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019, p.1-14, 2019.
- WU, J.; XU, C.; QI, B.; HERNANDEZ, F.C.R. Detection of Impact Damage on PVA-ECC Beam Using Infrared Thermography. *Applied Sciences*, v. 8, 839, 2018.
- YE, J.; KOBAYASHI, T.; IWATA, M.; TSUDA, H.; MURAKAWA, M. Computerized Hammer Sounding Interpretation for Concrete Assessment with Online Machine Learning. *Sensors*, v.18, 833, 2018.
- ZHANG, Y.; LAROSE, E.; MOREAU, L.; D'OZOUVILLE, G. Three-dimensional in-situ imaging of cracks in concrete using diffuse ultrasound. *Structural Health Monitoring*, v. 17, p. 279–284, 2017.
- ZHOU, F.; CHEN, Z.; LIU, H.; CUI, J.; SPENSER, B.F.; FANG, G. Simultaneous Estimation of Rebar Diameter and Cover Thickness by a GPR-EMI Dual Sensor. *Sensors*, v.18, 2969, 2018.

VERIFICAÇÃO DO EMPREGO DE ENDURECEDORES DE SUPERFÍCIE COMO ALTERNATIVA PARA RECUPERAÇÃO DE FACHADA COM SUPERFÍCIE PULVERULENTA

Francisco Gabriel Santos. Silva¹, Marcus. Mendes^{2*}, Vinícius Almeida. Coelho³, A. R. A. OMORE⁴

*Autor de Contacto: marcus.mendes@ifg.edu.br

¹ Prof. Adjunto do Departamento de Construção Civil e Estruturas, Escola Politécnica da UFBA, Salvador, Brasil

² Prof. do NUCCTEC, Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Brasil

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da UFBA, Salvador, Brasil

⁴ Graduado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da UFBA, Salvador, Brasil

RESUMO

O sistema de revestimento é definido como um conjunto de subsistemas responsável por conferir funções como proteger à alvenaria, regularizar às superfícies, manter estanque e prezar por uma adequada estética as vedações. A ocorrência dessas manifestações patológicas de pulverulência nos revestimentos compromete o desempenho do sistema de revestimento, assim reduzindo a sua vida útil e capacidade de receber novas camadas e provocar manifestações patológicas de deslocamento cerâmico ou empolamento de pintura. Para tanto, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência do endurecedor de superfície em fachada com pulverulência de superfície de um condomínio situado na cidade de Salvador-BA, na qual foi utilizado um produto comercial, realizando ensaio de resistência de aderência superficial antes e depois da aplicação. Os resultados mostraram que o endurecedor de superfície utilizado melhorou substancialmente as características mecânicas da superfície do emboço, eliminando a pulverulência superficial.

Palavras chave: Fachada; Manifestações patológicas; Endurecedor de superfície.

ABSTRACT

Facades, as the most external elements of a building, are characterized as the construction system most exposed to adverse conditions and aggressive agents, therefore, the most susceptible to the action of harmful phenomena. The present study sought to analyze the pathological manifestations acting in a façade system with a stone coating finish in a building in the city of Salvador – BA. After identifying the affected regions and diagnosing the possible causes of the pathologies, alternative treatment options were proposed to correct the problems, including the fixation of the ornamental rocks with stainless steel screws. The results observed highlight the importance of preventive maintenance to guarantee the performance of coatings, with the absence of maintenance for 37 years being the main cause of the identified problems.

Keywords: Maintenance; facades; stone coating; recovery.

RESUMEN

El sistema de revestimiento se define como un conjunto de subsistemas encargados de brindar funciones como proteger la mampostería, alisar las superficies, mantenerla estanca y dotar a las vallas de una estética adecuada. La ocurrencia de estas manifestaciones patológicas en los recubrimientos compromete el desempeño del sistema de recubrimiento, reduciendo así su vida útil. Por tanto, existen metodologías consolidadas que abordan la comprensión del problema de la degradación de los revestimientos de fachadas, por ejemplo. Así como existen metodologías para cuantificar la degradación y estimar la vida útil. Para ello, el presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia del endurecedor superficial en fachadas de un condominio ubicado en la ciudad de Salvador-BA / Brasil. Finalmente, se constató que esta medida correctiva resultó ser eficaz.

Palabras llave: Fachada; Manifestaciones patológicas; Endurecedor de superficies.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de revestimento é definido como um conjunto de subsistemas responsável por conferir funções como proteger à alvenaria, regularizar às superfícies, manter estanque e prezar por uma adequada estética as vedações. Essas funções dependem de uma eficiente aderência argamassa-substrato, da qualidade dos materiais empregados e de ajustes conforme às características de projeto do edifício. Estes requisitos não atendidos, podem propiciar o surgimento de manifestações patológicas no sistema de revestimento, tais como, descolamento de cerâmica, deslocamento de cerâmica, fissuração, eflorescência, pulverulência, descascamento da pintura e falha de vedação. A ocorrência dessas manifestações patológicas nos revestimentos compromete o desempenho do sistema de revestimento, assim reduzindo a sua vida útil. Para tanto, Silva (2014) afirma que é necessário efetuar estudos e conhecer bem o comportamento de diversas variantes que condicionam o surgimento e a evolução das manifestações patológicas, por exemplo em fachadas de edifícios, a fim de propor medidas de prevenção e de correção dos danos que as comprometem.

Paes e Carasek (2007) alertam para a necessidade do entendimento das causas e mecanismos dos eventuais fenômenos patológicos atuantes em virtude, principalmente, das diferentes características dos materiais utilizados e das condições de exposição. Isto requer suficiente conhecimento científico e tecnológico do conjunto, fazendo-se necessários estudos e pesquisas em torno desses fenômenos. Nesse sentido, há pesquisas realizadas que auxiliam no entendimento da problemática da degradação em fachadas com emprego de metodologias (Flores-Colen e Brito, 2010; Gaspar e Brito, 2008). Há também pesquisas que buscam estabelecer métodos de quantificação da degradação e estimativa da vida útil (Gaspar e Brito, 2008; Silva, A et al, 2014; Souza, 2019).

Com base nas pesquisas e metodologias citadas acima, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência do endurecedor de superfície em fachadas de um condomínio situado na cidade de Salvador-BA/ Brasil. Além disso, diagnosticar a situação real do sistema do sistema emboço/reboco, da camada de regularização já feita e da pintura, a fim de se avaliar a necessidade da remoção de toda a tinta ou a manutenção da primeira camada de pintura, removendo as demais.

2. METODOLOGIA

2.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo trata-se de uma edificação que está localizada em um condomínio na cidade de Salvador – BA/Brasil, constituída de duas torres (A e B) de 12 pavimentos, as quais possuem fachadas com revestimento misto de acabamento cerâmico e pintura. A seguir, estão descritas

informações de laudos técnicos, em ordem cronológica, de inspeções realizadas nas fachadas deste edifício anteriormente ao presente estudo. Essas informações foram importantes para o desenvolvimento do atual trabalho.

O primeiro laudo, emitido por uma empresa especializada, relata que foi identificado a ocorrência de fissuração e deslocamento de pastilhas na fachada. Identificou-se a presença de arenoso na constituição do reboco, bem como foi constatado em ensaios de resistência de aderência à tração resultados médios de 0,19MPa para a Torre A e 0,24Mpa para a Torre B com formas de rupturas predominantemente dos tipos C e D.

O segundo laudo, emitido pela por uma segunda empresa especializada, consta que foram realizados um estudo de som cavo e um ensaio de resistência de aderência à tração em desconformidade com a NBR 13749 no que tange à quantidade de corpos de prova (adotou-se dois cp's por pavimento e a média aritmética dos seus resultados, enquanto a norma exige 12 corpos de prova). Constatou-se som cavos e espessuras de até 70mm do sistema emboço/reboco sem estruturação. Como conclusão foi recomendado a execução de juntas de movimentação e dessolidarização, estruturação no fundo de vigas com resina epoxídica e argamassa tixotrópica, recuperação de fissuras com massa acrílica e estruturação da pintura com tela de poliéster.

Por fim, constam relatórios de ensaios de aderência na fachada Norte realizados pelo Centro Tecnológico da Argamassa (CETA/UFBA) na fachada norte, nos quais foram obtidos resultados de aderência médios de 0,18MPa (com ruptura predominante tipo E (interface emboço/argamassa de regularização), 0,24MPa (com ruptura predominante tipo E (interface emboço/argamassa de regularização) e 0,22MPa (com ruptura predominante tipo E (interface emboço/argamassa de regularização), respectivamente. Observa-se que os resultados não atenderam as recomendações da NBR 13749.

2.2 Procedimento de investigação e análise

Após a análise de toda a documentação técnica produzida e de inspeções in loco, é importante ressaltar que foi identificado a presença do arenoso na constituição do sistema emboço/reboco, que provocou pulverulência e fissuração no revestimento, evidenciando que não foi realizado um estudo de dosagem adequado do revestimento. Foram encontradas espessuras acima do recomendado por norma (30mm) sem a devida estruturação solicitada pela NBR 7200, além disso, o valor dos ensaios de resistência de aderência à tração foram abaixo do especificado pela NBR 13749 (8 corpos de prova com valores acima de 0,30MPa) e com ruptura predominantemente tipo E (interior do reboco).

Ainda que pese o fato de a aderência estar abaixo do valor normativo, isso não é motivo suficiente para a condenação do sistema de revestimento, pois os mecanismos de aderência do sistema estão envolvidos por outros fatores intervenientes, tais como, aderência superficial, módulo de elasticidade e coesão do sistema.

Diante disso, decidiu-se estudar diferentes cenários para se avaliar o melhor mecanismo de tratamento do sistema emboço/reboco, a fim de propor a recuperação da fachada de forma a atender aos critérios técnicos e econômicos;

- a) Cenário 1: Resistencia de aderência superficial na camada de revestimento do sistema emboço/reboco sem tratamento no Playground da Torre A;
- b) Cenário 2: Resistencia de aderência superficial na camada de revestimento do sistema emboço/reboco com tratamento feito utilizando Endurecedor de superfície (com duas demãos) no Playground da Torre A;
- c) Cenário 3: Resistencia de aderência superficial na camada de regularização do revestimento do sistema emboço/reboco feita pela construtora;

- d) Cenário 4: Resistência de aderência superficial na primeira camada de pintura do sistema emboço/reboco sem tratamento.

Cabe destacar, que a norma NBR 13755 exige a amostragem de 12 corpos de prova (CP's) a cada 2000m², devendo ser aprovado os resultados que apresentem mínimo de 8 CP's acima de 0,50MPa, e devendo consultar o projetista de a resistência ficar entre 0,3 e 0,5MPa para os 8 CP's.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Cenário 1: Resistência de aderência superficial na camada de revestimento do sistema emboço/reboco sem tratamento no Playground da Torre A.

Os resultados apresentaram uma resistência média de 0,46MPa, com 06 CP's entre 0,3MPa e 0,5MPa e 05 CP's com valores acima de 0,5MPa, conforme se observa na Tabela 1. O formato de ruptura foi 100% tipo B (superfície do reboco com partes da argamassa arrancadas), conforme se verifica na Figura 1. Esses valores não apresentam um desvio de resultados que comprometessem o sistema de revestimento, mas o fato de haver presença de arenoso e muita pulverulência, não é recomendado a manutenção dessa camada de revestimento sem o devido tratamento superficial.

Tabela 1. Resistência de aderência superficial na camada de revestimento do sistema emboço/reboco sem tratamento no Playground da Torre A

CP	Diâmetro (mm)	Area da seção (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistência de aderência superficial (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
					a	b	c	d
01	50,0	1964	1150	0,58	-	100	-	-
02	50,0	1964	1100	0,56	-	100	-	-
03	50,0	1964	650	0,33	-	100	-	-
04	50,0	1964	550	0,28	-	100	-	-
05	50,0	1964	950	0,48	-	100	-	-
06	50,0	1964	1200	0,61	-	100	-	-
07	50,0	1964	850	0,43	-	100	-	-
08	50,0	1964	650	0,33	-	100	-	-
09	50,0	1964	1000	0,51	-	100	-	-
10	50,0	1964	1100	0,56	-	100	-	-
11	50,0	1964	900	0,46	-	100	-	-
12	50,0	1964	850	0,43	-	100	-	-

Forma de Ruptura:

- a) Ruptura no interior do reboco.
- b) Ruptura da superfície do reboco, onde partes da argamassa são arrancadas;
- c) Ruptura na interface cola/substrata, quando apenas poucos grãos são arrancados;
- d) Ruptura na interface pastilha metálica/cola.

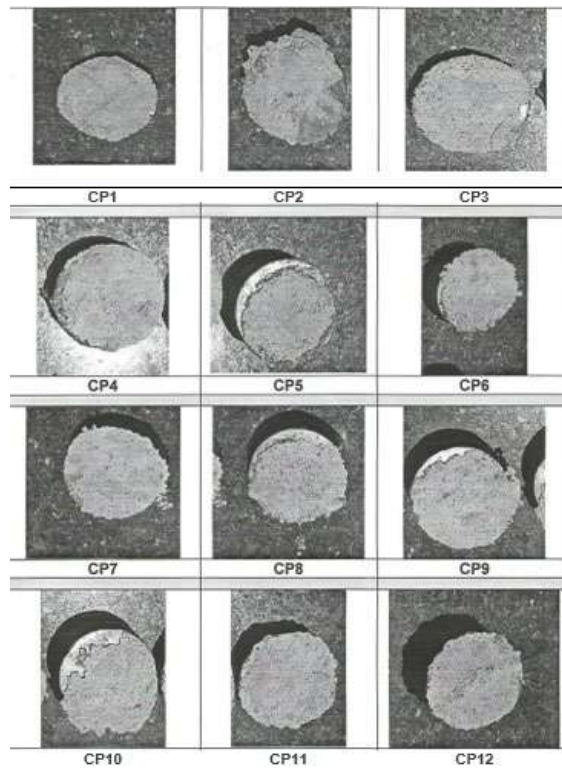


Figura 1. Formato de ruptura dos CP's do cenário 1.

b) Cenário 2: Resistência de aderência superficial na camada de revestimento do sistema emboço/reboco com tratamento feito utilizando Endurecedor de superfície (com duas demãos) no Playground da Torre A.

Os resultados apresentaram uma resistência média de 1,41MPa, com todos os CP's com valores acima de 0,5MPa, conforme se observa na Tabela 2. O formato de ruptura foi 100% tipo A (interior do reboco) conforme se observa na Figura 2. Isso significa, que a utilização do tratamento superficial do sistema emboço/reboco com o endurecedor de superfície se mostrou eficiente.

Tabela 2. Resistência de aderência superficial na camada de revestimento do sistema emboço/reboco com tratamento feito utilizando endurecedor de superfície (com duas demãos).

CP	Diâmetro (mm)	Área da seção (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistência de aderência superficial (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
					a	b	c	d
01	50,0	1964	2450	1,25	100	-	-	-
02	50,0	1964	2000	1,02	100	-	-	-
03	50,0	1964	2650	1,34	100	-	-	-
04	50,0	1964	4200	2,14	100	-	-	-
05	50,0	1964	3000	1,53	100	-	-	-
06	50,0	1964	2450	1,25	100	-	-	-
07	50,0	1964	3200	1,63	100	-	-	-
08	50,0	1964	2100	1,07	100	-	-	-
09	50,0	1964	2800	1,43	100	-	-	-
10	50,0	1964	2650	1,35	100	-	-	-
11	50,0	1964	2850	1,45	100	-	-	-
12	50,0	1964	2800	1,43	100	-	-	-

Forma de Ruptura:

- a) Ruptura no interior do reboco.
- b) Ruptura da superfície do reboco, onde partes da argamassa são arrancadas;
- c) Ruptura na interface cola/substrata, quando apenas poucos grãos são arrancados;
- d) Ruptura na interface pastilha metálica/cola.

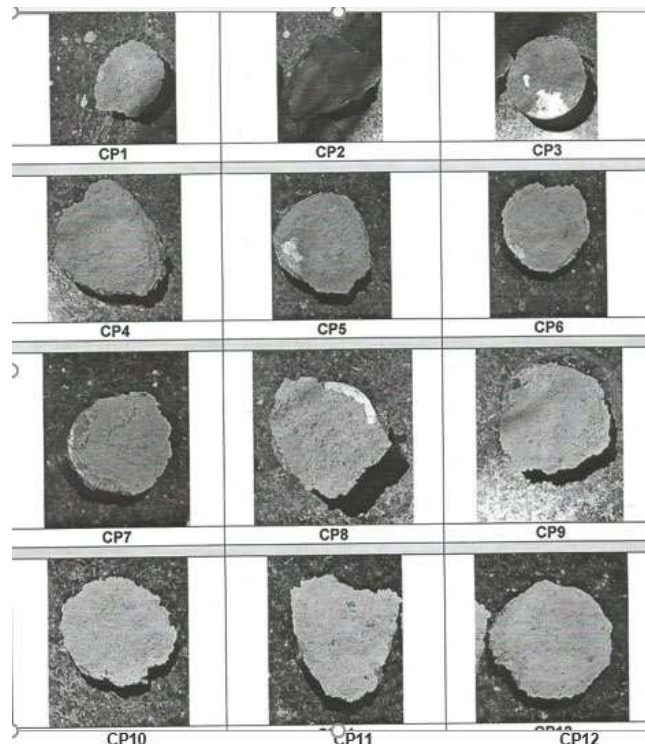


Figura 2. Formato de ruptura dos CP's do cenário 2.

c) Cenário 3: Resistência de aderência superficial na camada de regularização do revestimento do sistema emboço/reboco feita pela construtora

Os resultados apresentaram uma resistência média de 0,29MPa, com 06 CP's entre 0,3MPa e 0,5MPa e ao demais CP's com valores abaixo de 0,3Mpa, conforme se observa na Tabela 3. O

formato de ruptura foram tipos A, B e C (argamassa de regularização/reboco, interior da argamassa de reboco e interior da argamassa de regularização), conforme se observa na Figura 3. Isso significa, que a aplicação da camada de regularização sem o devido tratamento de superficial no sistema emboço/reboco não atendeu aos critérios normativos, devendo toda a camada realizada ser removida para a realização de tratamento de superfície com endurecedor.

Tabela 3. Resistência de aderência superficial na camada de regularização do revestimento do sistema emboço/reboco feita

CP	Diâmetro (mm)	Área da seção (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistência de aderência superficial (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
					a	b	c	d
01	50,0	1964	400	0,20	20	80	-	-
02	50,0	1964	650	0,33	60	40	-	-
03	50,0	1964	600	0,31	70	30	-	-
04	50,0	1964	650	0,33	-	60	40	-
05	50,0	1964	800	0,41	5	-	95	-
06	50,0	1964	550	0,28	5	-	95	-
07	50,0	1964	600	0,31	30	-	70	-
08	50,0	1964	800	0,41	-	70	30	-
09	50,0	1964	450	0,23	-	60	30	-
10	50,0	1964	500	0,25	65	-	35	-
11	50,0	1964	550	0,28	-	10	90	-
12	50,0	1964	350	0,18	45	55	-	-

Forma de Ruptura:

- a) Ruptura no interior do reboco.
- b) Ruptura da superfície do reboco, onde partes da argamassa são arrancadas;
- c) Ruptura na interface cola/substrata, quando apenas poucos grãos são arrancados;
- d) Ruptura na interface pastilha metálica/cola.

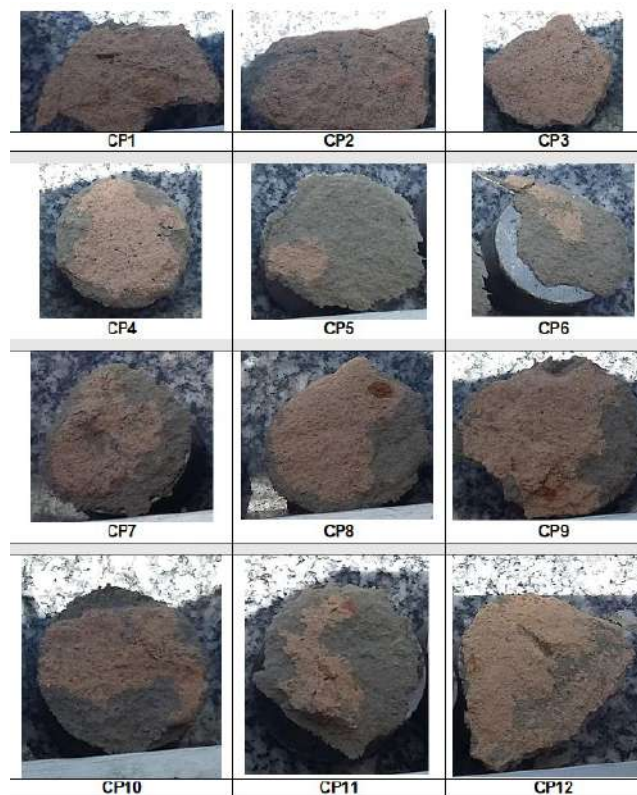


Figura 3. Formato de ruptura dos CP's do cenário 3.

d) Cenário 4: Resistência de aderência superficial na primeira camada de pintura do sistema emboço/reboco sem tratamento

Os resultados apresentaram uma resistência média de 0,60MPa, com 04 CP's entre 0,3MPa e 0,5MPa e os demais CP's com valores acima de 0,5Mpa, conforme se observa na Tabela 4. O formato de ruptura foram tipos A e B (argamassa de regularização/reboco, interface massa corrida/reboco) conforme se observa na Figura 4. Esses resultados mostram que a primeira camada de pintura está bem aderida à superfície do sistema emboço/reboco, se tornando além de uma camada aglomerante, protetora diante das possíveis fissuras existentes no fundo e não aparentes na superfície, pois a sua elasticidade permite uma movimentação da fissura sem prejuízos na camada de tinta.

Tabela 4. Resistência de aderência superficial na primeira camada de pintura do sistema emboço/reboco sem tratamento

CP	Diâmetro (mm)	Área da seção (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistencia de aderência superficial (MPa)	Forma de Ruptura (%)			
					a	b	c	d
01	50,0	1964	850	0,43	100	-	-	-
02	50,0	1964	750	0,38	100	-	-	-
03	50,0	1964	1250	0,64	30	70	-	-
04	50,0	1964	1100	0,56	70	30	-	-
05	50,0	1964	800	0,41	100	-	-	-
06	50,0	1964	1350	0,68	100	-	-	-
07	50,0	1964	950	0,48	-	100	-	-
08	50,0	1964	2000	1,02	-	100	-	-
09	50,0	1964	1400	0,71	30	70	-	-
10	50,0	1964	1050	0,53	100	-	-	-
11	50,0	1964	1200	0,61	30	70	-	-
12	50,0	1964	1550	0,79	40	70	-	-

Forma de Ruptura:

- a) Ruptura no interior do reboco.
- b) Ruptura da superfície do reboco, onde partes da argamassa são arrancadas;
- c) Ruptura na interface cola/substrata, quando apenas poucos grãos são arrancados;
- d) Ruptura na interface pastilha metálica/cola.

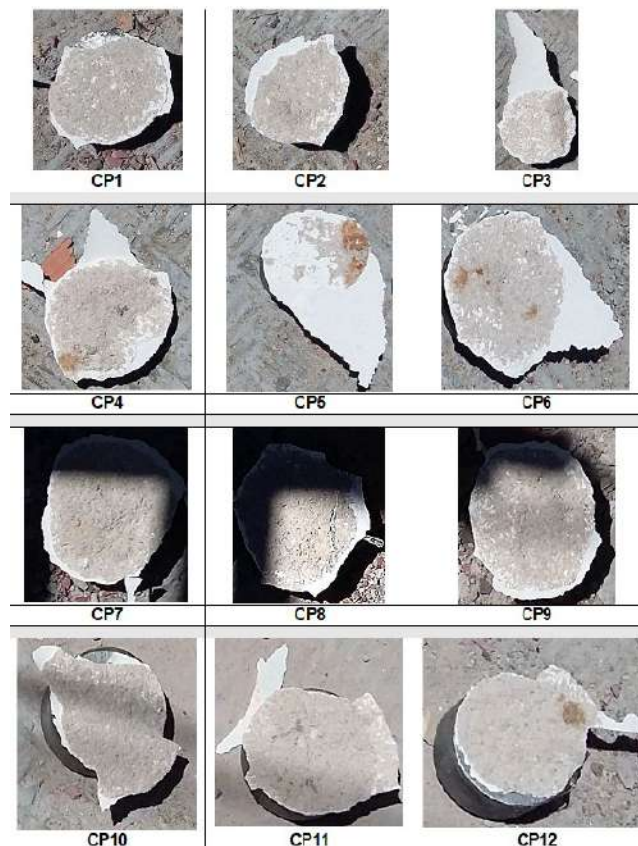


Figura 4. Formato de ruptura dos CP's do cenário 4.

4. CONCLUSÃO

Diante das análises dos documentos técnicos produzidos anteriormente e dos resultados obtidos na presente pesquisa, pode-se destacar as seguintes conclusões:

- A utilização do tratamento superficial do sistema emboço/reboco com o endurecedor de superfície se mostrou eficiente.
- Recomenda-se a manutenção da primeira camada de pintura, removendo todas as camadas posteriores, além da realização do tratamento de fissura nos locais identificados;
- Recomenda-se a remoção de toda a camada de regularização realizada, pois a mesma se mostrou ineficiente na avaliação do ensaio de aderência superficial;
- Recomenda-se a aplicação do endurecedor de superfície em toda a área da fachada a ser pastilhada, inclusive nas juntas, seguindo as recomendações do fabricante quanto ao número de demãos e intervalo entre as mesmas. Salienta-se que todas as esquadrias devem ser protegidas dos respingos do produto que não tem remoção fácil.

5. REFERENCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019). *NBR 13528-1: Revestimentos de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas- Determinação da Resistência de Aderência à Tração-Requisitos Gerais*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). *NBR 7200: Execução de Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Procedimento*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). *NBR 13755: Revestimentos Cerâmicos de Fachadas e Paredes Externas com Utilização de Argamassa Colante*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 13749: Revestimentos de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Especificação*. Rio de Janeiro.

Carasek, H. “*Patologia das argamassas de revestimento. Materiais de Construção e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*”. IBRACON, São Paulo, v. 1, 2007, p. 1-11.

Gaspar, P.; Brito, J (2008). Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: a comparison between different degradation indicators. *Building and Environment*, v. 43, n. 11, p. 1818-28.

Silva, M. N. B. (2014). “*Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF*”. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-006A/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 198 p.

Silva, A; Gaspar, P. L.; Brito, J. “*Stochastic, deterministic, statistical and artificial intelligence based models to predict the service life of rendered facades*”, XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components, XIII DBMC, São Paulo, Brasil, 2014.

Souza, J. S. (2019). “*Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios*”. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DT-15A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139 p.

Flores-Colen, I.; Brito, J (2010). “A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies”. *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 9, p. 1718-1729. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.017>

Principias Manifestações Patológicas Identificadas em Edifícios de Paredes de Concreto na Região Metropolitana de Goiânia

Carlos Henrique. Azeredo¹, Marcus. Mendes^{1*}, Matilde. Melo¹, Wesley. Menezes¹,

*Autor de Contacto: marcus.mendes@ifg.edu.br

¹ NUCCTEC, Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Goiás

RESUMO

O sistema construtivo de paredes de concreto foi empregado pela primeira vez no Brasil em 1979, mas normatizado no ano de 2012, a norma NBR 16055:2012. Este sistema tem sido utilizado em construção de unidades habitacionais de interesse social por propiciar, principalmente, maior produtividade de execução em relação aos sistemas construtivos mais usuais. Diante disso, o presente trabalho vistoriou 144 apartamentos em edifícios executados em paredes de concreto na região metropolitana de Goiânia, a fim de identificar as manifestações patológicas mais recorrentes nesse sistema, por meio o método proposto por Lichtenstein. Na análise dos resultados, constatou-se que a maioria das manifestações patológicas tem origem por falha construtiva ou de execução, sendo a fissuração a patologia com maior incidência.

Palavras chave: Paredes de concreto; Manifestações patológicas; Diagnóstico; Inspeção.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Miranda (2011), o Brasil, no século XX, possuía um déficit habitacional de 5,5 milhões de moradias. Diante deste panorama, o Governo Federal buscou soluções para reduzir os fatores que influenciavam no aumento deste déficit, como a criação de programas de incentivo à construção de moradias. Com isso, no ano de 2009, foi criado o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) que foi viabilizado com parcerias entre a União, os Estados, os Municípios e os empreendedores, com o objetivo de facilitar o financiamento da compra de um imóvel por famílias de baixa renda. Este cenário nacional demandava a construção de moradias em larga escala, em tempo reduzido e com qualidade.

Nesse sentido, Leal (2010) relata que as construtoras precisaram buscar outros métodos construtivos, ao invés do convencional, para que fossem atendidos os requisitos exigidos pelo Programa Habitacional supracitado. As medidas, tais como padronização dos projetos com tipologias semelhantes, trabalho em escala, redução de desperdício de material e do tempo de execução de obra, foram alguns dos exemplos implantados pelas construtoras.

Como todo sistema construtivo, desde o convencional até os inovadores, o sistema de paredes de concreto também está sujeito ao surgimento de manifestações patológicas que podem ser resultantes de condutas inadequadas na concepção dos projetos, na elaboração dos projetos e na execução da obra. Isso se intensifica, principalmente, quando se trata de um sistema ainda não consolidado no país. Helene (1992) afirma que os fenômenos patológicos habitualmente apresentam manifestações externas, a partir da qual se pode deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo principal identificar as manifestações patológicas comumente recorrentes em uma obra destinada a habitação de interesse social de paredes de concreto e apresentar algumas condutas que possam mitigar essas manifestações patológicas, e, conseqüentemente, que resultem em edifícios mais duráveis e de melhor qualidade.

2. REVISÃO DA LITERATURA

As paredes de concreto foram empregadas pela primeira vez no Brasil no ano de 1979, no Estado de Minas Gerais, na Cidade de Santa Luzia, onde, segundo Sacht (2008), houve a construção de 46 casas pela Companhia de Habitação (COHAB), no Conjunto Habitacional Carreira Comprida.

Corsini (2012) afirma que, apesar do sistema construtivo de paredes de concreto moldadas no local ter sido empregado no Brasil nessa época, o seu uso era pontual e em pequena escala de produção. Entretanto, na última década, houve o surgimento de uma demanda elevada no setor da construção em grande escala de produção, com a contribuição do programa de habitação do Governo Federal, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

O processo construtivo estava sendo empregado por poucas construtoras no Brasil, em razão da utilização de seus próprios conhecimentos e procedimentos de execução limitados. No entanto, àquelas que utilizavam, precisavam da aprovação de órgão certificadores, como o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SiNAT), do Ministério das Cidades, que analisava o método construtivo e, se aprovado, concedia um Documento de Avaliação Técnica (DATec), visto que não havia normas regulamentadoras para a execução desse tipo de sistema (CORSINI, 2012).

A normatização dessa tecnologia entrou em vigor no país no ano de 2012 com a norma ABNT NBR 16055 (ABNT, 2012) que normatiza os requisitos e os procedimentos da parede de concreto moldada no local para a construção de edificações. Esta norma define as diretrizes básicas para construção das paredes de concreto moldadas no local, estabelecendo os requisitos de qualidade da

estrutura, os critérios de projeto, das propriedades dos materiais a serem utilizados, do dimensionamento e dos procedimentos para a fabricação da parede, entre demais aspectos. De acordo com Signo (201-), a publicação dessa norma sucedeu com o início da inserção do PMCMV, o que certamente ajudou na rápida implantação do sistema.

A ABCP (2008), descreve o sistema de parede de concreto como um sistema construtivo racionalizado, cuja vedações da edificação e a estrutura são formadas por um único elemento construtivo, em que nele são embutidas as instalações elétricas e hidráulicas e as esquadrias. A ABNT NBR 16055 (ABNT, 2012) também define o sistema como sendo elementos estruturais autoportantes, que são moldados no local, e possuem comprimento maior que dez vezes sua espessura e que apresenta capacidade de suportar carga no mesmo plano da parede.

O elemento construtivo parede-laje, que é formada após a concretagem e retirada das fôrmas, representa um ciclo construtivo, e o resultado, depois da desforma, fornece uma parede pronta para receber os devidos acabamentos finais de acordo com o projeto do empreendimento.

Mitidieri, Souza e Barreiros (2012) destacam que problemas que podem surgir e diminuir a eficiência do sistema construtivo, devem ser verificados e solucionados, como os desaprumos, desníveis e outros. Estes impasses, por não serem previstos, além de aumentar o custo da obra, ocasiona atraso no cronograma, desperdícios de material e mão de obra.

2.1 Componentes constituintes do sistema construtivo de paredes de concreto

A qualidade de uma obra está diretamente ligada ao conhecimento acerca dos itens que integram o sistema construtivo, assim como os materiais a serem utilizados. Por esse motivo, será abordado, a seguir, cada componente que constitui o sistema de paredes de concreto com o objetivo de possibilitar um melhor entendimento de cada etapa do processo de produção, sendo que estes componentes podem ser vistos na Figura 1.

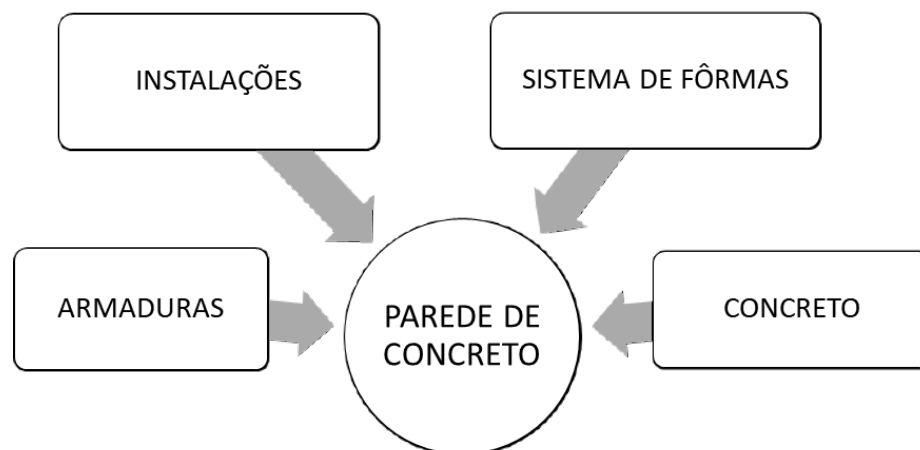


Figura 1. Componentes constituintes da parede de concreto

3.1.1 Concreto

Na Coletânea de Ativos 2011/2013 (ABCP, 2013), diz que, na visão dos especialistas, não há concreto convencional para paredes de concreto, pois há necessidade de execução de aditivos para atender aos diferentes requisitos da norma ABNT NBR 16055 (ABNT, 2015). Entre eles, cita-se a aceleração da produção por meio da redução do tempo de desforma, o que leva a aplicação da solução: uso de concretos convencionais com resistência característica a compressão (f_{ck}) acima

do necessário à utilização do edifício. Mas, apesar disso, o concreto convencional é o segundo mais utilizado pelas construtoras para produção das paredes.

O tipo de concreto mais utilizado nesse sistema é o autoadensável que, segundo Tutikian (2004), esse tipo de material contém aditivos superplastificantes, os quais conferem alta plasticidade ao concreto fresco. O uso de concretos adensáveis nesse tipo de empreendimento propicia várias vantagens, tais como: exclusão do uso de vibradores para adensamento do concreto e, conseqüentemente, inexistência dos problemas inerentes ao seu uso irregular; redução do tempo de construção e redução da mão de obra no canteiro, visto que não é necessário executar a etapa de adensamento com vibradores; melhora no acabamento final da superfície da parede e da laje; maior liberdade em adaptar formas e dimensões, devido à alta trabalhabilidade; melhoria na segurança e saúde dos operários, devido à redução da operação no adensamento do concreto por parte da mão de obra; e redução do custo final do concreto e/ou da estrutura.

Um outro aspecto importante, de acordo com a ABNT NBR 16055 (ABNT, 2012), é um requisito complementar a ser analisado durante a execução: o controle do módulo de elasticidade do concreto, o qual permite definir as quantidades de dias necessários aos escoramentos dos concretos.

3.1.2 Sistema de Fôrmas

Conforme a NBR 16055 (ABNT, 2012), o sistema de fôrmas é um conjunto de peças composto de estruturas provisórias, cuja finalidade é moldar o concreto fresco. Suas peças compreendem os painéis de fôrmas, os escoramentos, cimbramento, aprumadores e andaimes, que inclui seus apoios, além das uniões que ligam os diversos elementos.

O tipo de material da fôrma a ser escolhido para moldar o concreto armado das paredes é fundamental para potencializar os ganhos do sistema construtivo de paredes de concreto e, além disto, o uso adequado deste, propicia o reaproveitamento das fôrmas e dos materiais utilizados para a sua construção (ABNT, 2012). Segundo a ABCP (2008), existem três tipos de materiais de fôrmas mais utilizados no sistema de parede de concreto, que são as: fôrmas metálicas de aço ou alumínio, fôrmas metálicas com chapas de madeira compensada e as fôrmas plásticas.

Missureli e Massuda (2009), afirmam que a escolha do tipo de material da fôrma e o aperfeiçoamento e detalhamento do projeto de fôrmas são de extrema importância para obter viabilidade no sistema construtivo e para conseguir melhor qualidade final.

Também é necessário a aplicação de desmoldante na face interna das placas das fôrmas, precedendo a fixação do sistema de fôrmas, para facilitar a desforma sem danificar o sistema construtivo e possibilitar a reutilização da mesma. Nesse sentido, a NBR16055 (ABNT, 2012) considera que, devido à variedades de materiais de fôrmas, deve-se escolher o desmoldante específico para cada tipo de superfície, de modo que o concreto não fique aderente a fôrma e que não ocorra alteração nas características físicas e químicas deste. Além disso, o desmoldante não pode acumular resíduos na superfície da fôrma e da parede ou ser de difícil remoção ou degradar as superfícies dos painéis de montagem.

3.1.3 Armaduras

De acordo com Braguim (2013), o tipo de armadura a ser utilizado nas construções das paredes de concreto é um aspecto relevante para a viabilidade do sistema, já que uma das principais características deste é a produtividade, e, por esse motivo, deve-se usar telas soldadas simples ou telas soldadas duplas, levando em consideração o projeto estrutural. Ainda segundo o autor, para as telas soldadas simples uma única tela deve ser posicionada próximo ao eixo longitudinal da parede e para as telas soldadas duplas, duas telas devem ser utilizadas, sendo que cada uma é posicionada na face da parede, sem descumprir o cobrimento mínimo definido no projeto estrutural. Misurelli e Massuda (2009) relatam que, além da tela soldada ser posicionada no eixo vertical das paredes, nas bordas, nos vãos de portas e janelas, é necessário haver reforço de telas ou barras de

armadura convencional. Os autores ainda afirmam que é importante a colocação de espaçadores plásticos para que o posicionamento das telhas e a geometrias dos painéis não tenham alteração durante a concretagem, além de garantir o cobrimento adequado.

3.1.4 Instalações

A NBR 16055 (ABNT, 2012) relata que qualquer componente embutido na parede de concreto deve ter seu formato preservado durante a concretagem e tolerar contaminações que possam afetar a sua integridade, a do concreto ou a da armadura. Ela também evidencia algumas moderações a serem consideradas nessas instalações, como a restrição do uso de instalações de tubulações horizontais, exceto em trechos não estruturais que possuam, no máximo, um terço do comprimento da parede, não podendo ultrapassar 1 metro. Da mesma forma, a norma enfatiza que nos encontros de paredes, em nenhuma hipótese é permitido instalar tubulações verticais e horizontais.

2.2 Manifestações patológicas nas construções

Tutikian e Pacheco (2013) afirmam que, para realizar um diagnóstico apropriado de uma manifestação patológica, é preciso fazer uma coleta de dados através de uma inspeção visual, com o propósito de identificar os sintomas observados, sua localização e sua intensidade.

Carmo (2003) afirma que os problemas patológicos de uma edificação normalmente estão relacionados à queda de desempenho da estrutura, que pode ocorrer devido aos danos e vícios construtivos que surgem no decorrer do seu tempo de uso. Além disso, Melo Júnior (2016) afirma que o desempenho de uma edificação se deve ao atendimento de todos os requisitos inerentes a ele, independente dos materiais e procedimentos usados para a construção.

O desempenho, de acordo com Iantas (2010), refere-se ao comportamento de cada material em serviço, ao longo da vida útil da edificação, e a sua medida relativa esperada no resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. Ou seja, é a capacidade da estrutura da edificação em manter-se em condições íntegra de utilização durante a sua vida útil, não apresentando danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual está foi projetada.

Helene (1992) afirma que os problemas patológicos, exceto os casos singulares, podem apresentar manifestações externas com características individuais, possibilitando o entendimento de sua natureza, sua origem e os mecanismos envolvidos no fenômeno, assim como presumir as suas prováveis consequências. Ainda segundo o autor, esses sintomas, que também são intitulados como manifestações patológicas, podem ser analisados e classificados para orientar um primeiro diagnóstico, a partir de minuciosas observações visuais.

De acordo com norma de Inspeção Predial do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2012), as origens das patologias podem ser classificadas em: endógenas, as quais são originadas da própria edificação, provenientes de falhas ou irregularidades nas etapas de projeto e/ou execução, e que podem ser em função de falta de cumprimento das normas técnicas vigentes, da mão de obra desqualificada ou ainda pelo uso de materiais inadequados; exógenas, as quais são originadas por fatores externos a edificação e danos causados por terceiros; naturais, originadas por fatores relativos à fenômenos da natureza; e funcionais, originadas devido à degradação dos sistemas construtivos em função do envelhecimento natural e fim da vida útil da estrutura. Essa última pode ter como causas a exposição da estrutura ao meio agressivo em que ela está inserida, a ação humana, ou ainda a manutenção inadequada.

3. METODOLOGIA

3.1 Características do objeto de estudo

Os edifícios, objeto do estudo de caso, fazem parte de condomínios residenciais, composto por 28 blocos de quatro pavimentos tipos, com as mesmas características arquitetônicas. Nestes blocos, cada pavimento possui 4 apartamentos tipo com 35,66 m² de área construída, resultando um total de 448 m² de área de apartamentos construídos em paredes de concreto.

Entrando, desses 28 blocos, apenas 9 blocos foram selecionados para fazer parte do estudo de caso de inspeção, por serem blocos concretados em datas relativamente próximas e sem distinções significativa de equipe de trabalho e de sistemáticas diárias construtivas. Logo, foi traçado uma rota de inspeção nos 9 blocos, resultando em 144 apartamentos vistoriados.

O método de construção e as características dos materiais utilizados na obra para compor o sistema construtivo foram:

- fôrmas: utilizava-se de dois jogos de fôrma metálicas modulares, sendo que cada jogo representava um pavimento completo, ou seja, um jogo de fôrma representava quatro apartamentos mais o hall. Essas fôrmas já foram reutilizadas em outras obras da construtora e possuía uma espessura final das paredes de dez centímetros;
- armaduras: empregou-se telas soldadas de aço CA-50, com utilização de espaçadores para garantir a centralidade das mesmas;
- concreto: o concreto era usinado e apresentava um traço de fck 20, com agregado graúdo definido como brita 0 e fibra, apresentando um *slump test* de 10,0±2cm e *slump flow* de 70,0±5cm. Esse concreto era aditivado após a chegada na obra com aditivo superplastificante;
- sistemas embutidos: a obra embutia às paredes de concreto a estruturação da parte elétrica (eletrodutos e caixas elétricas), que era fixada por fixadores amarrados à armadura e espaçadores, para garantir a sua centralidade na fôrma da parede;
- concretagem: a concretagem era realizada todos os dias, de segunda a sexta-feira, com poucas exceções da não ocorrência diária de concretagem.
- ciclo de concretagem: para cada jogo de fôrma, o ciclo era de 2 dias intercalados. Para cada ciclo, eram moldados 7 corpos de prova (CPs) para serem rompidos em 14h (3 CPs), 7 dias (2 CPs) e aos 28 dias (2CPs).

3.2 Inspeções

As concretagens dos blocos iniciaram no dia 30/07/2020 e foram realizadas diversas visitas técnicas na obra, com registros das inspeções visuais a partir do mês de novembro de 2020. Dessa forma, para o levantamento dos dados, foi elaborado uma ficha de inspeção visual.

Tinoco (2009) afirma que para uma adequada elaboração do mapa de danos é importante a utilização de fichas de identificação de danos durante a inspeção visual no edifício em estudo, a fim de registrar: a identificação do local da manifestação patológica, data da vistoria, caracterização do dano, causa, origem, ilustrações (foto e/ou desenho) e responsável pela coleta de informações. O modelo de ficha utilizada nesse trabalho permitiu os registros: data da vistoria; local (bloco e apartamento); responsável pela coleta; número do registro fotográficos; registro da fotografia; descrição da manifestação patológica; possíveis causas da patologia; diagnóstico; e proposta de conduta (terapia). Dessa forma, durante as visitas técnicas, foram realizados registros fotográficos das manifestações patológicas encontradas, bem como identificação das suas possíveis causas, observações e relatos dos responsáveis técnicos da obra.

Portanto, as inspeções visuais foram realizadas nos primeiros meses após as concretagens, antes do início da fase de execução do revestimento das paredes de concreto. Dessa forma, foi possível verificar as manifestações patológicas iniciais nesse tipo de processo construtivo, sem interferências ou combinações com patologias oriundas de outros componentes construtivos.

3.3 Procedimento de coleta e análise de dados

Adotou-se uma metodologia de inspeção mais objetiva e técnica conforme proposto por Lichtenstein (1986), a qual consiste em uma metodologia genérica para a resolução das patologias nas edificações, dividida em três etapas: levantamento de subsídios, diagnóstico da situação e definição de conduta, conforme Figura 2.

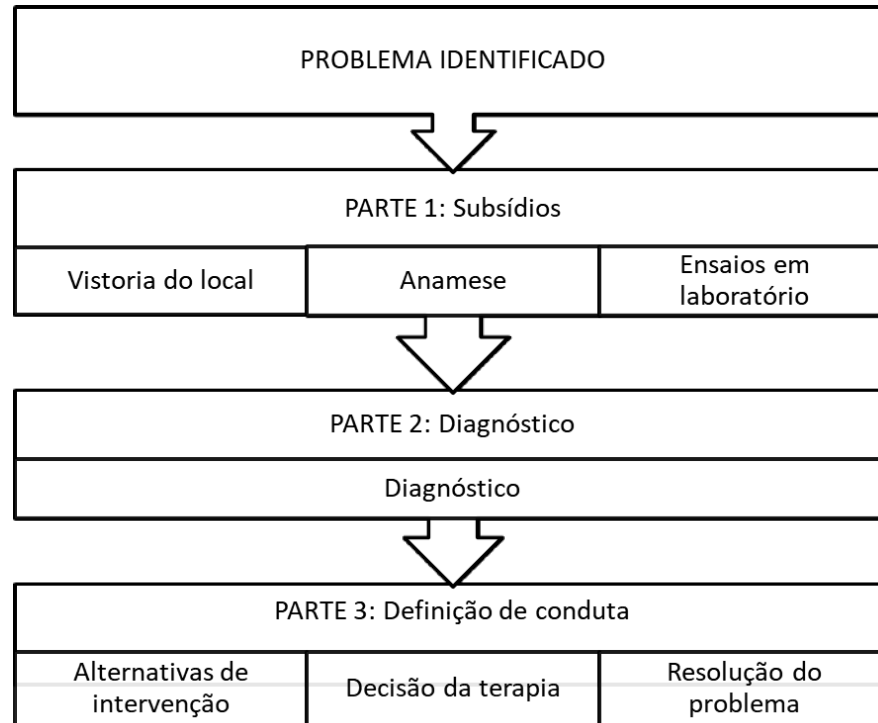


Figura 2: Fluxograma para resolução das patologias de acordo com Lichtenstein (1986)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos registros das fichas, foram levantadas as principais manifestações patológicas encontradas nas paredes de concreto e suas prováveis origens. Esse levantamento está apresentado no Quadro 1.

Verificou-se que a maioria dos problemas encontrados são relativos à execução, devido, principalmente, à mão de obra desqualificada e à ausência de fiscalização na liberação das frentes de serviço.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA		ORIGEM
Aparecimento excessivo dos agregados do concreto		Material
Falha de concretagem na parede do passa-prato		Planejamento
Falha de concretagem de paredes		Execução
Superfície do concreto mal acabada		Execução
Armaduras expostas		Execução
Falhas em decorrência de tubulações e caixas embutidas		Execução
Fissuração	Fissuração horizontal nas paredes	Material
	Fissuração em vãos de janelas e portas	Execução
	Fissurações diversas na superfície do concreto	Execução

Quanto ao quantitativo percentual das origens (Figura 3), foi realizado a relação de surgimento das 9 manifestações patológicas encontradas, onde é verificado um percentual de 67% correspondente à execução. Vale ressaltar que, conforme é visto no Quadro 1, as manifestações relacionadas à fissuração foram diferenciadas de acordo com a sua origem.

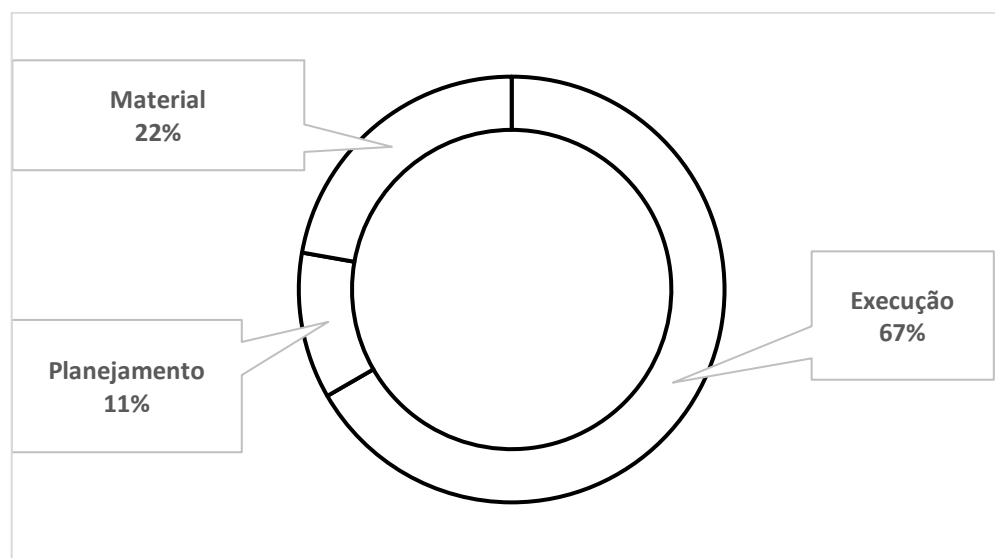


Figura 3 – Relação quantitativa das origens das manifestações patológicas

De acordo com o IBAPE (2012), pode-se classificar essa origem das manifestações como endógenas, ou seja, anomalias que provêm das falhas ou irregularidades nas etapas de projeto e execução, além da mão de obra desqualificada e pelo uso inadequado de materiais.

Em seguida, foi realizada uma análise percentual das incidências das manifestações apresentadas anteriormente, as quais estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Número de incidências de cada manifestação patológica encontrada

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA		QTDE (UND)
Aparecimento excessivo dos agregados do concreto		26
Falha de concretagem na parede do passa-prato		36
Falha de concretagem de paredes		35
Superfície do concreto mal acabada		84
Armaduras expostas		27
Falhas em decorrência de tubulações e caixas embutidas		49
Fissuração	Fissuração horizontal nas paredes	35
	Fissuração em vãos de janelas e portas	29
	Fissurações diversas na superfície do concreto	43
TOTAL		364

Observa-se, no Quadro 2, um quantitativo de 364 incidências das 9 manifestações patológicas identificadas nas 144 unidades habitacionais vistoriadas. Ainda assim, ressalta-se que todos os apartamentos inspecionados apresentaram alguma manifestação patológica.

Na Figura 4 está apresentada a incidência de cada manifestação patológica, referente à relação entre: a quantidade de ocorrências de cada tipo de patologia e o número de apartamentos vistoriados. A legenda no eixo x representa, ordenadamente, as manifestações (*):

- A – Aparecimento excessivo dos agregados do concreto;
- B – Falha de concretagem na parede do passa-prato;
- C – Falha de concretagem de paredes;
- D – Superfície do concreto mal-acabada;
- E – Armaduras expostas;
- F – Falhas em decorrência de tubulações e caixas embutidas;
- G – Fissuras no concreto.

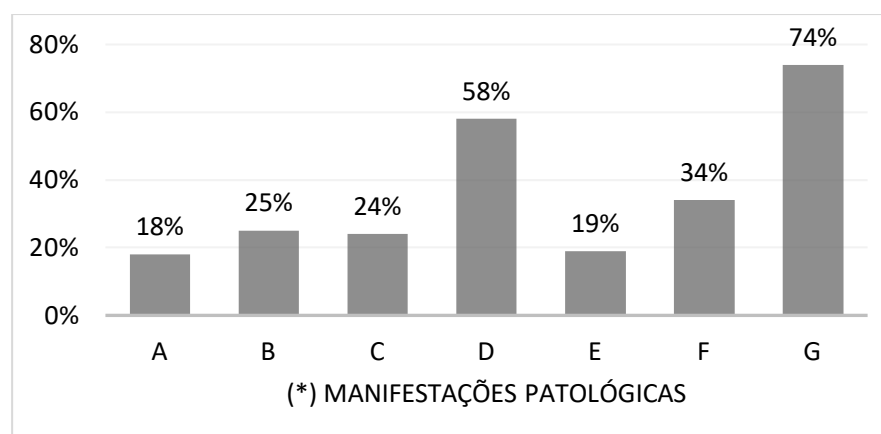


Figura 4 – Incidência (%) das manifestações patológicas nos apartamentos

Na Figura 4, verifica-se que as maiores ocorrências (acima de 50%) são referentes à superfície do concreto mal-acabadas e às fissuras no concreto. Em relação à superfície do concreto mal-acabada,

58% dos apartamentos apresentaram essa patologia, o que corrobora com a afirmação de Geyer (1995): “este dano é o mais recorrente em edifícios de paredes de concreto”. Essa patologia poderia ser mitigada com a conferência mais rígida, por parte dos responsáveis técnicos da obra, na etapa de liberação dos serviços.

O total de incidências de fissurações foi de 107, o que indica que 74% dos apartamentos possuíam algum tipo de fissuração. Em relação às fissuras, pode-se discretizar em três formas diferentes: fissuração horizontal nas paredes, fissuração em vãos de janelas e portas e fissurações diversas na superfície do concreto. Analisando isoladamente, tem-se a relação percentual conforme consta na Figura 5, cuja legenda no eixo x representa, ordenadamente, as manifestações de fissuração (*):

G1 – Fissuração horizontal nas paredes;

G2 – Fissuração em vãos de janelas e portas;

G3 – Fissurações aleatórias na superfície do concreto.

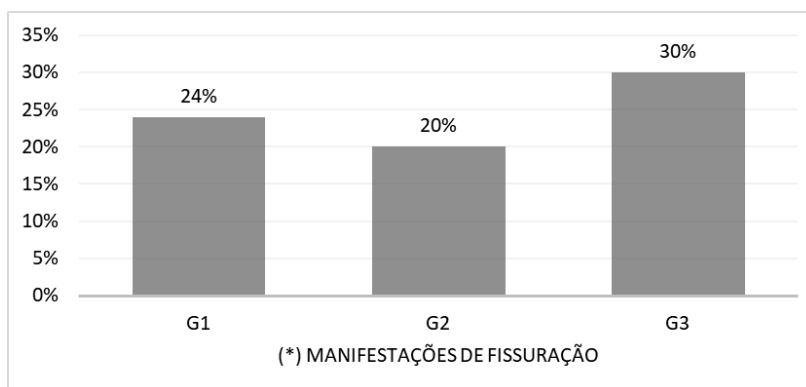


Figura 5. Incidência (%) de tipos de fissurações

Observa-se que a média entre os 3 tipos de fissurações foi de 24,66%, o que produz um desvio padrão foi igual a aproximadamente 0. Portanto, não houve diferenças significativas entre o número de incidências dos 3 grupos de fissurações estudadas, apesar das fissuras aleatórias sobressaírem à média em, aproximadamente, 5%.

5. CONCLUSÃO

A partir das informações levantadas através das manifestações patológicas da obra estudada, verificou-se a necessidade de: uma implantação de controle na execução, verificando os materiais utilizados e sua correta utilização; e conferência da execução com os devidos projetos e controle de concretagem, verificando os dados e características do concreto, seu correto lançamento nas fôrmas, acompanhamento e conferência na desenforma. Essa necessidade advém da constatação da falha significativa por parte dos responsáveis técnicos do canteiro, na liberação e recebimento de frentes de serviço.

Portanto, constatou-se que 67,0% das manifestações encontradas são relativas à execução, vinculada a falha de conferência.

Observa-se que uma solução mitigadora para esse problema é: a construtora deve possuir um plano de ação com a equipe de obra, de modo a minimizar ou eliminar o surgimento das manifestações patológicas, a fim de que ela possa usufruir das vantagens que o sistema construtivo de paredes de concreto oferece. Pode-se citar, como exemplo: treinar constantemente a equipe e capacitá-la tanto para execução como para acompanhamento e verificação dos serviços executados e a se executar. Dessa maneira pode-se aumentar a probabilidade de uma construção com qualidade e assegurar que possíveis manifestação advindas da execução tenha pouca ou nenhuma frequência.

Apesar das maiores manifestações patológicas serem referentes a fissuração, neste caso específico em estudo, essas falhas foram ocasionadas por algum problema de execução. Entretanto, há condições e técnicas eficientes de maneira que não aconteça o surgimento de problemas significativos como àqueles da obra analisada.

Assim sendo, pode-se concluir que não é pelo fato de uma obra ser feita de paredes de concreto que, obrigatoriamente, irá apresentar alguma manifestação patológica. Ressalta-se que qualquer obra deve buscar constantemente resultados de qualidade do seu produto para a entrega dos clientes finais, sendo estes os que garantem a boa imagem repassada pela construtora.

6. REFERENCIAS

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2008). *Paredes de concreto: coletânea de ativos 2007/2008*, São Paulo.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2010). *Paredes de concreto: coletânea de ativos 2009/2010*, São Paulo..

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2013). *Paredes de concreto: coletânea de ativos 2011/2013*, São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2013). *NBR 15575-1. Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2012) *NBR 16055. Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro.

Braguim, T. C. (2013) “*Utilização de modelos de cálculo para projeto de edifícios de paredes de concreto armado moldadas no local*”. 2013. 227f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Carmo, P. O. (2003). “*Patologia das construções*”. Programa de atualização profissional - CREA, Rio Grande do Sul.

Corsini, R. (2012). *Paredes Normalizadas*. Revista Técnica, São Paulo, n. 183.

Geyer, A. L. B. (1995). “*A melhoria da qualidade das superfícies do concreto através da drenagem com fôrmas revestidas internamente por um geotêxtil*”. 1995. 148f. Dissertação de Mestrado em Construção Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Helene, P. R. L. (1992). “*Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto*”. 2º ed. São Paulo: Editora Pini,

Iantas, L. C. (2010). “*Estudo de caso: análise de patologias estruturais em edificações de gestão pública*”. 2010. 58f. Monografia de Especialista em Construção de Obras Públicas – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Instituto Brasileiro de Avaliações E Perícias De Engenharia – IBAPE (2012) *Norma de Inspeção Predial Nacional*. São Paulo.

- Leal, U. (2010) *Três não é demais. Construção e Mercado*, São Paulo: Pini, n. 109, p. 20-24, agosto.
- Lichtenstein, N. B. (1986). “*Patologia das construções: boletim técnico n. 6.*” São Paulo: EPUSP.
- Melo Júnior, C. M. (2016) “*Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aero não tripulado e processamento digital de imagens*”. 2016, 376f. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília, Brasília.
- Misurelli, H., Massuda, C. (2009). *Como construir Paredes de Concreto*. Revista Técnica, São Paulo, ed. 147, ano 17, n. 147, p. 74-80, jun.
- Miranda, T. (2011). “Déficit habitacional no brasil é de 5,5 milhões de moradias”. CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2011. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/213505-deficit-habitacional-no-brasil-e-de-55-milhoes-de-moradias/>>. Acesso em: 28 nov. 2019.
- Mitidieri, C. V.; Souza, J. C S.; Barreiros, T. S.(2012) “*Sistemas construtivo de paredes de concreto moldadas no local: aspectos do controle de execução*”. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 54., 2012, Maceió. Anais. São Paulo: IBRACON, 2012. p. 01-08. Disponível em: <https://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CETAC/artigos_tecnicos/431-sistema_construtivo_de_paredes_de_concreto_moldadas_no_local_aspectos_do_controle_de_execucao.htm>. Acesso em: 12 out. 2019.
- Piancastelli, E. M. (2019). *Patologias do concreto*. AECweb, 201-. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0/>. Acesso em: 28 nov. 2019.
- Sach, H. M. (2008). “*Painéis de vedação de concreto moldados in loco: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concreto*”. 2008. 286f. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.
- Signo, A. F. J. (2019). “*Por que Parede de Concreto? Núcleo Parede de Concreto*”, 201-. Disponível em: <<http://nucleoparededeconcreto.com.br/artigos/por-que-parede-de-concreto>>. Acesso em: 12 out. 2019.
- Tinoco, J. E. L.. (2009). “*Mapa de danos: Recomendações básicas*”. Centro de estudos avançados da conservação integrada – CECI. Olinda, Pernambuco, 2009, vol. 43. 23p.
- Tutikian, B. F. (2004). “*Método para dosagem de concretos auto-adensáveis*”. 2004. 149f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul..
- Tutikian, B., Pacheco, M. (2013). “*Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil*”. Boletim Técnico da Alconpat Brasil. Mérid.

Análise da Incidência de Manifestações Patológicas em Edificações de Concreto Armado

F, Pasqualotti¹, V.S, Costa^{1*}, M, Aurich¹, A.S, Torres¹

*Autor de Contacto: vitoriascosta@yahoo.com.br

¹ Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

RESUMEN

Las estructuras de hormigón armado están diseñadas para una vida útil mínima de 50 años. Debido a procesos naturales, como el envejecimiento y la degeneración, asociados a la falta o ineficiencia de los procesos de mantenimiento de la estructura, surgen manifestaciones patológicas. El presente estudio tuvo como objetivo verificar la existencia de una relación entre la aparición de manifestaciones patológicas y la antigüedad de los edificios. Se desarrolló una revisión de la literatura, en dos conjuntos de edificios: el primero con una edad de uso igual o superior a 30 años y el segundo con una edad menor a los 30 años. Se encontró que, con el aumento de la edad del edificio, aumenta la complejidad de las manifestaciones patológicas.

Palabras clave: hormigón armado, manifestaciones patológicas, vida útil.

RESUMO

As estruturas de concreto armado são projetadas para uma vida útil mínima de 50 anos. Entretanto, devido à processos naturais, como o envelhecimento e degeneração, associados à falta ou ineficiência dos processos de manutenção das estruturas, surgem as manifestações patológicas. O presente estudo teve como objetivo verificar a existência de uma relação entre o surgimento das manifestações patológicas com a idade de uso da edificação. Para tanto, foi desenvolvido um estudo de revisão de literatura, em dois conjuntos de edificações: o primeiro com idade de uso igual ou superior a 30 anos e o segundo com idade inferior a 30 anos. Verificou-se que com o aumento da idade de uso da edificação, ocorre um aumento na complexidade das manifestações patológicas.

Palavras-chave: concreto armado, manifestações patológicas, vida útil.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures are designed for a minimum service life of 50 years. Due to natural processes, such as aging and degeneration, associated with the lack or inefficiency of the structure's maintenance processes, pathological manifestations arise. The present study aimed to verify the existence of a relationship between the appearance of pathological manifestations and the age of the buildings. Thus, a literature review study was developed, in two sets of buildings: the first with an age of use equal to or greater than 30 years and the second with an age below 30 years. It was found that with the increase in the age of use of the building, there is an increase in the complexity of pathological manifestations.

Keywords: Reinforced concrete; pathological manifestations; lifespan.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é uma das técnicas construtivas mais tradicionais no emprego em elementos estruturais, devido à sua versatilidade e durabilidade. A técnica foi introduzida no Brasil na primeira metade do século XX e algumas de suas características como a segurança, custo e mão de obra tornaram a utilização do material bastante conveniente (Santos, 2008).

Apesar de existir um grande investimento tecnológico no desenvolvimento de concretos mais duráveis e resistentes, através de aditivos químicos e de adições, como a cinza volante, sílica ativa, fibras entre outros. De acordo com Beber (2003), o concreto possui um processo de fabricação de natureza praticamente artesanal, o que implica em pequenas variações em sua composição possam conduzir à produção de concretos excepcionalmente duráveis ou extremamente vulneráveis.

Nas edificações, as manifestações patológicas são os sinais externos e sintomas apresentados quando existe algum problema em sua integridade (Tutikian et. al, 2013). Algumas vezes esses sinais externos podem demorar para se manifestar e outras podem ser imperceptíveis aos leigos.

Os processos de envelhecimento e degeneração das estruturas de concreto são naturais e inevitáveis (Beber, 2003), entretanto, conforme a Fédération Internationale du Béton (FIB, 1999), a preocupação não está relacionada à degeneração propriamente dita, mas sim com seu desenvolvimento e com as condicionantes que determinam sua evolução. Tal fator é reforçado pelo fato de existirem normas técnicas que estabelecem o prazo para o qual a estrutura deve manter sua integridade.

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), que estabelece os requisitos básicos de desempenho para edificações habitacionais, as estruturas devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão de serviço, durante o prazo correspondente à vida útil de projeto, sendo esse, o período no qual se mantêm as características das estruturas de concreto sem que necessitem de intervenções significativas. No caso de estruturas, como os elementos de fundação, pilares, vigas, lajes, entre outros, a norma estabelece uma vida útil mínima de 50 anos. Ademais, a NBR 6118 (ABNT, 2014), estabelece os critérios gerais para projetos de estruturas de concreto armado, indica que o conceito de vida útil pode ser aplicado à estrutura como um todo ou às suas partes, dessa forma, determinadas partes da estrutura podem requerer considerações especiais, com um valor de vida útil diferente, como por exemplo os aparelhos de apoio e as juntas de movimentação.

Durante a vida útil da estrutura, é recorrente a ocorrência de alterações no uso e no entorno da edificação, podendo, nesses casos, ser criado um ambiente mais agressivo ou haver um acréscimo na carga da estrutura, condições diferentes e que não conseguem ser previstas durante a elaboração do projeto. Além disso, em diversos casos, as edificações não passam por processos de manutenções preventivas, ou sofrem manutenções ineficientes, conforme citado por Silva et. al (2016) e Araújo et. al (2010).

Devido aos itens supracitados, como o envelhecimento e degradação natural da estrutura, a alta variabilidade do processo de execução do concreto, a alteração do ambiente para o qual a edificação foi projetada e do seu uso, como a ausência ou ineficiência dos processos de manutenções, é criado um ambiente propício para o surgimento de manifestações patológicas nas estruturas. Conforme Couto et. al (2013), é interessante ressaltar que os danos apresentados nos elementos estruturais são do tipo evolutivo, ou seja, em maior ou menor prazo de tempo, poderão comprometer sua estabilidade.

O presente estudo teve como objetivo identificar, por meio de revisão de literatura, as manifestações patológicas de maior incidência em elementos de concreto armado de dois conjuntos de edificações: o primeiro com idade de uso igual ou superior há 30 anos e o segundo com idade inferior há 30 anos. Buscando-se verificar a existência de uma relação entre o surgimento das manifestações patológicas com a idade de uso da edificação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Patologia é um termo utilizado em diversas áreas da ciência, sendo utilizado tanto para a área da Medicina quanto para outras áreas do conhecimento humano, como a Engenharia. Tem sua origem no grego, em que deriva dos termos *pathos*, que significa sofrimento, doença e logos, que quer dizer ciência, estudos (Sena et. al, 2020). Ainda, de acordo com os autores, o termo Patologia, em termos gerais, corresponde ao estudo das doenças, representando um estado ou condição anormal, cujas causas podem ser conhecidas ou desconhecidas.

Na engenharia civil, designa-se Patologia das Estruturas a área de estudo sobre as origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas dos sistemas de degradação das estruturas. As manifestações patológicas decorrem do desempenho insatisfatório das edificações, quando confrontadas com as finalidades para as quais foram projetadas, sendo provenientes de falhas involuntárias e casos de imperícias, o conjunto desses fatores provocam a deterioração das estruturas, podendo ser decorrentes do seu envelhecimento natural, de acidentes e até de irresponsabilidades profissionais, quando utilizados materiais fora de especificações (Souza et. al, 2009).

2.1 Métodos de Diagnóstico

O diagnóstico, quando relacionado à problemas patológicos, corresponde a todo o processo que possa explicitar cientificamente os fenômenos ocorridos em uma construção onde acontecem manifestações patológicas (Lopes, 2019). De acordo com Tutikian e Pachecho (2013), o diagnóstico é o responsável pela redução no número de dúvidas, tendo em vista que sempre haverá um grau de incerteza quanto ao diagnóstico, cuja eficácia só poderá ser confirmada pela resposta satisfatória ao tratamento prescrito.

Existem diversas metodologias e procedimentos para compreender e determinar o estado de conservação das estruturas de concreto armado. Entre as mais utilizadas no diagnóstico das manifestações patológicas, podem ser citadas a inspeção visual, o levantamento do histórico da estrutura, os ensaios destrutivos, ou seja, aqueles que necessitam da extração de corpos de prova testemunho, e os não destrutivos, que são aqueles que não alteram de forma permanente as propriedades físicas, mecânicas ou químicas do elemento estrutural, como os ensaios de detecção magnética de armaduras, ultrassonografia, resistividade elétrica, potencial de corrosão, profundidade de carbonatação, entre outros (Passos et. al, 2019).

2.2 Manifestações Patológicas em Concreto Armado

A NBR 6118 (ABNT, 2014), em seu item 6.3 especifica os mecanismos preponderantes de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto armado. Ainda de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), os principais mecanismos de deterioração relativos ao concreto são: lixiviação, expansão por sulfato e a reação álcali-agregado; já para a deterioração da armadura estão destacados a despassivação por carbonatação, por ação de cloretos e aqueles relacionados às ações mecânicas:

Lixiviação é o mecanismo responsável por dissolver e carregar compostos hidratados da pasta de cimento por ação das águas. Para sua prevenção a norma recomenda o controle da fissuração e a utilização de produtos hidrófugos. Ainda, de acordo com Sena et. al (2020), a lixiviação é o mecanismo que provoca o surgimento de manchas de eflorescência, que são manchas brancas que se formam na superfície de estruturas de concreto causadas pelo contato com águas puras, ácidas, carbônico agressivas entre outras.

A despassivação por carbonatação ocorre devido a ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura. Para minimizar este efeito, a norma recomenda o adequado cobrimento das armaduras e o controle de fissuração, além de concretos com baixa porosidade.

A despassivação por ação de cloretos é causada pelo elevado teor do íon-cloro. Para minimizar este efeito são feitas as mesmas recomendações utilizadas na despassivação por carbonatação, além do uso de cimento composto com adição de escória ou material pozolânico. Uma das primeiras manifestações patológicas decorrentes da corrosão da armadura é o surgimento de manchas amarronzadas na superfície do concreto (Sena et. al, 2020).

As causas por ações mecânicas são devido a movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxamento. Para sua prevenção são necessárias medidas específicas, como barreiras protetoras, isolamentos isotérmicos, entre outros.

Sena et. al (2020), também traz manifestações patológicas recorrentes em estruturas de concreto armado, destacando as manchas de bolor e umidade, fissuras e o deslocamento do concreto. A seguir uma breve descrição da origem e prováveis causas das manifestações patológicas destacadas pelos autores.

O bolor é formado por colônias de fungos (microorganismos) que possuem como fonte de alimento compostos orgânicos. Seu surgimento decorre da presença de elevada umidade, proveniente do solo, de infiltrações, vazamentos entre outros, associados a ambiente com pouca ventilação e baixa incidência de radiação. Em casos mais graves, pode proporcionar o crescimento de vegetações em pequenas fissuras e juntas de dilatação, provocando a biodegradação do concreto, além da corrosão de armaduras.

As fissuras são manifestações patológicas que podem apresentar algo simples, como um desconforto estético, decorrentes da retração do concreto, ou indicar que algo grave está para acontecer, podendo, por exemplo, ser decorrentes de sobrecargas na estrutura. As principais causas de fissuras de sobrecarga estão relacionadas à flexão, torção, tração, perda de aderência, cortante e cargas concentradas nos elementos estruturais.

O deslocamento do concreto está associado à perda de aderência entre a armadura e o concreto, em alguns casos essa perda de aderência decorre da expansão das armaduras em função da corrosão do aço.

3. METODOLOGIA

O presente estudo corresponde a uma pesquisa de revisão bibliográfica, em que foi desenvolvida uma revisão da literatura existente sobre o tema patologias em estruturas de concreto armado. Foram selecionados diferentes estudos de casos que, de maneira direta ou indireta, apontam as manifestações patológicas identificadas em elementos de concreto armado.

Como critério para a seleção dos trabalhos utilizados na revisão bibliográfica, foram limitadas as publicações entre os anos de 2010 e 2020. A pesquisa teve como foco os artigos que apresentassem

as manifestações patológicas identificadas exclusivamente em estruturas de concreto armado, sem que fosse limitado uma tipologia exclusiva para as edificações selecionadas.

Os estudos selecionados pelo método anterior foram divididos em dois grupos distintos, o primeiro deles com edificações que possuíam idade igual ou superior a 30 anos, de modo a verificar a existência de uma tendência no surgimento das manifestações patológicas nos elementos de concreto armado que já atingiram mais de metade da Vida Útil de Projeto, conforme estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013). O segundo grupo, com edificações de idade inferior a 30 anos, para identificar quais as manifestações patológicas são recorrentes em edificações consideradas jovens.

Entre os estudos selecionados foram catalogadas as manifestações patológicas apontadas pelos autores e os métodos de diagnóstico utilizados para sua identificação. Foi desenvolvido um comparativo das manifestações identificadas entre dois grupos de edificações distintos e do método de diagnóstico mais utilizado. Na tabela 1 está disposta uma síntese contendo os estudos de caso das edificações com idade superior a 30 anos, expondo o autor do estudo, a idade da edificação, a classificação ambiental conforme NBR 6118 (ABNT, 2014), além de um breve relato do trabalho, contendo os métodos de diagnósticos utilizados e as manifestações patológicas identificadas.

Tabela 1. Estudos de Caso com Idade Superior a 30 anos.

Autor	Idade da Edificação	Classificação Ambiental	Método de Diagnóstico	Manifestações patológicas
Oliveira et. al (2013)	40 anos	Urbana	Inspeção visual, ensaios destrutivos e não destrutivos	Avançado nível de corrosão das armaduras, carbonatação, alta variabilidade no fck do concreto
Souza et. al (2019)	50 anos	Urbana	Inspeção visual	Corrosão da armadura, fissuração, deslocamento do concreto, manchas com presença de microrganismos, lixiviação, eflorescência e infiltrações
Martins et. al (2016)	38 anos	Urbana	Inspeção visual	Fissuras, manchas, corrosão da armadura, deslocamento do concreto, eflorescência e lixiviação
Lima et. al (2010)	30 anos	Urbana	Inspeção visual e ensaios não destrutivos	Trincas, fissuras, surgimento de vegetação, corrosão da armadura, manchas de umidade, lixiviação, carbonatação e penetração de cloretos
Araújo et. al (2010)	40 anos	Respingos de Maré	Inspeção visual, ensaios destrutivos e não destrutivos	Desagregação do concreto, corrosão das armaduras, fissuras, manchas de eflorescência, umidade (limo e fuligem) e de oxidação.
Silva et. al (2016)	40 anos	Urbana	Inspeção visual e ensaios não destrutivos	Presença de bolor, manchas de umidade, corrosão da armadura e deslocamento do concreto

Cirino et. al (2020)	45 anos (aprox.)	Urbana	Análise visual e registro fotográfico	Corrosão das armaduras, fissuras, deslocamento do concreto e manchas de umidade
Couto et. al (2016)	56 anos	Urbano	Inspeção visual, ensaios destrutivos e não destrutivos	Corrosão de armadura e armadura flambada
Berenguer et. al (2016)	45 anos	Névoa Salina	Inspeção visual	Corrosão das armaduras, fissura, bolor, eflorescências e manchas de umidade.
Torres et. al (2016)	58 anos	Urbana	Inspeção visual	Trincas, sujidade e deslocamento da camada de revestimento

Na tabela 2 estão dispostas as sínteses dos trabalhos analisados das edificações com idade inferior a 30 anos. Para cada autor foram catalogadas a idade da edificação, a classificação ambiental, os métodos de diagnósticos utilizados e as manifestações patológicas identificadas. Cabe destacar que o estudo desenvolvido por Araújo (2017) foi realizado em cinco escolas distintas, entretanto, na tabela a seguir foi apresentado um resumo com todas as manifestações patológicas identificadas pelo autor, considerando as cinco amostras. Para efeito de análise de resultados do presente estudo, cada uma das edificações apresentadas pelo autor fora considerada individualmente.

Tabela 2: Estudos de Caso com Idade Inferior a 30 anos.

Autor	Idade da Edificação	Classificação Ambiental	Método de Diagnóstico	Manifestações Patológicas
Nadalini et. al (2017)	28 anos	Marítimo	Inspeção visual	Corrosão das armaduras, fissuração, deslocamento do concreto e manchas.
Zenato et. al (2018)	3 anos	Urbano	Inspeção visual	Corrosão das armaduras, fissuração e carbonatação.
Araújo (2017)	13 e 8 anos	Urbano	Inspeção visual	Corrosão das armaduras, fissuração, manchas de bolor, eflorescência.
Araújo et. al (2010)	5 anos	Respingos de maré	Inspeção visual, ensaios destrutivos e não destrutivos	Fissuração, manchas de eflorescência, umidade e acúmulo de limo, fuligem e de oxidação

4. RESULTADOS

Todos os estudos de caso analisados utilizaram o método de diagnóstico por inspeção visual, sendo que 10 entre os 18 estudos selecionadas utilizaram exclusivamente este método para dar o diagnóstico das falhas identificadas. Na Figura 1-a estão os métodos de diagnóstico utilizados para identificação das manifestações patológicas nas estruturas com idade igual ou superior a 30 anos e na Figura 1-b estão os métodos utilizados nas estruturas com idade inferior a 30 anos.

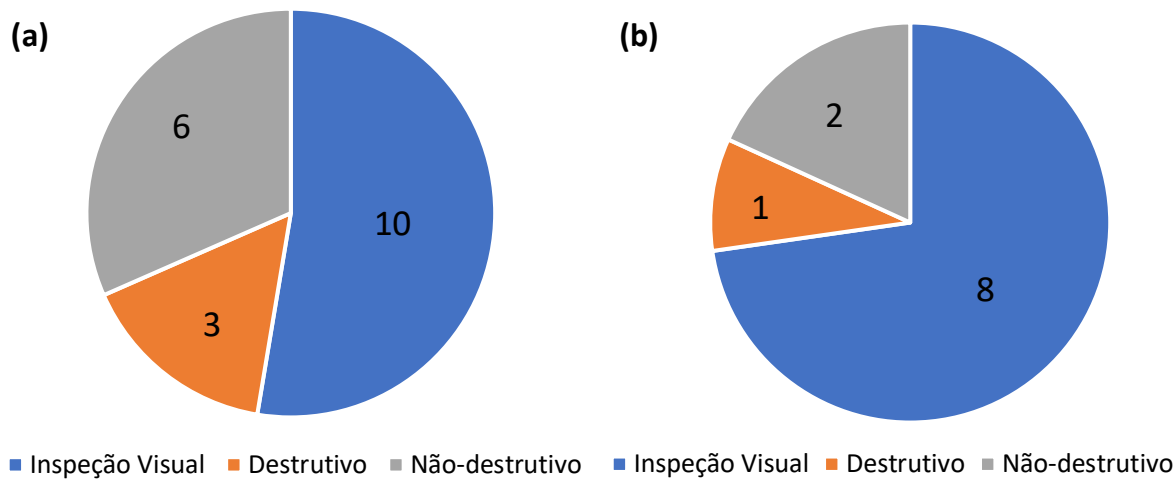


Figura 1. Métodos de diagnóstico edificações com idade ≥ 30 anos (a) e com idade < 30 anos (b).

Quando utilizados ensaios, o método de diagnóstico mais empregado foi o não-destrutivo, sendo utilizado em 44,44% dos estudos de casos analisados, onde foram realizados ensaios de teor de cloreto, resistividade elétrica, esclerometria, ultrassonografia, potencial de corrosão e profundidade de carbonatação. Em apenas quatro (22,22%) dos casos analisados foram utilizados os métodos de diagnóstico destrutivo, para a extração de corpos de prova testemunhos.

Com relação à classe ambiental, mesmo muitos autores não fazendo referência à classificação estabelecida pela NBR 6118 (ABNT, 2014), descrevem o ambiente no qual as estruturas analisadas estão inseridas. Tendo em consideração essa descrição do ambiente, as edificações foram classificadas quanto a classe de agressividade ambiental estabelecida pela norma, sendo elas: moderada, quando inserida em ambiente urbano, forte, quando em ambiente marinho ou industrial e muito forte, quando possui respingos de maré. Na Figura 2-a estão expostas as classificações ambientais das edificações com idade igual ou superior a 30 anos e na figura 2-b a classificação das edificações com idade inferior a 30 anos.

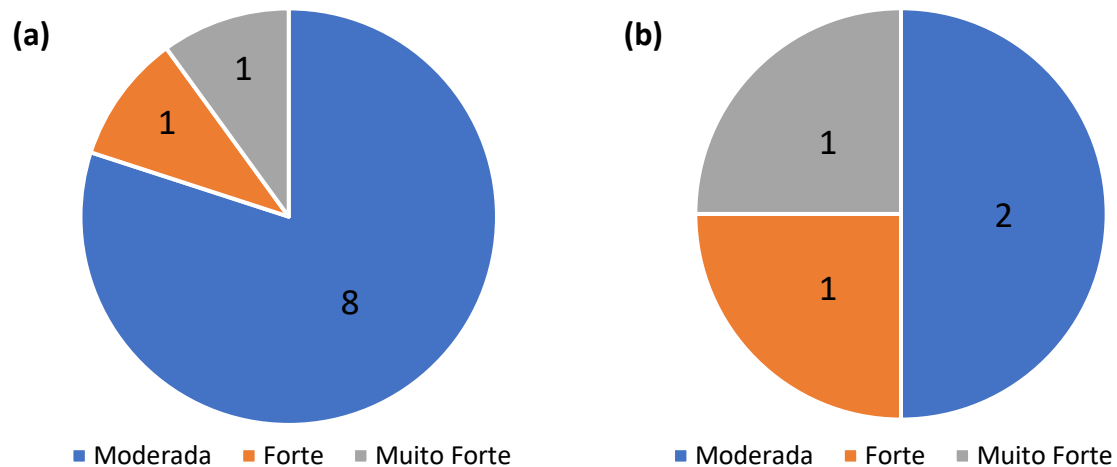


Figura 2. Classificação ambiental edificações com idade ≥ 30 anos (a) e com idade < 30 anos (b).

As manifestações patológicas identificadas nas edificações com idade superior a 30 anos, inseridas em ambientes com classificação forte e muito forte são a corrosão de armadura, fissuração, eflorescência, deslocamento do concreto e manchas. Já para as edificações com idade inferior a 30 anos, a manifestação patológica deslocamento de concreto foi identificada unicamente na

edificação inserida em ambiente com névoa salina, ou seja, com classificação ambiental forte. Dentre as edificações analisadas não foi possível identificar uma relação entre o surgimento das manifestações patológicas com a classificação ambiental, pois nos dois grupos analisados, de edificações com idade igual e superior a 30 anos e com idade inferior a 30 anos, as manifestações identificadas nos ambientes classificados como forte e muito forte eram recorrentes em edificações inseridas na classificação ambiental moderada, com exceção da edificação com idade inferior a 30 anos inserida no ambiente com classificação ambiental forte, que apresentou deslocamento do concreto.

Entre os casos expostos pelos diferentes autores, para as estruturas com idade igual ou superior a 30 anos, é possível identificar que algumas manifestações patológicas são recorrentes entre os estudos analisados, como por exemplo a corrosão da armadura, as fissuras e as manchas. Já para as edificações com idade inferior a 30 anos, as manifestações patológicas de maior incidência são as fissuras, manchas e eflorescência, também não foram identificadas manifestações patológicas relacionadas à lixiviação e flambagem da armadura, para essas edificações. Ainda sobre as edificações com idade inferior a 30 anos, vale ressaltar o grande número de manifestações patológicas, que podem ser vinculadas a inferioridade de materiais utilizados, além de que ao uso de mão-de-obra pouco especializada, referindo-se a uma questão social importante ao nosso país. Na Figura 3 estão expostas as manifestações patológicas identificadas nas edificações com idade igual ou superior a 30 anos e com idade inferior a 30 anos.

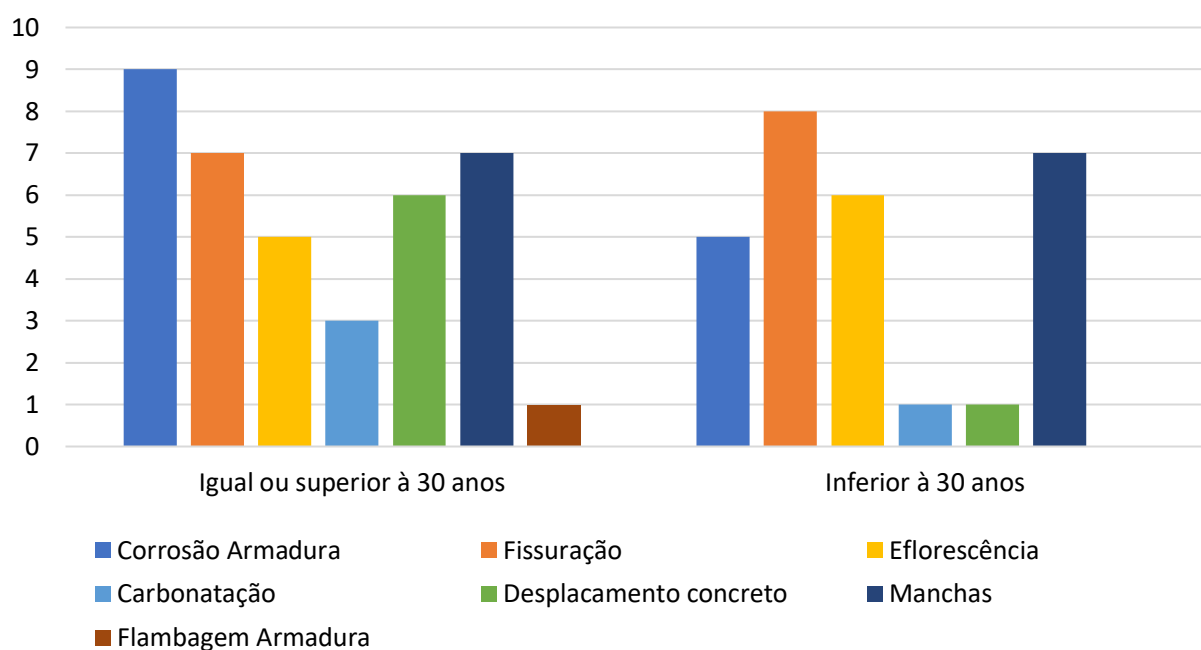


Figura 3. Manifestações patológicas identificadas.

Para a análise, foram catalogadas como manchas todas as manifestações patológicas relacionadas à sujidade, bolor, limo, mofo, umidade e fuligem. No item fissuração, foram considerados os relatos dos autores relacionados a fissuras e trincas.

As edificações analisadas possuíam uso residencial ou público, como universidades e departamentos, e um píer. Em apenas um estudo de caso não é identificado qual o uso da edificação. Quatro autores identificaram que o ambiente no qual a estrutura está inserida possui classe de agressividade forte a muito forte, sendo dois para as edificações classificadas com idade igual ou superior a 30 anos e dois para as edificações com idade inferior a 30 anos; os demais autores não identificam a classe de agressividade do ambiente no qual as edificações estão inseridas, sendo

que, em sua maioria estão localizados em regiões urbanas e metropolitanas. Os trabalhos também não descrevem relações quanto às fachadas e posição solar das edificações.

Cabe ressaltar que em apenas um dos estudos de caso nas edificações com mais de 30 anos de idade os autores tiveram acesso aos projetos da edificação. Nas edificações com idade de uso inferior a 30 anos todos os autores tiveram acesso aos projetos das edificações.

Com relação ao processo de manutenção das estruturas durante sua vida útil, a maioria dos autores destacam que as manutenções realizadas nas edificações foram ineficientes, precárias ou que não houve nenhum tipo de manutenção preventiva durante seu uso. Com exceção de três estudos de casos, no qual não foi identificado se houve algum processo de manutenção durante a vida da edificação.

Algumas manifestações patológicas são mais recorrentes e que podem ter relação com a idade da edificação, como é o caso da corrosão da armadura e o deslocamento do concreto, manifestações estas que foram identificadas com frequência nas edificações com idade superior a 30 anos. Entretanto, foi possível identificar que algumas das manifestações patológicas como a fissuração, manchas e eflorescências são existentes tanto nas edificações consideradas jovens, quanto nas edificações com idade superior a 30 anos, o que implica que seu surgimento não está relacionado à idade de uso da estrutura ou com a vida útil dos materiais. Tais manifestações patológicas são passíveis de comparação entre os dois grupos de edificações com idades distintas, pois seu diagnóstico é realizado através do método de inspeção visual, o qual foi utilizado em todos os estudos analisados.

Por meio da análise é possível identificar que as edificações com idade igual ou superior a 30 anos, tendem a apresentar manifestações patológicas com um nível de complexidade superior ao das edificações com idade inferior a 30 anos, como é o caso da corrosão da armadura e o deslocamento do concreto, as quais necessitam de um grau de intervenção maior com técnicas e mão de obras especializadas para o correto tratamento da manifestação apresentada. Tal fator corrobora com as condições de vida útil estabelecidas pela NBR 15575 (ABNT, 2013), de que a estrutura possui um prazo pelo qual conserva as características e atribuições para a qual foi projetada.

Não foi identificada uma relação entre o surgimento das manifestações patológicas com a classificação ambiental, pois as edificações analisadas inseridas em ambientes agressivos apresentavam as mesmas manifestações patológicas que as edificações inseridas em ambientes com agressividade moderada. Apenas uma edificação, com idade inferior a 30 anos apresentou a manifestação patológica deslocamento de concreto, a qual estava inserida em ambiente com classificação ambiental forte, entretanto, a edificação apresentava idade de uso de 28 anos, próximo ao limite estabelecido para o grupo de edificações e, por se tratar de apenas uma edificação, não foi considerado como tendência o surgimento da manifestação patológica com a classificação ambiental.

5. CONCLUSÕES

Observou-se que grande parte dos estudos de casos desenvolvidos pelos autores ficam restritos à inspeção visual, não sendo realizados ensaios in loco ou laboratoriais como método de diagnóstico. Devido a esse fator algumas das manifestações patológicas, que são identificadas exclusivamente por meio de ensaios, como a carbonatação, podem existir, porém não são passíveis de identificação. Para as edificações com idade igual ou superior a 30 anos, a obtenção de dados referentes aos projetos é de difícil acesso. Em apenas um caso o autor teve acesso ao projeto da edificação, sendo essa edificação o píer, com maior complexidade, quando comparada as demais. Todos os autores que desenvolveram estudos de caso em edificações com idade inferior a 30 anos tiveram acesso aos projetos.

Algumas manifestações patológicas identificadas em edificações com idade superior a 30 anos também são existentes em edificações consideradas jovens, o que indica que seu surgimento não está relacionado com a idade de uso ou com a vida útil dos materiais, como as fissuras, manchas e eflorescências. Também se observou que as edificações com idade superior a 30 anos apresentaram manifestações patológicas mais complexas e que necessitam de um tratamento especializado para sua correção, como é o caso da corrosão da armadura e deslocamento do concreto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2014.

ARAÚJO, A. de; PANOSSIAN, Z. Durabilidade de Estruturas de Concreto em Ambiente Marinho: Estudo de caso. INTERCORR, ABRACO. Fortaleza/CE, 2010.

ARAÚJO, M. E. da S. O. Análise das Manifestações Patológicas em edificações escolares pré-fabricadas na cidade de Campinas/SP. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 2017.

BEBER, A. J. Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono. 289f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

BERENGUER, R. A.; SILVA, F. A. N.; MONTEIRO, E. C. B.; SILVA, A. J. C. Recuperação estrutural do Ginásio de Esportes Geraldo Magalhães. Revista Concreto & Construções, IBRACON, São Paulo, 2016.

CIRINO, M. A. G.; OLIVEIRA, B. B. de, PEREIRA, S. L. de O., CORDEIRO, S. B., MORAIS, J. M. P. de. Avaliação das Manifestações Patológicas das Edificações do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará. Research, Society and Development, v. 9, n. 7, e481974424, 2020.

COUTO, D.; MIRANDA, D.; PACHECO, J. Retrofit da estrutura de um edifício com mais de 50 anos. Revista Concreto & Construções, IBRACON, São Paulo, 2016.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C. A. O Concreto como Material de Construção. Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas. v. 1, n. 18, Sergipe, 2013.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BETÓN. Structural Concrete: Textbook on behavior, design and performance. Lausanne, 1999 (Bulletins 1, 2, 3).

LIMA, S. M. de; SIQUEIRA, W. G. Manifestações Patológicas em Laje de Cobertura: Estudo de Caso. VI Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Córdoba, Argentina, 2010.

LOPES, S. L. Patologias em Construções que Utilizam Concreto Armado e Técnicas de Reparo e Manutenção. Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, Ariquemes, v. 10, n. 1, p. 23-33, jan-jun. 2019.

MARTINS, J. F. A.; FIORITI, C. F. Investigação de Manifestações Patológicas em Sistemas Estruturais de Concreto Armado: Estudo de Caso em Edificação Pública. Revista Brasileira de Iniciação Científica, Itapetininga, v. 3, n. 4, 2016.

NADALINI, A. C. V.; BISPO, A. O. Patologia em Estruturas de Concreto Armado em Ambiente Marítimo. XIX COBREAP – Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, Foz do Iguaçu, 2017.

OLIVEIRA, K. C. de; HELENE, P.; CARROMEU, C. C.; COUTO, D. de A.; BILESKEY, P.; SAMPAIO, M. R. A. de. Extensão da Vida Útil de uma Estrutura de Concreto Armado dos Anos 60. Revista Concreto & Construções, IBRACON, São Paulo, 2013.

PASSOS, L. B.; CARVALHO, I. P. G.; ARAÚJO, L. S. O.; BRAGA, J. H. F. J. Ensaios não Destrutivos na Avaliação de Estruturas de Concreto. Revista Concreto & Construções, IBRACON, São Paulo, 2019.

SANTOS, R. E. Armação do Concreto no Brasil: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. Tese (doutorado) – Pós-graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SENA, G. O. de; NASCIMENTO, M. L. M.; NETO, A. C. N.; LIMA, N. M. Patologia das Construções. Salvador: Editora 2B, 2020.

SILVA, M. T. de A.; SILVA, A. C. da; SANTOS, C. F. dos; ROCHA, J. H. A.; COSTA, C. F. B.; MONTEIRO, E. C. B. Análise do Estado de Conservação de uma Marquise de Edificação Residencial por Meio de Ensaios de Ultrassom: Um Estudo de Caso. I Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural-SEMIPAR, UPE, Recife, 2016.

SOUZA, L. S.; LIMA, H. J. N. de. Análise de Manifestações Patológicas e Reparo em Edifício de Concreto Armado – Estudo de Caso. Revista Interscientia, v. 7, n. 2, p. 27-40, 2019.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1ª ed., 5ª triagem. São Paulo: Editora PINI, 2009.

TORRES, A. S.; SILVA, V. M. B.; PALIGA, C. M. Análise das Manifestações Patológicas em Reservatórios Elevados na Cidade de Pelotas/RS. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.12, n. 1, p. 12-22, 2016.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. Inspeção, diagnóstico e prognóstico na construção civil. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción – ALCONPAT, 2013.

ZENATO, C.; SILVA, C. R.; DANIELESKI, C. B.; ROTH, P. T.; FERRARO, R.; TUTIKIAN, B. F. Determinação de vida útil residual de estruturas de concreto de edifício residencial multifamiliar. Revista Concreto & Construções, IBRACON, São Paulo, 2018.

Estudo da degradação de fachada de edificação litorânea: Estudo de caso em Salvador/BA

A. R. A. OMORE^{1*}, V. A. COELHO², M. V. A. S. MENDES³, F. G. S. SILVA⁴

*Autor de Contacto: abrahamrodolphe@gmail.com

¹PPEC, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

²NUCCTEC, Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Brasil

³Graduado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁴DCE, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

A eficiência da manutenção de fachadas de edifícios comuns é bastante relevante em termos de durabilidade e funcionalidade. Isso requer um método preciso para planejar as diferentes ações envolvidas. A NBR 15575 vem ajudando para uma maior orientação na execução de fachadas a partir de parâmetros que otimizam o olhar técnico sobre o uso dos sistemas de uma edificação. Nesse artigo foi realizado um levantamento e análise das principais manifestações patológicas de fachada de edificação litorânea localizada em Salvador/Bahia, para isso foi realizada avaliação visual in loco, com levantamento de patologias com coleta de imagens utilizando câmera de alto zoom profissional e Drone na qual realizou-se todo o diagnóstico e mapeamento dos danos apresentados. De maneira geral a edificação, nos sistemas avaliados, apresenta riscos estruturais, com várias fissuras higrotérmicas devendo ser realizadas de forma imediata intervenções.

Palavras-chave: Fachada. Degradação. Manifestações patológicas. Vida útil.

Degradation study of coastal building façade: Case study in Salvador / BA

ABSTRACT

The efficiency of the maintenance of façades of common buildings is very relevant in terms of durability and functionality. This requires a precise method for planning the different actions involved. NBR 15575 has been helping to provide greater guidance in the execution of façades based on parameters that optimize the technical view on the use of building systems. In this article, a survey and analysis of the main pathological manifestations of a coastal building facade located in Salvador / Bahia was carried out. For this, a visual assessment was carried out on the spot, with a survey of pathologies with image collection using a professional high-zoom camera and Drone in which all the diagnoses and mapping of the damage presented were carried out. In general, the building, in the evaluated systems, presents structural risks, with several hygrothermal fissures, and interventions must be carried out immediately.

Keywords: Facade. Degradation. Pathological manifestations. Useful life.

Estudio de degradación de la fachada de un edificio costero: estudio de caso en Salvador / BA

RESUMEN

La eficiencia del mantenimiento de fachadas de edificios comunes es muy relevante en términos de durabilidad y funcionalidad. Esto requiere un método preciso para planificar las diferentes acciones involucradas. NBR 15575 ha venido ayudando a brindar una mayor orientación en la ejecución de fachadas en base a parámetros que optimizan la visión técnica sobre el uso de los sistemas constructivos. En este artículo se realizó un relevamiento y análisis de las principales manifestaciones patológicas de la fachada de un edificio costero ubicado en Salvador / Bahía, para lo cual se realizó una valoración visual in loco, con un relevamiento de patologías con recolección de imágenes utilizando una cámara profesional de alto zoom y Drone en el que se realizaron todos los diagnósticos y mapeo de los daños presentados. En general, la edificación, en los sistemas evaluados, presenta riesgos estructurales, con varias fisuras higrotérmicas y las intervenciones deben realizarse de forma inmediata.

Palabras clave: Fachada. Degradación. Manifestaciones patológicas. Vida útil.

1. INTRODUÇÃO

A fachada é um elemento-chave de um edifício e influencia seu conforto, sua segurança e estética. A degradação das fachadas é um processo natural e espontâneo, e mesmo que os materiais apresentem um estado natural, estarão sujeitos às deteriorações física, química e biológica, que afetam não somente sua vida útil, mas também da edificação como um todo. O desempenho geral da fachada depende do desempenho de seus componentes: separação, suporte e instalações (Hermans, 1995).

Medidas de manutenção são as ações técnicas e econômicas que tentam elevar o nível de qualidade de um elemento de construção e/ou restaurar o nível de desempenho inicial. Essas ações são executadas para antecipar a falha dos elementos ou corrigir localmente os defeitos existentes, o que se denominam de manutenção proativa e reativa, respectivamente. As fachadas devem atender a requisitos e normas de maneira a evitar a ocorrência de trincas, fissuras, perdas de aderência, deslocamento cerâmico e outras manifestações patológicas. Um diagnóstico correto deve definir o problema, coletar os dados disponíveis, caracterizar as anomalias existentes e suas prováveis causas, avaliar o desempenho em serviço, verificar se as demandas dos usuários estão sendo cumpridas e, finalmente, definir as medidas corretivas, preventivas ou ações de monitoramento.

Numa cidade como Salvador, que é uma das maiores concentrações urbanas do Brasil, onde se observam, durante todo ano, registros de chuva frequentemente úmida, e onde a maior parte das edificações localiza-se próxima à orla marítima, é notável a ocorrência de manifestações patológicas em diversos trechos das fachadas prediais.

Nesse contexto, diante da necessidade de conhecer mais sobre sistemas de revestimento de fachadas de edifícios, o desenvolvimento do presente trabalho apresenta estudos pioneiros relacionados às manifestações patológicas frequentes em fachadas de edificação litorânea localizada em Salvador/BA.

2. Sistema de revestimento de fachada

Segundo a NBR 13755, o revestimento externo é o “[...] conjunto de camadas sobrepostas e estreitamente ligadas, composto por estrutura de suporte, estrutura de alvenaria, camada de argamassa contínua e revestimento final, cuja função é proteger o edifício da chuva, umidade, meio

atmosférico e o efeito combinado de vento e partículas. O desgaste mecânico causado é forte e tem um efeito estético.

Para Silva (2006), a função básica da cobertura é arrumar a superfície e proteger a estrutura de alvenaria e concreto para melhorar a durabilidade e o desempenho geral da estrutura fechada do edifício (figura 1). Como essas funções são universais, ressalta-se que há muitas mudanças de conforme o trabalho específico.

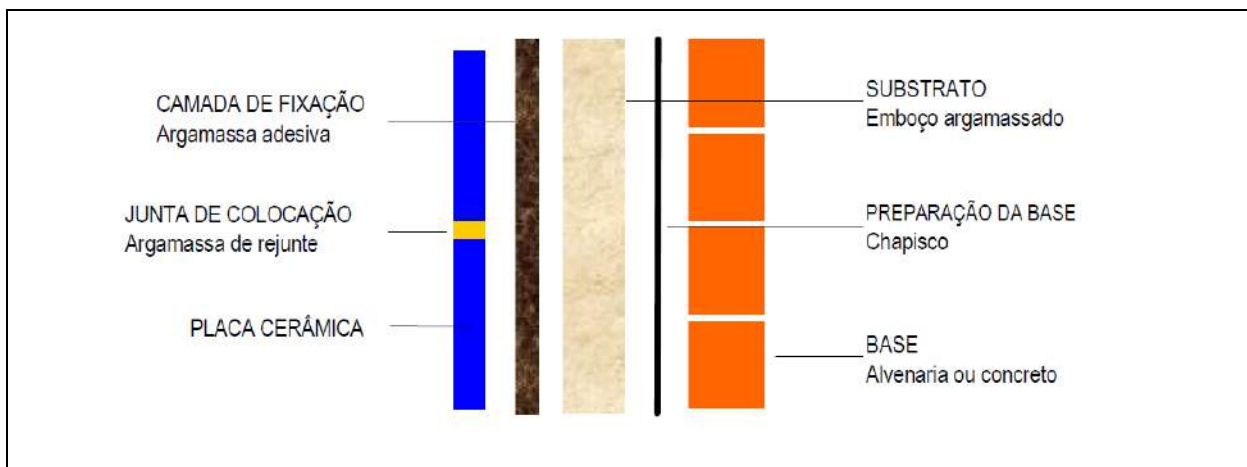


Figura 1: Camadas constituintes do revestimento cerâmico de fachada (Medeiros e Sabbatini, 1999).

O desempenho da camada de revestimento da parede cortina está relacionado à adesão entre as camadas, ao comportamento diferente dos elementos que compõem cada camada e aos diferentes efeitos de exposição ao longo do tempo. No entanto, condições de exposição e atividades de manutenção podem acelerar ou desacelerar o processo de degradação (SILVA, 2014).

2.1. Revestimento Argamassado com Acabamento em Pintura

Conforme a NBR 13529 (2013), os sistemas de revestimento com acabamento em pintura são definidos como um conjunto formado por revestimento em argamassa e um acabamento decorativo compatível com a natureza e as condições de exposição do substrato utilizado, atendendo, por conseguinte, ao desempenho esperado do projeto.

Para Silva (2006), o emboço tem a função de arrumar a superfície em preparação para receber outra camada de estuque ou acabamento decorativo. Também pode ser uma camada única ou estuque "São Paulo" (como geralmente é chamado em engenharia). Por outro lado, o reboco é a camada executada após o emboço, que, quando finalizada em tinta, pode aceitar camada decorativa ou constituir a decoração final.

2.2. Revestimento Cerâmica

A NBR 13816 (1997) define o revestimento cerâmico como uma camada fixa formada por placas de cerâmica, argamassa e argamassa. Além de proteger a fachada, o painel de cerâmica serve como parte do revestimento, transmitindo a beleza ao sistema através de sua cor e modelo. No entanto, para escolher produtos de alta qualidade, é necessário aprender mais sobre sua classificação e desempenho.

Ainda conforme a NBR 13816 (1997), a placa cerâmica para revestimento, geralmente usada para revestir pisos e paredes, é um material composto de argila e outras matérias-primas inorgânicas formado por extrusão ou compressão, além de outros processos, e queimado a alta temperatura. Devido à grande variedade de produtos cerâmicos no mercado em termos de forma, tamanho, cor, processo de fabricação, desempenho e função, é muito importante realizar a classificação técnica e industrial.

2.3. Substrato

Substrato é a camada do piso ou do elemento de vedação (parede ou painel) sobre a qual a cerâmica será assentada. No caso do piso, o substrato é o contrapiso, isto é, argamassa de regularização aplicada sobre a laje de concreto, que tem a finalidade de definir caimentos e desníveis, além de homogeneizar a superfície irregular do concreto. No caso da parede de alvenaria, o substrato é o emboço (note-se que o reboco passa a ser dispensável em paredes a serem revestidas com cerâmica) (figura 2).

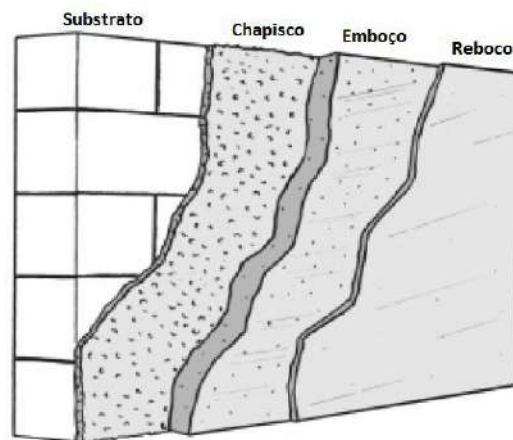


Figura 2: Sistema de revestimento em argamassa, ABCP (2002).

Conforme Silva (2006), o substrato ou a camada de base é uma camada que aceita tinta de argamassa e pode ser dividida em uma camada de vedação ou uma camada estrutural de acordo com sua função na estrutura. O substrato pode ser composto de alvenaria (cerâmica, concreto, volastonita) ou até concreto.

2.4. Chapisco

Segundo Silva (2006), o chapisco, diferente do emboço e do reboco, não constitui uma camada de revestimento. O chapisco é definido como uma camada de preparação da base, de forma a proporcionar boa aderência da argamassa ao substrato. Ele serve para regularizar a absorção da base e melhorar a aderência. Existem diferentes tipos de chapisco: o tradicional, o industrializado e o rolado. O chapisco é uma argamassa feita de cimento e areia grossa que é aplicada na alvenaria de forma irregular. Ele é responsável por aumentar a rugosidade da superfície da alvenaria.

Segundo Leal (2003), o chapisco é um processo básico de preparação e não é considerado um revestimento. Sua espessura média é de cerca de 5 mm, dependendo do tamanho de partícula da areia utilizada.

2.5. Emboço, Reboco, Camada Única

Emboço é a camada de argamassa aplicada após o chapisco que proporciona a superfície requerida para a aplicação do acabamento final. Caso esta camada requeira espessura elevada, algo superior a 30-40 mm, detalhes especiais de reforços precisam ser contemplados, sendo que o uso de telas metálicas é bastante comum. Segundo a NBR 13529: 2013, o reboco é camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permite receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final.

3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS COMUNS EM FACHADA

Como cada material usado em um edifício tem comportamentos diferentes, dependendo do local e da função de uso, há muitos fatores que podem causar a degradação do edifício e danificar sua durabilidade e sua função estrutural.

Conforme Gaspar e Brito (2005), a degradação é a perda da capacidade do material de responder às exigências frente aos agentes de deterioração, à natureza do material e também à própria maturação.

De acordo com John e Sato (2006), os fatores de degradação são agentes que atuam nos materiais de construção e causam grandes alterações nos materiais, resultando em desempenho reduzido. Esses agentes podem ser térmicos, mecânicos, eletromagnéticos, químicos e biológicos.

Diversas são as causas que levam à degradação da fachada externa, que geralmente é provocada por uma soma de fatores. Nesse sentido, um exemplo típico da ação combinada de degradantes é o efeito da chuva e do vento na parede externa, resultando em alterações físicas e químicas no material e promovendo, assim, a degradação do material. A ação do mecanismo de degradação é suficiente para causar rachaduras, fungos e mofo (figura 3).

Natureza	Classe
Agentes mecânicos	Gravidade Esforços e deformações impostas ou restritas Energia cinética Vibrações e ruídos Atritos
Agentes eletromagnéticos	Radiação Eletricidade Magnetismo
Agentes térmicos	Níveis extremos ou variações muito rápidas de temperatura
Agentes químicos	Água e solventes Agentes oxidantes Agentes redutores Ácidos Bases Sais Quimicamente neutros
Agentes biológicos	Vegetais e microrganismos Animais

Figura 3: - Natureza dos agentes de degradação, ASTM 632:1996 ISO 15686-2, 2001.

3.1. Manchas na Pintura – Bolor ou Mofo

As manchas constituem a anomalia estética mais comum em fachadas e podem ocorrer em fachadas pintadas e cerâmicas. As manchas podem ser divididas em: manchas com sinais de umedecimento, manchas biológicas, intemperismo e geradores de manchas.

Para Segat (2005), a água absorvida e a temperatura do edifício são fatores que determinam a aparência e a extensão do bolor no revestimento. Nesse sentido, a umidade condensada, a ventilação insuficiente e a permeabilidade do revestimento à umidade externa são fatores que causam a umidade, o que é propício ao acúmulo de bolor na superfície.

3.2. Descascamento de Pintura

Para Alves (2010), a presença de água pode causar bolhas, mofo e baixa adesão da tinta. A porosidade excessiva, por outro lado, pode causar alterações no brilho e na cor. Descascamentos e empolamentos, por sua vez, podem ocorrer devido à presença de sais minerais, no entanto a grande maioria das patologias relacionadas à pintura decorrem da preparação incorreta da superfície e de pessoal não qualificado.

3.3. Fissuras e Trincas

Segundo Junginger (2007), as trincas e rachaduras sempre se referem ao mesmo problema: descontinuidades mecânicas devido à concentração de esforços. Costuma-se identificar como fissuras o problema com abertura de até 0,5 mm; trincas, até 2-3 mm; e rachaduras, as aberturas maiores que 2-3 mm. Essa classificação, muito mais do que uma divisão teórica, é importante porque as técnicas de correção dos problemas têm de ser diferenciadas para cada caso.

As trincas, fissuras e gretagem do sistema de revestimento cerâmico são manifestações patológicas que podem causar outras patologias. Por exemplo, as trincas podem abrir espaços para a penetração de água e o aparecimento de bolhas, enfraquecendo, assim, as camadas do sistema e a separação de placas de cerâmica (LUZ, 2004).

3.4. Eflorescências

Segundo Franco (2008), eflorescência é um fenômeno causado pela movimentação da água nos vazios e canais localizados no interior da argamassa. A água sobe nesses vazios por ação capilar e/ou pressão, transportando, assim, sais solúveis presentes no substrato, cuja vazão está diretamente relacionada à absorção e à permeabilidade da argamassa. Esse fenômeno é entendido como a formação de depósitos cristalinos (sal) na superfície do painel devido a efeitos ambientais ou físico-químicos. Essa patologia não afeta apenas a aparência da fachada, mas também afeta a adesão da cobertura, e constitui o impacto de problemas mais sério (como a presença de umidade) de uma construção

3.5. Descolamento

Segundo Medeiros (1999), as situações mais comuns de descolamento costumam ocorrer por volta de cinco anos após a conclusão da obra. Para o autor, essa situação acontece quando a ocorrência cíclica das solicitações, somada às perdas naturais de aderência dos materiais de fixação em situações de subdimensionamento do sistema, caracteriza as falhas que costumam resultar em problemas de quedas.

3.6. Desplacamento

Conforme Antunes (2010), o deslocamento (Figura 13) é caracterizado por uma queda de placas de cerâmica que ocorre após a separação, podendo ser uma queda de placas isoladas ou com argamassa ou gesso. Tais falhas representam um risco para a segurança dos usuários do edifício e devem ser diagnosticadas o mais rápido possível. Em geral, toda a parede externa precisa ser removida, o que é caro e trabalhoso.

3.7. Falhas em Juntas

As juntas são muito importantes para o desempenho correto do revestimento, pois se elas falharem, o desempenho do sistema será comprometido. As juntas são responsáveis por promover a estanqueidade do revestimento e a capacidade de absorver a deformação (SOUSA, 2008).

Segundo Antunes (2000), o envelhecimento manifesta-se nas resinas de origem orgânica pela alteração da cor e pode resultar em outros fatores que implicam fissuração e posterior queda do rejunte da fachada.

3.8. Falhas de rejunte

A porosidade do revestimento de granito e do material de rejuntamento, bem como as trincas e falhas de rejuntamento, estão relacionadas à quantidade de água de infiltração. Assim sendo, todas as metodologias de revestimento de acabamento de fachadas de edifícios, quer seja o mais simples revestimento de argamassa, quer seja o executado com cerâmica, ou o revestimento de placas de rocha, devem ter como preocupação a execução de procedimentos que venham a aliviar as tensões possíveis de ocorrer.

Para evitar essas patologias, é essencial promover o preenchimento completo das juntas, impedir a entrada de água e usar rejuntas compatíveis com o uso e com propriedades como elasticidade ou durabilidade (COSTA, 2011).

3.9. Detoriarção de Placas Cerâmicas – Gretamento.

Conforme explanam Campante e Baía (2003), o gretamento constitui uma série de aberturas inferiores a 1 mm que ocorrem na superfície esmaltada das placas, conferindo à superfície uma aparência de teia de aranha. Esse tipo de patologia é decorrente da perda de integridade da superfície da placa cerâmica, que pode ficar limitada a um defeito estético (no caso de gretamento), ou pode evoluir para um destacamento (no caso de trincas).

4. ESTUDO DE CASO

O condomínio foi construído há aproximadamente 35 anos em estrutura convencional de concreto armado, possuindo dois blocos, um nível de garagem e playground. As fachadas são constituídas de cerâmica e pintura. Está situado em região próxima ao mar, em área com classe de agressividade ambiental tipo IV – muito forte (NBR 6118), devido à proximidade do mar e o recebimento de spray salino e chuva dirigida sem barreira.

4.1. Metodología

Foi realizada orientação e acompanhamento do serviço de alpinismo, obedecendo aos critérios normativos na NR 18 e NR 35, na qual se realizou teste percussivo nas fachadas e marcações com tinta acrílica base d'água, obedecendo a seguinte legenda: 1 – som cavo, 2- fissuras e x –

desplacamento. Por questões de segurança, as partes soltas da fachada foram removidas pelo alpinista.

Após isso foi realizada avaliação visual in loco, com levantamento de patologias com coleta de imagens utilizando câmera de alto zoom profissional (marca Sony - DSC H400) e Drone (marca Mavic Pro da DJI) na qual realizou-se todo o diagnóstico e mapeamento dos danos apresentado, além da realização de testes de pHmetria com solução alcoólica de Fenolftaleína para verificação de infiltrações e carbonatação.

4.2. Localização e inspeção das manifestações patológicas.

- Na fachada noroeste do Bloco A e B foi realizada inspeção com descida de alpinista, marcando-se as regiões de som cavo. Além disso, registrou-se trecho de deslocamento cerâmico (Figura 4 á 7).



Figura 4: Marcação de som cavo na fachada noroeste do Bloco A.



Figura 5: Marcação de som cavo na fachada noroeste do Bloco A.



Figura 6: Marcação de som cavo e corrosão na fachada noroeste do Bloco B.



Figura 7: Corrosão em verga na fachada noroeste do Bloco B.

- Na fachada sudeste do Bloco A e B foi realizada inspeção com descida de alpinista, marcando-se as regiões de som cavo (figura 8 á 11).



Figura 8: Marcações de som cavo na fachada sudeste do Bloco A.



Figura 9: Marcações de som cavo na fachada sudeste do Bloco A.



Figura 10: Vista da fachada sudeste do Bloco B com marcações de som cavo e revestimento solto.



Figura 11: Vista da fachada sudeste do Bloco B com marcações de som cavo e revestimento solto.

- Na fachada nordeste do Bloco A foram registradas fissuras mapeadas de origem higrotérmicas (figura 12 a 15).



Figura 12: Vista da fachada nordeste do Bloco A.



Figura 13: Fissuras na fachada nordeste do Bloco A.



Figura 14: Vista da fachada nordeste do Bloco B com fissuras, corrosão e deslocamento.



Figura 15: Fissuras na fachada nordeste do Bloco B.

- Na fachada sudoeste do Bloco A e B foram registradas fissuras mapeadas de origem higrotérmicas (figura 16 a 19).



Figura 16: Vista da fachada sudoeste do Bloco A.



Figura 17: Fissuras na fachada sudoeste do Bloco A.



Figura 18: Vista da fachada sudoeste do Bloco B com fissuras e deslocamento.



Figura 19: Fissuras na fachada sudoeste do Bloco B.

5. Resultados

Os quantitativos de danos estão apresentados na Tabela 1 a Tabela 4.

Tabela 1: Área das Fachadas

QUANTITATIVO DE REVESTIMENTO DAS FACHADAS - BLOCO A						
Revestimento	Unidade	Fachada Noroeste	Fachada Sudeste	Fachada Sudoeste	Fachada Nordeste	TOTAL
Pastilha Branca	m ²	66,59	47,58	-	-	114,17
Pastilha Amarela	m ²	78,47	98,98	-	-	177,45
Pastilha Marrom	m ²	52,36	59,46	-	-	111,82
Pintura	m ²	-	-	258,91	330,38	589,29
Total	m²	197,42	206,02	258,91	330,38	992,73

QUANTITATIVO DE REVESTIMENTO DAS FACHADAS - BLOCO B						
Revestimento	Unidade	Fachada Noroeste	Fachada Sudeste	Fachada Sudoeste	Fachada Nordeste	TOTAL
Pastilha Branca	m ²	41,26	32,10	-	-	73,36
Pastilha Amarela	m ²	92,41	126,08	-	-	218,49
Pastilha Marrom	m ²	52,36	61,11	-	-	113,47
Pintura	m ²	-	-	360,98	391,36	752,34
Total	m²	186,03	219,29	360,98	391,36	1157,66

Tabela 2: Quantitativo de danos da fachada

QUANTITATIVO DE DANOS EM FACHADAS - BLOCO A							
Ocorrência	Unidade	Fachada Noroeste	Fachada Sudeste	Fachada Sudoeste	Fachada Nordeste	Total	Total acrescido de 10%
Som Cavo	m ²	8,98	10,53	-	-	19,51	21,46
Revestimento Solto	m ²	-	-	-	-	-	-
Desplacamento Cerâmico	m ²	0,26	-	-	-	0,26	0,29
Fissura	m	-	-	183,89	188,24	372,13	409,34

QUANTITATIVO DE DANOS EM FACHADAS - BLOCO B							
Ocorrência	Unidade	Fachada Noroeste	Fachada Sudeste	Fachada Sudoeste	Fachada Nordeste	Total	Total acrescido de 10%
Som Cavo	m ²	48,04	31,26	-	-	79,30	87,23
Revestimento Solto	m ²	0,97	2,86	-	-	3,83	4,21
Fissura	m	-	-	146,83	377,09	523,92	576,31
Desplacamento Cerâmico	m ²	5,32	-	-	-	5,32	5,85

Tabela 3: Quantitativo de corrosão bloco B

QUANTITATIVO DE CORROSÃO TORRE B			
Fachada	Unidade	Total	Total acrescido de 30%
Fachada Noroeste	m ²	8,07	10,49
Fachada Sudeste	m ²	0	0
Fachada Sudoeste	m ²	0	0
Fachada Nordeste	m ²	7,16	9,31
Área de Ventilação	m ²	2,1	2,73
Total	m²	17,33	22,53

Tabela 4: Quantitativo total por cor de pastilha

QUANTITATIVO POR COR DE PASTILHA				
Ocorrência	Unidade	Pastilha Branca	Pastilha Amarela	Pastilha Marrom
Som Cavo	m ²	8,61	9,96	83,08
Revestimento Solto e Desplacamento	m ²	4,84	1,20	3,76
Total	m²	13,45	11,16	86,84
Total acrescido de 10%	m²	14,80	12,28	95,52

6. CONCLUSÃO

Nas fachadas com revestimento cerâmico, através da descida do alpinista e realização dos testes de percussão detectou-se vários trechos de som cavo, principalmente nas pastilhas marrons. As fachadas em pintura encontram-se fissuradas e com algumas regiões de corrosão, com principal ocorrência na fachada nordeste do Bloco B. Recomenda-se a troca do sistema de revestimento cerâmico e a impermeabilização da área após a remoção, bem como a imediata recuperação estrutural dos elementos estruturais. De maneira geral a edificação, nos sistemas avaliados, apresenta riscos estruturais, devendo ser realizadas de forma imediata intervenções para a recuperação estrutural dos elementos com corrosão.

7. REFERENCIAS

Normas:

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *NBR 5674*: manutenção de edificações: procedimento. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118*: projetos de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro.

SILVA, T. J (1998), **Predicción de la vida útil de forjados unidireccionales de hormigón mediante modelos matemáticos de deterioro**. 1998. 290f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)

Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações. (1988) *In*: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., 1988, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC p. 157-170.

SOUZA, V.; RIPPER, T (2009), **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI.

VIEIRA, G. L (2003), **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 150p.

Recuperação de fachadas com revestimento pétreo assentado sobre argamassa com argilomineral – Estudo de caso em Salvador-BA

V. A. COELHO^{1*}, M. V. A. S. MENDES², A. R. A. OMORE³, F. G. S. SILVA⁴

*Autor de Contato: mrvoelho@gmail.com

¹PPEC, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

²NUCCTEC, Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Brasil

³Graduado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁴DCE, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

As fachadas, como elementos envolventes de uma edificação, são caracterizadas como o sistema construtivo com maior exposição às condições adversas e agentes agressivos, logo, o mais susceptível à atuação de fenômenos deletérios. O presente estudo buscou analisar as manifestações patológicas atuantes em sistema de fachadas com acabamento em revestimento pétreo de uma edificação na cidade de Salvador – BA. Após identificação das regiões afetadas e diagnóstico das possíveis causas das patologias, foram propostas alternativas de tratamento para correção dos problemas, incluindo a fixação das rochas ornamentais com parafusos em aço inoxidável. Os resultados observados ressaltam a importância da manutenção preventiva para a garantia do desempenho dos revestimentos, sendo a ausência de manutenção por 37 anos a principal causa dos problemas identificados.

Palavras-chave: Manutenção; fachadas; revestimento pétreo; recuperação.

Recover of façades with stone cladding laid on clay-containing mortar – A case study in Salvador-BA

ABSTRACT

Façades, as surrounding elements of a building, are characterized as the construction system with the greatest exposure to adverse conditions and aggressive agents, therefore, the most susceptible to the action of harmful phenomena. The present study sought to analyze pathological manifestations acting in a façade with stone cladding on a building in the city of Salvador – BA. After identifying the affected regions and diagnosing the possible causes of the pathologies, treatment options were proposed to correct the problems, including the fixation of the stones with stainless steel screws. The observed results highlight the importance of preventive maintenance to guarantee the performance of claddings. The absence of maintenance was classified as the main cause of the identified problems.

Palavras-chave: Maintenance; façades; stone cladding; recovering.

Recuperación de fachadas con revestimiento de piedra sobre mortero con arcilla-mineral - Estudio de caso en Salvador-BA

RESUMEN

Las fachadas, como elementos circundantes de un edificio, se caracterizan por ser el sistema constructivo con mayor exposición a condiciones adversas y agentes agresivos, por lo tanto, el más susceptible a la acción de fenómenos nocivos. El presente estudio buscó analizar las manifestaciones patológicas que actúan en un sistema de fachada con acabado de revestimiento de piedra en un edificio de la ciudad de Salvador - BA. Luego de identificar las regiones afectadas y diagnosticar las posibles causas de las patologías, se propusieron opciones de tratamiento para corregir los problemas, incluida la fijación de las rocas ornamentales con tornillos de acero inoxidable. Los resultados observados enfatizan la importancia del mantenimiento preventivo para garantizar el desempeño de los recubrimientos, siendo la ausencia de mantenimiento la principal causa de los problemas identificados.

Palavras-chave: Mantenimiento; fachadas; revestimiento de piedra; recuperación.

1. INTRODUÇÃO

As fachadas de uma edificação exercem diversas funções no desempenho da edificação, garantindo a manutenção do aspecto estético, conforto e segurança dos usuários (RIBEIRO E BARROS, 2010). São também os elementos que, somados à cobertura, compõem a envoltória da edificação e fornecem segurança contra a ação da chuva, vento, umidade, insolação e agentes agressivos atmosféricos, atuando como primeiro ambiente de atuação dos processos degradativos (SILVA et al., 2014).

Desta forma, as fachadas são expostas a uma série de processos deletérios que reduzem progressivamente seu desempenho, dentre os quais se destacam as fissuras, infiltrações,

manchamentos e, em casos mais intensos, descolamento e desagregação dos revestimentos (FREITAS et al., 2010). Para garantir o desempenho em serviço de tais elementos, é indispensável a existência de um plano de manutenção que envolva atividades periódicas e de natureza preventiva, tornando possível a detecção de potenciais danos ainda em fase inicial, evitando assim custos elevados em complexas atividades de recuperação ou nível de degradação tamanho que o uso da estrutura seja inviabilizado (FLORES-COLEN E BRITO, 2010).

O presente estudo de caso teve como objetivo avaliar manifestações patológicas presentes nas fachadas de uma edificação com revestimento pétreo assentado com argamassa contendo alto teor de argilominerais, avaliando-se as ocorrências encontradas frente a possíveis causas com descrição dos métodos empregados para recuperação da integridade do revestimento.

2. METODOLOGIA

2.1 Objeto de estudo

Foram analisadas duas torres de 13 pavimentos em um condomínio residencial, com aproximadamente 37 anos de concluídas na data da vistoria, situado na cidade de Salvador - BA. As edificações possuíam 2 apartamentos por andar, com acabamentos de fachada em revestimento cerâmico e revestimento pétreo (pedras de mármore). O sistema construtivo empregado foi o de concreto armado com alvenaria de vedação.

2.2 Metodologia

Foi realizada inspeção visual com captação de imagens em câmera de alto zoom profissional (Sony DSC H400) nas fachadas, seguida de sondagem à percussão por meio de impactos com martelo de borracha e mapeamento de danos em todas as regiões com revestimento pétreo, identificando e mapeando as regiões afetadas por som cavo à percussão, fissuras na placa pétreo, danos no rejunte e sinais de corrosão dos elementos estruturais.

Também foi analisada a forma de fixação das pedras decorativas e o grau de degradação da camada argamassada nas regiões onde encontrou-se deslocamento ou se fez a remoção das rochas durante mapeamento devido ao risco de queda por falhas de aderência. Após detecção das anomalias, foi realizado diagnóstico do problema e apresentada uma alternativa de solução para recuperação das áreas degradadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Torre A

A remoção de revestimentos com sinais de deslocamento na Torre A permitiu constatar que a fixação das placas foi feita com dois arames metálicos em forma de U, posicionados em ranhuras na parte superior e inferior das placas, agindo como fixadores, juntamente com a aplicação de argamassa em todo o tardo (Figura 1 e Figura 2). Desta forma, a presença de som cavo durante ensaio de percussão está associada a falhas de aderência do revestimento com o substrato.

Também foram identificadas falhas nos rejuntes, propiciando regiões preferenciais para o ingresso de umidade e outros agentes agressivos na estrutura (Figura 3); deslocamento das rochas com desagregação da camada argamassada de suporte (Figura 4); deslocamento decorrente de corrosão das armaduras dos pilares (Figura 5 e Figura 6); presença de cupins em bolsões da camada de revestimento (Figuras 7 a 9) e descolamento parcial (Figura 10).

Como pode ser visto em detalhe na Figura 9, as trilhas de cupim no revestimento se iniciam próximas ao forro do pavimento térreo, que é de madeira. Acredita-se que tais insetos tenham sido atraídos para o forro e encontraram, nas frestas e vazios do revestimento argamassado, espaços para se movimentar e construir seus ninhos.

Destaca-se a baixa qualidade da camada argamassada, com alta pulverulência e baixa resistência à abrasão, desagregando-se facilmente ao toque, situação usualmente encontrada quando há uso excessivo de argilominerais no traço da argamassa.



Figura 1 – Posição dos arames após remoção das placas

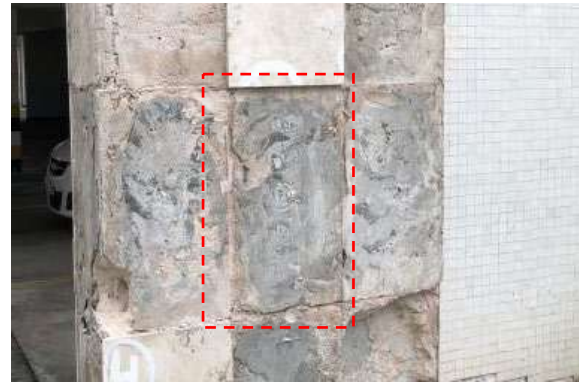


Figura 2 – Remanescente de argamassa em toda a área da placa removida



Figura 3 – Mapeamento de danos na fachada



Figura 4 – Desplacamento do revestimento



Figura 5 – Corrosão nos pilares



Figura 6 – Desagregação da argamassa



Figura 7 – Trilhas de cupim no revestimento



Figura 8 – Detalhe das trilhas de cupim



Figura 9 – Presença de ninhos e trilhas de cupim próximo ao forro de madeira

Figura 10 – Descolamento parcial das pedras

3.2 Torre B

Na Torre B foram identificados danos semelhantes aos apresentados na Torre A, com problemas de rejunte e som cavo (Identificados com código 1 na Figura 11); deslocamento com corrosão (Figura 12); desagregação da argamassa, com excessiva espessura da camada argamassada (15 cm) sem qualquer tipo de reforço (Figura 13); manchamento pontual da superfície, decorrente da oxidação de fixadores com material inadequado que foram utilizados em intervenções anteriores (Figura 14) e detalhes do sistema antigo sistema de fixação com grampos colados no tardo das pedras (Figura 15 e Figura 16).



Figura 11 – Mapeamento de danos na fachada



Figura 12 – Deslocamento e corrosão



Figura 13 – Desagregação da argamassa



Figura 14 – Manchamento de superfície



Figura 15 – Antiga fixação da placa



Figura 16 – Antigos arames de fixação

3.3 Análises e Recomendações

Após mapeamento e análise dos dados coletados, pôde-se concluir que o estado de degradação generalizada do sistema de revestimento teve como principal causa a ausência de manutenções periódicas e preventivas durante os 37 anos de uso da edificação. Possíveis atividades preventivas são listadas pela NBR 5674 (ABNT, 2012), como, por exemplo, a verificação anual da integridade de rejuntamentos e revestimentos, associada à reconstituição, lavagem e inspeção das fachadas e seus elementos constituintes. Tais atividades permitiriam a identificação e correção dos danos ainda em fase inicial, antes que a situação se agravasse aos níveis encontrados durante a presente vistoria, onde o risco de deslocamento passou a ameaçar a segurança dos moradores e tornou necessária intervenção imediata e emergencial.

Observa-se ainda que o sistema de fixação utilizado para os revestimentos, apesar de convencional na época, não fornece segurança para a aderência do revestimento. Como observado durante remoção das placas (Figura 15), a argamassa de assentamento permaneceu quase que inteiramente no substrato, configurando fraca união ao mármore.

Além disso, visto que não foram detectadas rupturas no arame de fixação, pode-se argumentar que seu formato é desfavorável ao ancoramento adequado em ambas as interfaces, ocorrendo sua separação completa quando da remoção de algum elemento. Na interface com as rochas, os grampos eram simplesmente posicionados em pequenos cortes e fixados com adesivo. Já na camada de emboço, a adesão se dava inteiramente pelo atrito entre gancho e argamassa, sendo os fios lisos e inseridos como grampos com pouco comprimento (Figura 16).

É importante salientar que a recuperação estrutural dos pilares afetados por corrosão é prioritária, sendo necessários ensaios mais aprofundados para avaliar o alcance dos danos e assim ser definida metodologia adequada para reparo dos elementos danificados.

Como já exposto, foram identificadas diversas regiões onde o sistema argamassado apresentava excessiva pulverulência, desagregação e destacamento, características usualmente encontradas quando há uso excessivo de argilominerais na dosagem, configurando desempenho inaceitável da camada de revestimento, que deve, no mínimo, se manter coesa e aderida à base. Tais regiões necessitam de substituição local, com aplicação de argamassa adequada para uso em ambiente externo.

É possível que os danos no rejuntamento tenham atuado como entradas preferenciais para o ingresso e acúmulo de água e outros agentes agressivos que outrora seriam conduzidos pelo revestimento íntegro para longe da estrutura. A concentração de tais agentes no interior da camada argamassa pode ter potencializado a degradação do revestimento e os processos corrosivos das armaduras da estrutura de concreto, favorecendo ainda o estabelecimento de colônias e trilhas por organismos biológicos (cupins) que acabam auxiliando na redução da aderência do revestimento.

3.4 Fixação das rochas

A partir das análises realizadas, recomenda-se que seja reforçada a fixação de todas as placas de mármore com parafusos de aço inoxidável com cabeça chata, inseridos em buchas de nylon previamente posicionadas na camada argamassada (Figura 17). É importante que, durante o processo de fixação dos parafusos nas placas, seja feito um furo com diâmetro maior que o da cabeça do parafuso numa profundidade suficiente para que esta possa penetrar na rocha e possibilitar o preenchimento do vazio com resina epoxídica de tonalidade próxima à das placas (Figura 18), garantindo um acabamento estético adequado.



Figura 17 – Parafuso e bucha de fixação



Figura 18 – Revestimento com resina

Após fixação das placas, deve ser reconstituído todo o rejunte danificado, estabelecendo-se ainda boas práticas de conservação das fachadas com limpeza do revestimento e verificação dos rejuntos e solidez das placas por ensaio de percussão no mínimo a cada dois anos.

Cabe destacar que a solução proposta é considerada adequada em função do revestimento já estar aderido à estrutura, servindo como reforço para garantia da aderência das placas de rocha. No caso de novas estruturas, deve-se seguir o preconizado pela NBR 15846 (ABNT, 2010), que determina a fixação de placas pétreas por meio de insertos metálicos, caracterizando assim um sistema de revestimento não aderido (Figura 19 e Figura 20).

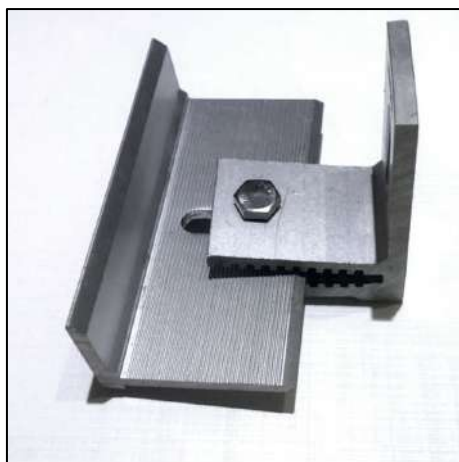


Figura 19 – Inseto metálico



Figura 20 – Suportes de fixação

É importante que os insertos sejam fabricados em aço ABNT 316 (AISI 316), adequados para atmosferas urbanas, marítimas e industriais que contenham cloretos, como é o caso da cidade de Salvador. A fixação dos suportes no tardo das placas pode ser feita de forma química, com adesivo

estrutural, ou mecânica, com fixadores especialmente projetados para cada placa, sendo determinada em função do tipo de inserto e de placa a ser fixada.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo de caso encontrou um elevado grau de deterioração do sistema de revestimento da edificação analisada. Tal estado pode ser associado principalmente à falta de inspeções periódicas e atividades de manutenção preventiva que pudessem garantir o funcionamento adequado do sistema durante sua vida útil.

O uso excessivo de argilomineral no traço da argamassa de revestimento foi identificado como principal causa associada à pulverulência e falta de aderência da camada de emboço. Tal ocorrência atuou juntamente à falta de confiabilidade do antigo sistema de fixação das placas pétreas para o comprometimento da segurança dos usuários da edificação, dado o risco de deslocamento e queda das peças de mármore de alturas elevadas. Desta forma, ficou evidente a necessidade de intervenções imediatas que reconstituam a camada de emboço e promovam a fixação adequada das placas à base argamassada.

Existe ainda uma falsa crença de que acabamentos cerâmicos e pétreos não necessitam de manutenção preventiva em curtos espaços de tempo. Uma afirmação incorreta, especialmente no que diz respeito ao uso de tais materiais em fachadas, dada as intensas condições de exposição aos agentes agressivos e heterogeneidade intrínseca do sistema, composto por diversas camadas, que, assim como qualquer outro sistema construtivo, tem seu desempenho dependente de manutenções periódicas de natureza preventiva.

Dado o exposto, destaca-se a importância da manutenção preventiva nos sistemas de revestimento de fachadas, com destaque àqueles com acabamento em revestimento pétreo, elementos com grandes dimensões e massa que exigem atenção especial para garantia de sua fixação.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio e incentivo à pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *NBR 5674: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575-1: Rochas para revestimento – Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos - Requisitos gerais*. Rio de Janeiro.

Silva, M. N. B.; BAUER, E.; CASTRO, E. K. “Avaliação da degradação em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas de Brasília” in I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Universidade de Coimbra, Portugal, 2014.

Ribeiro, F. A.; Barros, M. M. S. B. (2010), “*Juntas de Movimentação em Revestimentos Cerâmicos de Fachada*”. Pini, São Paulo, Brasil.

Freitas, J. G. DE; Carasek, H.; Cascudo, O. “Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura”. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1, p. 57-73, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000100006>

Flores-Colen, I.; Brito, J. “A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies”. *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 9, p. 1718-1729, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.017>

Avaliação de patologias construtivas em estruturas de concreto armado de edifício com mais de 20 anos de idade

P. Welltten Camargos^{1*}

*Autora de Contato: priscilawelltten@gmail.com

¹ Especialista em Avaliação de Imóveis pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e em Vistoria e Inspeções pelo Instituto Brasileiro de Educação Continuada (Inbec), Belo Horizonte, Brasil

RESUMO

Este artigo apresenta e discute os resultados de uma inspeção realizada nos dois níveis que constituem a garagem de um edifício residencial em Belo Horizonte, construído na década de 1990. A inspeção consistiu no levantamento, no registro e na análise das estruturas em concreto armado: lajes, vigas e pilares. Com auxílio de drone, analisou-se a fachada, para identificar visualmente anomalias na estrutura, não sendo realizado nenhum ensaio destrutivo. Aferiu-se que as estruturas apresentavam anomalias devido a falha de estanqueidade, que possibilita a passagem de água pelos poros do concreto e acarreta lixiviação e surgimentos de manchas (eflorescência). Diante do diagnóstico, foram propostas ações inibir a ação da água e tratar os elementos estruturais comprometidos, prolongando a vida útil do edifício.

Palavras-chave: inspeção; concreto armado; anomalias; falha de estanqueidade; engenharia diagnóstica.

Citar como: Welltten Camargos, P. (2021), “Avaliação de falhas e vícios construtivos em estruturas de concreto armado de edifício com mais de 20 anos desde a construção” in: XVI Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción e VIII Congreso de Control de Calidad en la Construcción (2021 Congressos CONPAT), Brasil.

Evaluación de patologías constructivas en estructuras de hormigón armado en un edificio con más de 20 años de servicio

RESUMEN

Este trabajo presenta y discute los resultados de una inspección realizada en los dos niveles que constituyen el garaje de un edificio residencial en Belo Horizonte, construido en la década de 1990. La inspección consistió en el levantamiento, registro y análisis de estructuras de hormigón armado: losas, vigas y pilares. La fachada se analizó mediante un dron para identificar visualmente anomalías en la estructura, sin que se realizaran pruebas destructivas. Se verificó que las estructuras presentaban anomalías por filtración, lo que permite el paso del agua por los poros del hormigón y provoca la lixiviación y la aparición de manchas (eflorescencias). Ante el diagnóstico, se plantearon acciones para inhibir la acción del agua y tratar los elementos estructurales comprometidos, prolongando la vida útil del edificio.

Palabras clave: inspección; hormigón armado; anomalías; infiltración; diagnóstico.

Evaluation of constructive pathologies in reinforced concrete structures in a building with more than 20 years of service

ABSTRACT

This paper presents and discusses the results of an inspection carried out on the two levels that constitute the garage of a residential building in Belo Horizonte, built in the 1990s. The inspection consisted of surveying, registering and analyzing reinforced concrete structures: slabs, beams and pillars. The façade inspection included a drone guided damage survey to visually identify anomalies in the structure. No destructive testing has being carried out. The governing deterioration mechanism of the structure was leakage, which causes leaching and the appearance of stains (efflorescence). In view of the diagnosis, actions were proposed to inhibit the action of water and treat the compromised structural elements, prolonging the useful life of the building.

Keywords: inspection; reinforced concrete; anomalies; infiltrations; diagnostic engineering.

1. INTRODUÇÃO

Ao se projetarem estruturas de concreto armado, é calculável que algumas partes da estrutura – tais como os aparelhos de apoio, caixões, insertos, impermeabilizações e outros, tenham vida útil inferior à do todo. A fim de evitar os graves problemas que podem ser derivados da deterioração dessas partes, é imprescindível que, já no projeto, sejam previstos meios adequados de acesso a toda a estrutura, em especial àqueles componentes cuja vida útil seja mais breve do que a do todo (ABNT, 2003).

As inspeções na estrutura de concreto são um mecanismo da engenharia que visa a determinar a condição das estruturas, definir a vida útil e indicar pontos de manutenção preventiva e corretiva. Ela é uma ferramenta diagnostica essencial durante a etapa de utilização, e sua responsabilidade é do usuário, ou seja, síndicos, administradores de condomínio e moradores.

A durabilidade das estruturas “requer cooperação e esforços coordenados de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização” (ABNT, 2003, p. 19). E, tamanha é a relevância da inspeção dentre os esforços que devem ser empregados para fazer das estruturas mais duráveis, que a norma técnica da ABNT NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, preconiza que “o conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção” (ABNT, 2003, p. 24).

Mais do que isso, previu a norma técnica que, a depender do porte da construção e da agressividade do meio, para algumas estruturas seja cabível a produção, por profissional habilitado e devidamente contratado, um manual de utilização, inspeção e manutenção. Elaborado com base nas informações dos projetos, dos materiais e produtos utilizados e da execução da obra, “deve especificar de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessárias para garantir a vida útil prevista para a estrutura, conforme indicado na ABNT NBR 5674” (ABNT, 2003, p. 192).

Contudo, não existem, atualmente, normas ou meios que garantam a conservação e o arquivo dos projetos estruturais, sendo essa uma questão de necessária melhoria. Ocorre que a avaliação dos projetos é ponto basilar do trabalho de inspeção.

Assim como os projetos arquitetônicos, que se encontram arquivados nas prefeituras dos municípios no qual foram validados, seria interessante que também o projeto estrutural fosse protocolado e arquivado. Isso poderia garantir maior rastreabilidade e propiciaria a conservação dos edifícios e residências.

Quando de posse dos projetos estruturais, é factível identificar desvios resultantes de obras ou reformas, que possam impactar a capacidade portante de uma determinada estrutura ou elemento. Se, caso contrário, o engenheiro avaliador não tiver acesso aos projetos, será preciso avaliar o histórico da edificação – obras, reformas e melhorias – por meio de uma anamnese com proprietários e/ou responsáveis pela edificação.

Mas, ainda que tenha acesso aos projetos estruturais, é imprescindível que o engenheiro avaliador verificar e revisar as áreas e metragens dos projetos preexistentes.

Buscando contribuir para a identificação das principais anomalias que acometem estruturas de concreto com entre 20 e 30 anos de utilização, este artigo é um estudo de caso, em que são apresentados e discutidos os resultados de uma inspeção realizada nos dois níveis que constituem a garagem de um edifício residencial em Belo Horizonte, construído na década de 1990.

O trabalho pericial seguiu incondicionalmente as determinações dos órgãos regentes no que tange à construção civil, como, por exemplo, Associação Brasileira de Normas Técnicas e Corpo de Bombeiros de Minas Gerais.

A inspeção consistiu no levantamento, no no registro e na análise das estruturas em concreto armado: lajes, vigas e pilares. Ademais, analisou-se a fachada, com auxílio de imagens captadas por drone, para identificar visualmente anomalias na estrutura, não sendo realizado nenhum ensaio destrutivo.

Apurou-se que as principais causas das anomalias apresentadas pelas estruturas estavam relacionadas a falhas de estanqueidade – o que possibilita a passagem de água pelos poros do concreto e acarreta lixiviação e surgimentos de manchas (eflorescência) – intensificadas por falhas de projeto. Diante do diagnóstico, foi possível propor ações inibir a ação da água e tratar os elementos estruturais comprometidos, prolongando a vida útil do edifício.

2. ANOMALIAS ESTRUTURAIS

As anomalias em edificações podem ser causadas tanto por fatores intrínsecos, quanto por fatores extrínsecos. Relacionados a deficiências de projeto ou de execução da obra ou a de falhas de utilização, deterioração natural ou pelo esgotamento da vida útil do componente, os fatores internos são inerentes ao próprio imóvel. Os fatores externos, por sua vez, são produzidos por terceiros, não previstos quando da execução da obra (Ripper e Souza, 1998).

2.1 Origem da anomalia

Diversos são os tipos de anomalias que podem fazer com que o usuário solicite uma inspeção em estrutura de concreto armado: sobrecarga, deformações (fissuras, trincas e rachaduras), deslocamento, modificações em projetos, estalos ou barulhos, pontos de corrosão, armadura exposta, estrutura exposta a altas temperaturas, etc.

Diversas também podem ser os fatores dos quais originam tais anomalias (ou avarias): endógenos, exógenos, naturais e funcionais, ou construtivos, congênitos ou adquiridos. A cada uma dessas tipologias de origens corresponde uma definição técnica convencional.

2.1.1. Anomalias exógenas

São aquelas originadas de fatores externos ou decorrentes de ação de terceiros, a exemplo dos choques mecânicos, exposições dos sistemas pericliados a gases ou líquidos corrosivos, desgaste excessivo por abrasividade não projetada, explosões por imperícia do usuário etc.

2.1.2. Anomalias adquiridas

Ocorrem durante a vida útil dos revestimentos, podendo ser naturais, decorrentes da agressividade do meio, ou decorrentes da ação humana, em função da manutenção inadequada ou realização de interferência incorreta nos revestimentos, danificando as camadas e desencadeando um processo patológico.

2.1.3. Anomalias congênitas

Originárias da fase de projeto, erros e omissões de profissionais, como falhas de detalhamento e concepção inadequada dos revestimentos.

2.1.4. Anomalias construtivas

São provenientes do emprego de mão de obra despreparada, do uso de produtos não certificados e da ausência de metodologia adequada para assentamento das peças durante a execução da obra.

2.1.5. Anomalias funcionais

Derivam do desgaste do material ou da sua degradação após significado tempo de vida do sistema edificante, em uso repetitivo ou contínuo.

2.1.6 Anomalias naturais

Decorrem principalmente, das condições climáticas previsíveis ou não, onde o calor e o sol intensos, o frio excessivo, as chuvas torrenciais, o granizo, as ventanias e as demais ações naturais podem causar avarias ou alterar as condições de funcionamento dos sistemas projetados.

2.1.7. Anomalias endógenas

São aquelas originadas do próprio sistema edificante periciado, como erro de projeto, material diverso ao especificado pelo projetista, ou de qualidade, assim como desacerto na execução ou execução descuidada.

2.2. Falhas e vícios construtivos

Além da classificação das anomalias de acordo com suas origens, faz-se necessário diferenciar falhas de vícios construtivos. É chamado vício um erro oriundo do processo da edificação. Já a falha é um erro oriundo do processo da manutenção.

2.2.1 Vícios Construtivos

São anomalias da construção, vícios por inadequação de qualidade prometida ou esperada, são falhas que tornam o imóvel impróprio para o uso ou lhe diminuem o valor.

2.2.2. Defeitos

São falhas que fazem com que o funcionamento de produtos ou serviços afetem ou passem a afetar a saúde e segurança do consumidor. Os vícios ou os defeitos podem ser aparentes ou ocultos (que diminuem, ao longo do tempo, o valor da coisa ou a tornam imprópria ao uso a que se destina). Se o consumidor, no momento da aquisição do serviço ou produto, tivesse conhecimento do vício oculto, poderia pleitear um abatimento no preço ou desistir da compra. Por essa razão,

2.2.3. Danos

São consequências dos vícios e defeitos, que, na construção civil, afetam a própria obra, o imóvel vizinho, os bens ou pessoas nele situados, ou, ainda, ainda terceiros (transeuntes e outros).

2.3. Levantamento de origens das avarias

Durante os trabalhos periciais, quando constatadas anomalias adquiridas por sobrecarga – como deformações, estalos ou barulho – e exposição da estrutura a altas temperaturas, será imprescindível ter em mãos os projetos estruturais da edificação. Dessa forma, é possível avaliar se a manifestação patológica possui como causa o dimensionamento ou a sobressolicitação do sistema.

No entanto, como já mencionado, mais de 60% dos imóveis com idade superior a 20 anos não possuem arquivados os projetos estruturais. Essa característica interfere diretamente no custo da análise.

Na ausência de projeto será necessária uma “conversa” com a estrutura. Nessa “conversa”, durante a qual tem grande valor a experiência do engenheiro avaliador, busca-se entender o comportamento da estrutura e suas solicitações de carga e tensão. O que os olhos e o conhecimento prévio não forem capazes de determinar, deve ser examinado por meio de ensaios – não destrutivos e/ou destrutivos – específicos, visando, sobretudo, a um levantamento preciso e dimensional das estruturas.

Esse levantamento dará origem ao cadastramento estrutural, que pode ser compreendido como o levantamento das dimensões e disposições dos elementos estruturais e posterior consideração de cargas com base no procedimento executivo adotado.

Tendo em mãos os projetos estruturais e as memórias de cálculo utilizadas, é possível limitar e abreviar o percurso necessário para o diagnóstico final.

3. ESTUDO DE CASO: PLANO DE INSPEÇÃO

Para o caso em estudo elegeu-se a inspeção de um edifício residencial de 16 pavimentos, de construção que data da década de 1990, na região Centro-Sul da cidade de Belo Horizonte (Brasil). A opção se deu pelo fato de tratar-se de um caso representativo dos imóveis com idade superior a 20 anos, que compõem parcela importante das estruturas que os engenheiros diagnósticos são chamados a inspecionar, e que, na maioria dos casos, não têm seus projetos estruturais arquivados, representando um desafio a mais para a durabilidade da construção.

A inspeção do edifício foi realizada nos dois níveis que constituem a garagem, a fim de apurar a condição em que se encontravam as estruturas em concreto armado: vigas, pilares e lajes.

Foi realizada uma inspeção de nível 2, caracterizada pela vistoria para o reconhecimento das anomalias aparentes, por meio de um grupo plurifacetado de especialistas, com auxílio de equipamentos e contando, ao final, com orientação técnica pertinente.

3.1. Inspeção preliminar

A primeira e segunda visitas ao empreendimento tiveram como objetivo o levantamento das áreas, e a verificação das metragens dos projetos preexistentes.

3.2 Inspeção detalhada

Na terceira e na quarta visitas, com o apoio do projeto já revisado, houve o mapeamento das anomalias conforme suas localizações, gerando o projeto “Mapeamento de falhas e vícios construtivos”, que foi apresentado em duas pranchas, uma para cada nível do estacionamento.

A inspeção consistiu no levantamento e na análise das estruturas em concreto armado (lajes, vigas e pilares), sendo cada uma delas devidamente registrada.

Além disso, a fim de identificar visualmente anomalias na estrutura, houve a análise da fachada com a utilização de drone.

Nenhum ensaio destrutivo foi realizado.

4. DIAGNÓSTICO E DISCUSSÃO

Na inspeção realizada verificou-se a degradação dos elementos estruturais – pilares, vigas e lajes – devido à ausência de estanqueidade. Ela ocorreu tanto entre os pavimentos, o que facilitou a percolação de água nas lajes e no encontro das vigas, quanto na base dos pilares, o que corroborou para a percolação de água por capilaridade.

O processo de percolação de água nas estruturas, juntamente com a exposição dos elementos ao CO² e ao oxigênio, provocou a ocorrência de manifestações patológicas, que, após análise detida, foram classificadas por local e por nível de deterioração, do Nível 00 ao Nível 08, como explicitado:

- Nível 00: ausência de manutenção;
- Nível 01: manchas esbranquiçadas na face inferior devido ao processo de lixiviação do hidróxido de cálcio;
- Nível 02: expansão da frente da carbonatação;
- Nível 03: avanço da frente de carbonatação e influência na camada passivadora existente entre o aço e o concreto;
- Nível 04: corrosão das barras metálicas;

- Nível 05: formação de trincas no concreto paralelas as armaduras;
- Nível 06: segregação e/ou lascamento superficial da camada de cobrimento;
- Nível 07: exposição das armaduras;
- Nível 08: perda da seção do aço.


Além do nível de deterioração, as anomalias foram avaliadas em relação ao grau de risco que representam, podendo ser crítico, regular ou mínimo.






- Crítico: impacto irrecuperável, relativo ao risco contra a saúde, a segurança do usuário e do meio ambiente, bem como perda excessiva de desempenho. Neste caso, recomenda-se intervenção imediata.
- Regular: impacto parcialmente recuperável, relativo ao risco quanto à perda parcial de funcionalidade e desempenho. Recomendam-se programação e intervenção em curto prazo.
- Mínimo: impacto recuperável, relativo a pequenos prejuízos, sem incidência ou probabilidade de ocorrência dos riscos acima expostos. Recomendam-se programação e intervenção a médio prazo.

Levando em conta o nível de deterioração e o grau de risco das anomalias, bem como seu local de ocorrência, a estrutura acometida e a incidência da anomalia (que pode ser pontual, quando surge em algum ponto da estrutura, ou generalizada, quando incide sobre grande área da estrutura), foi possível elaborar um quadro detalhando cada uma das avarias identificadas em cada uma das estruturas inspecionadas. Ao final, para representar as falhas identificadas e facilitar a compreensão pelos usuários e contratantes da inspeção acerca das anomalias referidas, cada uma delas foi caracterizada por uma foto representativa. Importa destacar que essa caracterização com foto representativa das avarias em tabela não dispensa a apresentação de relatório fotográfico detalhado das anomalias, mas o complementa.

A título de exemplo, na Tabela 1, abaixo, é possível observar a parte do quadro referente às anomalias encontradas nos pilares do primeiro nível. Constam do laudo técnico, contudo, análises semelhantes acerca das anomalias encontradas nas lajes, nos pilares e nas vigas tanto do primeiro, quanto do segundo níveis.

Tabela 1. Nível, grau de risco, incidência, estrutura atingida e caracterização fotográfica das anomalias encontradas nos pilares do 1º nível.

Local	Nível de deterioração	Grau de risco	Incidência da anomalia	Estrutura	Caracterização
Pilar 1º nível	00	Mínimo	-	P10, P11, P15, P24	

Pilar 1º nível	03	Regular	Pontual	P2, P4, P7, P13, P20	
Pilar 1º nível	05	Regular	Pontual	P6, P19, P22	
Pilar 1º nível	06	Regular	Pontual	P3, P9, P12, P14, P16, P21	
Pilar 1º nível	07	Regular	Pontual	P1, P5, P8, P18	
Pilar 1º nível	08	Regular	Pontual	P17, P23	

4.1. Causas

Quando apuradas condições patológicas relacionadas à corrosão das armaduras, é necessário definir o mecanismo de deterioração. Em estruturas de concreto armado o processo corrosivo pode ocorrer por fatores relacionados ao projeto, à metodologia executiva, ao material, ou à ausência ou ineficácia dos procedimentos de manutenção preventiva e corretiva.

Inicialmente, verificou-se percolação de água através dos poros do concreto da estrutura, acarretando fenômenos que degradam as lajes, as vigas e os pilares. Por essa razão, tendo em vista que a falha se relaciona com a estanqueidade, os agentes causadores das anomalias no edifício inspecionado foram, de pronto, classificados quanto à causa extrínseca.

Quando não há um sistema de impermeabilização que garanta a estanqueidade do local, há o surgimento de anomalias no elemento. Assim, a estrutura da garagem apresenta manchas esbranquiçadas, denominadas eflorescências (como ilustrado na Figura 1.a), e, quando em intensidade e frequência, há formação das estalactites (observáveis na Figura 1.b), o que também foi identificado na laje da garagem.



Figura 1. Registros fotográficos das anomalias formadas por lixiviação na estrutura da laje do 1º nível da garagem: a) eflorescências na laje L12; b) estalactites na laje L10.

Aliadas à falha de estanqueidade, foram identificadas falhas que se associam a causas intrínsecas, uma vez que há a exposição de armaduras devido à falta de cobertura do concreto destinado à proteção da armadura, como demonstrado na Figura 2. Isso caracteriza a ocorrência de uma falha na etapa de execução da estrutura, além da concentração de gases no ambiente pela falta de ventilação do local.



Figura 2. Registros fotográficos das anomalias associadas a causas intrínsecas à estrutura: a) exposição das armaduras na viga V1b, localizada no primeiro nível da garagem; b) exposição das armaduras na laje L12, no segundo nível da garagem.

A corrosão de armadura é manifestação patológica com um dos maiores índices de ocorrência no concreto armado, sendo que, no Brasil, o índice varia de 14% a 64% (Carmona et al., 1988; Dal Molin, 1988; Andrade, 1997). A corrosão implica na redução da área da barra de aço, e consequentemente, na diminuição da capacidade portante da estrutura, além da deterioração estética. Dessa forma, deve ser considerado o estado atual da estrutura e identificar as intervenções apropriadas, a fim de manter a capacidade de desempenho de suas funções.

4.2. Pilotis

A área de pilotis encontra-se em um pavimento superior ao 2º nível de garagem, de modo que as falhas de estanqueidade lá aferidas estão associadas a esse pavimento. No local, durante a aferição por meio de vistoria, notou-se que algumas peças do piso apresentavam som cavo.

Assim sendo, alertou-se sobre a necessidade de realizar o teste de percussão antes de proceder com metodologia de reparo no piso. Com tal teste será possível identificar as peças que estejam sem aderência ao substrato. Identificadas as peças, elas devem ser removidas e as que se apresentem aproveitáveis devem ser limpas para que, ato contínuo, seja realizado seu reassentamento. Entre o rejuntamento do piso, foi identificado o crescimento de vegetação, que deve ser removida, assim como o rejunte, para que haja uma nova aplicação de rejunte, conforme indicado nos procedimentos de reparo.



Figura 3. Pavimento Pilotis, que se encontra acima do 2º nível da garagem: a) local onde serão tratadas as falhas de estanqueidade da laje do 2º nível da garagem e após teste de percussão no piso; b) vista de pilares existentes no pavimento pilotis.

Considerando que os pilares de sustentação da edificação se encontram no pavimento pilotis, como demonstrado pela Figura 3.b, não é possível conceber um programa de reparação sem que haja a avaliação dessa estrutura. Indicou-se realizar a avaliação do estado atual da estrutura mediante remoção de parte do revestimento.

Alerta-se, contudo, para a possibilidade de perda de peças durante o procedimento, e, dada a indisponibilidade de peças equivalentes no mercado atual, não haver substituição de mesma tonalidade das peças existentes. Calcula-se, porém, que a retirada do revestimento para verificação pontual dos pilares seja imprescindível para um diagnóstico primoroso da situação das estruturas que sustentam o edifício.

4.3. Fachada

Com o auxílio de um drone, também a fachada foi objeto de vistoria a fim de identificar anomalias. A vistoria consistiu em uma avaliação visual, não tendo sido realizado nenhum ensaio destrutivo. Todavia, indicou-se, como demonstra a Figura 4.d, a necessidade de executar teste de percussão para um parecer satisfatório, antes de se realizarem as metodologias de reparo a serem efetuadas na fachada.

O teste de percussão visa a mapear a fachada, verificando as peças que apresentam som cavo devido a falhas de aderências ao substrato. Em seguida ao teste de percussão, as peças identificadas com falha de aderência, devem ser removidas e, quando for possível realizar o seu aproveitamento, deve ser realizada a limpeza do tardo da peça, para posteriormente realizar novo assentamento da peça. Nas varandas dos apartamentos localizadas junto à fachada, foi verificada a formação de trincas junto ao revestimento (Figura 4.e). Para sua tratativa, após a execução de limpeza do revestimento é indicável a aplicação de um produto a fim de promover a vedação, conforme será indicado nos procedimentos de reparos. No que tange às vigas de bordas localizadas no último pavimento, há grande incidência de trincas, e a aferição das armaduras se faz necessária. Dessa forma, não foi indicada nenhuma metodologia de reparo para o local. É necessário que primeiro haja a quebra do

concreto para verificar as condições das barras de aço que se encontram no interior. Ou, ainda, pode ser realizado o ensaio de potencial de corrosão, para mesma aferição.



Figura 4. Vistorias da fachada capturada com o auxílio de drone: a) vista da fachada posterior; b) revestimento em pedras de granito; c) na fachada já houve recomposição do revestimento em pastinha que se deu em outra tonalidade; d) manchas no revestimento das pedras. Indica-se a realização do teste a percussão para verificação da aderência das peças; e) devido à presença de manchas e trincas, é necessário realizar a quebra do material ou um ensaio de potencial de corrosão, de modo a aferir as barras de aços no interior do concreto; f) vista da cobertura.

5. LEVANTAMENTO QUANTITATIVO DAS ESTRUTURAS

A partir de levantamento do, vistoria e avaliação das estruturas, foi possível classificá-las de 00 a 08, de acordo com os níveis de deterioração estrutural que apresentavam. Com base nesses dados,

elaborou-se a Tabela 2, que apresenta o quantitativo referente à área de laje, ao comprimento de viga e à quantidade de pilares totais que apresentavam avarias de cada nível de deterioração. Esse levantamento quantitativo é de grande importância para que se tenha uma visão geral da extensão e complexidade das obras necessárias a tratar das estruturas do edifício que estejam com avarias.

Tabela 2. Quantitativo das estruturas.

As unidades de medida utilizadas são: a) laje: m²; b) viga: m; c) pilar: unidade.

NIVEL	00	01	02	03	04	05	06	07	08
Laje 1º nível (anomalia pontual)	799,30	19,16	-	-	-	-	1,44	51,82	0,40
Laje 1º nível (anomalia generalizada)	-	-	-	-	-	-	-	3,32	2,23
Viga 1º nível	280,48	14,69	-	-	-	-	-	33,86	-
Pilar 1º nível	24 unid			4 unid (25x25) 1 unid (66X100)		1 unid (25x25) 1 unid (45X120) 1 unid (35X113)	5 unid (25x25) 1 unid (116X33)	3 unid (25x25) 1 unid (60x100)	1 unid (120x30) 1 unid (25X110)
Laje 2º nível (anomalia pontual)	1643,78	13,77	-	-	5,79	-	6,74	29,34	-
Laje 2º nível (anomalia generalizada)	-	-	-	-	-	-	-	6,6	-
Viga 2º nível	770,22	60,15	-	-	11,76	4,8	30,71	49,69	4,55
Pilar 2º nível	70 unid	-	-	3 unid (25x25) 1 unid (30x100) 1 unid (25x50) 2 unid (40x100)	3 unid (25x25) 3 unid (100x30) 1 unid (45x100) 1 unid (65x25)	3 unid (25x25) 1 unid (8025) 2 unid (25x50)	2 unid (25x25) 2 unid (100x30) 1 unid (40x100)	2 unid (25x25) 1 unid (35x25) 1 unid (35x35) 1 unid (35x110)	1 unid (25x110) 1 unid (25x50)

Destaca-se que a tratativa a ser realizada nas estruturas cujas avarias sejam de nível 00 refere-se ao tratamento superficial no concreto, tratativa esta que será aplicada também a todas as estruturas, após respectivos tratamentos de recuperação indicados.

6. ALTERNATIVAS DE REPARO

Após a realização da vistoria, propuseram-se distintas metodologias para adequadamente tratar as estruturas de concreto armado, de acordo com as anomalias apresentadas por cada uma.

O procedimento de impermeabilização deve ser realizado no 2º nível de garagem e no pilotis. A proteção superficial de concreto é indicada para todas as lajes em sua face inferior, assim como para todos os pilares e vigas em toda sua extensão.

Os tratamentos de recuperação somente devem ser realizados nas estruturas com indícios de corrosão e com manifestações patológicas decorrentes desse fenômeno, sendo adotado o tipo 01. E, quando identificada a perda de seção superior a 10%, recomendou-se a adoção do tipo 02.

No que diz respeito ao tratamento da fachada que não esteja relacionado a falhas estruturais, indicou-se a aplicação de procedimento de proteção superficial, o mesmo cabendo para as varandas.

Na tabela abaixo, é possível observar a relação entre anomalias, o tratamento a elas indicado e as opções para viabilização dessa metodologia.

Tabela 3. Tratativas relacionadas às estruturas de concreto armado.

Anomalias	Tratamento	Opções
Eflorescência e manchas – Nível 00	Impermeabilização ou melhora da drenagem	Manta asfáltica ou membrana de poliuretano
Carbonatação superficial (sem indícios de corrosão)	Tratamento superficial	MC-Color Proof Pure - Emcephob WM
Carbonatação superficial (com corrosão)	Tratamento semi profundo	Detalhe especificado no item de recuperação estrutural tipo 01
Corrosão com perda de seção do aço	Tratamento profundo	Detalhe especificado no item de recuperação estrutural tipo 02
Ausência ou deficiência de estanqueidade garagens	Impermeabilização ou melhora da drenagem	Manta asfáltica ou membrana poliuretano ou pintura tipo epóxi
Ausência ou deficiência estanqueidade pilotis	1) Rejuntamento das pedras 2) Impermeabilização da área integral	Manta asfáltica ou membrana poliuretano
Proteção das vigas, pilares e lajes (sem indícios de anomalias)	Tratamento superficial	Detalhe especificado no item de proteção superficial concreto tipo 01
Proteção da fachada	1) Lavagem da fachada 2) Novo rejuntamento das peças 3) Tratamento superficial	Detalhe especificado no item de proteção superficial fachada tipo 01
Varandas dos apartamentos	Tratamento superficial	Detalhe especificado no item de proteção superficial concreto tipo 01
Procedimentos especificados vide memorial descritivo, assim como a indicação dos produtos para aplicação.		

7. CONCLUSÕES

A vida útil da estrutura compreende o período durante o qual a estrutura mantém um limite mínimo de serviço para qual foi projetada. Quando a estrutura se encontra deteriorada deve ser implementado um programa de reparo e recuperação, antes que alcance um nível inaceitável. A inspeção é uma ferramenta para verificar o estágio atual das estruturas e, assim, traçar as melhores

estratégias para tratar adequadamente as partes avariadas, prolongando a vida útil das estruturas de concreto armado.

Neste artigo, como forma de contribuir para a compreensão das anomalias mais comuns em estruturas de concreto armado com entre 20 e 30 anos de idade, realizou-se um estudo de caso baseado na inspeção de edifício residencial localizado na região Centro-Sul de Belo Horizonte-MG (Brasil). A vistoria consistiu no levantamento in loco das regiões e das anomalias identificadas nas áreas de garagem, que compõem os níveis 1º e 2º do empreendimento, a fim de propor técnicas e a metodologia a serem empregadas para reparo das estruturas.

Foi aferido que as estruturas de concreto armado que constituem as áreas de garagem, tais como as vigas, pilares e lajes, apresentam anomalias devido a falha de estanqueidade, que possibilita a passagem de água pelos poros do concreto e acarreta na lixiviação e surgimentos de manchas (eflorescência). Houve a degradação do concreto armado, devido ao processo de carbonatação, com o qual instaurou-se o fenômeno de corrosão das barras de aço no interior do elemento. Todo esse processo resulta em produtos de óxidos de ferro que expandem e fraturam o concreto, provocando manifestações patológicas visíveis no concreto: lascamento do concreto, manchas marrom-avermelhadas e fissuração.

Em vista do cenário encontrado, dá-se a necessidade de recuperação da estrutura, uma vez que os fenômenos nela implantados têm potencial de redução da resistência portante. Dessa forma, foi indicada metodologia a ser executada a fim de inibir a ação da água e tratar os elementos estruturais comprometidos. Quanto às fachadas e varandas, foi verificado que não havia comprometimento do sistema construtivo, sendo indicado somente procedimentos de proteção.

O ingresso de agentes agressivos no interior do concreto pode estar relacionado ao projeto, quanto ao posicionamento e cobrimento das barras metálicas; ao material, quanto à qualidade do adensamento e à relação água/cimento; e às etapas de manutenção, tendo como base agravante ao mecanismo de deterioração as influências do meio ambiente e a localização do elemento estrutural. A concentração de CO_2 , a umidade relativa do ar, a temperatura e a condição química do cimento podem acelerar o avanço da frente de carbonatação.

A penetração de substâncias como a água, CO_2 e o oxigênio é facilitada pela da rede de poros e fissuras, elementos que promovem a carbonatação do concreto (a condição inicial da corrosão das armaduras), que ocorre pela penetração do gás carbônico ao longo da camada de concreto até atingir as barras de aço. Embora a carbonatação seja um processo lento, quando não impossibilitado seu avanço para o interior do concreto, esta ação reduz o pH do concreto a níveis insuficientes para manter o estado passivo das armaduras, formando uma corrosão generalizada na barra de aço. Desse modo, a identificação e análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, em especial naquelas que, como 60% dos edifícios com mais de 20 anos, não têm seus projetos estruturais registrados, é essencial para a manutenção de sua vida útil. Apenas com o olhar técnico atento é possível “conversar” com a estrutura para entender suas solicitações de carga e tensão e avaliar as ações necessárias para corrigir eventuais anomalias.

8. REFERENCIAS

Andrade, J. (1997), “*Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no Estado de Pernambuco.*”, dissertação de mestrado, mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003), NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.

- Carmona Filho, A., Marega, A. (1988), “A retrospectiva da patologia no Brasil: estudo estatístico” in: Trabajos apresentados em la Jornada Español y Portugues sobre Estructuras y Materiales. Madrid, CEDEX/ICcET, pp. 99-124.
- Dal Molin, D.C.C. (1988), “*Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul*”, dissertação de mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Fortes, F. J. (1994), “*Patologia e terapêutica das construções: um panorama. Revista da ‘Jornada Professor Hernani Sobral’*”, Salvador.
- Loresini, R.V. (2006), “*Avaliação probabilística da deterioração de estruturas em concreto armado*”. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG.
- Ollivier, J.P., Vichot, A. (2014), “*Durabilidade do concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente*”, Ed tradução: Cascudo, O., Caraesk, H. São Paulo, IBRACON.
- Red Rehabilitar. (2003), “*Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto: Reparo, Reforço e Proteção*”, editores. São Paulo, 2003.
- Ripper, T., Souza, V. C. M. (1998), “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*”, São Paulo, Pini.

USO DE DRONES NA ÁREA DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES: ANDAMENTO DA PESQUISA NO BRASIL

B. Rosa^{1*}, V. Gonçalves², J. Luz³, W. Pereira⁴, A. Passuello⁵

*Autor de Contato: brunarosa94@hotmail.com

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA, Brasil, brunarosa94@hotmail.com

² Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil, vanessaedfgg@gmail.com

³ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA, Brasil, jessica_stephany@hotmail.com

⁴ FACTIVA, Valença-BA, Brasil, w.pereira@hotmail.com

⁵ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA, Brasil, passuello@ufrb.edu.br

RESUMO

A aplicação dos drones nas atividades de inspeções das construções é uma abordagem que vem se difundindo em âmbito acadêmico, sendo possível encontrar diversas pesquisas que apresentam o emprego dessa ferramenta na engenharia diagnóstica. Nesse contexto, esta pesquisa visa analisar se existe padronização de procedimentos metodológicos para utilização do drone na identificação de manifestações patológicas. Para isto, utilizou-se um recorte dos anais do Congresso Brasileiro de Patologia (CBPAT) referente aos anos de 2014 a 2020. Observou-se que, no Brasil, existe uma deficiência no que tange a padronização dos procedimentos, bem como a necessidade de mais estudos para cobertura de outras lacunas.

Palavras chave: Drone; Engenharia diagnóstica; Inspeções; Manifestações patológicas.

RESUMEN

La aplicación de drones en las actividades de inspección de la construcción es un enfoque que se ha ido extendiendo en el ámbito académico, y es posible encontrar varias investigaciones que presentan el uso de esta herramienta en la ingeniería de diagnóstico. Esta investigación tiene como objetivo analizar si existe una estandarización de los procedimientos metodológicos para el uso del dron en la identificación de daños. Para ello, utilizamos un recorte de los anales del CBPAT para los años 2014 a 2020. Se observó que, en Brasil, existe una deficiencia en la estandarización de procedimientos, así como la necesidad de más estudios para cubrir otras brechas.

Palabras clave: Drone; Ingeniería de diagnóstico; Inspecciones; daños.

ABSTRACT

The application of drones in construction inspection activities is an approach that has been spreading in the academic field, and it is possible to find several researches that present the use of this tool in diagnostic engineering. This research aims to analyze if there is a standardization of methodological procedures for the use of the drone in the identification of damages. For this, we used a clipping from the annals of CBPAT for the years 2014 to 2020. It was observed that, in Brazil, there is a deficiency regarding the standardization of procedures, as well as the need for

further studies to cover other gaps.

Key words: Drone; Diagnostic engineering; Inspections; Damage.

1. INTRODUÇÃO

De acordo a norma de desempenho NBR 15575-1 (ABNT, 2013), as inspeções prediais são caracterizadas como uma importante ferramenta para avaliação das condições gerais de conservação das edificações, pois servem para atestar se os procedimentos de manutenção adotados são insuficientes ou inexistentes, além de fornecer subsídios para orientar planos e programas de manutenção.

A inspeção é o levantamento de informações sobre a edificação (ou estrutura) que permita a avaliação do seu estado de conservação, sendo realizada através de uma vistoria e anamnese. De acordo com a norma NBR 16747 (ABNT, 2020), a inspeção é o processo de avaliação das condições técnicas, de uso, operação, manutenção e funcionalidade de um sistema ou subsistema construtivo, de forma sistêmica e predominantemente sensorial. Convencionalmente, a inspeção é baseada inicialmente na investigação visual, que se destaca como a técnica mais difundida devido ao seu caráter não-destrutivo, simplicidade de execução e instantaneidade dos resultados (Tondelo; Barth, 2019). Entretanto, existem falhas e/ou anomalias que requerem de outras medidas investigativas complementares, a partir da realização de ensaios destrutivos e não destrutivos (Melo Júnior, 2016).

O desenvolvimento de uma inspeção visual pode estar atrelado a certo nível de complexidade, visto que para acessar visualmente a fachada de edifícios e outras estruturas de grande porte, o inspetor necessita realizar um trabalho em altura, alcançando determinadas regiões da estrutura que podem ser de difícil acesso. Em vista disso, a utilização de equipamentos como andaimes, rapel e plataformas se tornam frequentes para o desdobramento da atividade, demandando um tempo relativamente grande para que todo o aparato seja instalado e a vistoria realizada.

Conforme dados divulgados pelo Ministério do Trabalho e Emprego, 40% dos acidentes de trabalho no Brasil estão relacionados a quedas de funcionários em altura (Agência FIEP, 2019). Contudo, o risco imposto a vida do inspetor e a demora na realização dos serviços de inspeções, fomenta o desenvolvimento de pesquisas que buscam alternativas para o aprimoramento das inspeções. Os veículos aéreos não tripulados (VANTs) fazem parte de um tipo de tecnologia que vem sendo aplicada para facilitar os procedimentos de inspeções.

O VANT é uma aeronave que pode ser pilotada a partir do solo por meio de um comando manual ou automático, sendo capaz de transportar diversos tipos de sensores, responsáveis pelo registro de dados. As câmeras RGB, infravermelhas, termais, multiespectrais e o GPS são exemplos variados de sensores. Além do registro das coordenadas geográficas durante o voo, a existência do GPS garante segurança do próprio equipamento, visto que é responsável pela função *Return to home*, em que a aeronave retorna para o ponto de partida mesmo que haja perda de contato com o sistema de informação (Agostinho, 2012; Melo, 2016).

Os VANTs são divididos em dois grandes grupos em função do tipo de asa que possui, podendo elas serem fixas ou rotativas. Os de asas fixas são mais indicados para voos longos sobre áreas abertas e de grande extensão. Enquanto os de asas rotativas, também denominados de multirrotores, e popularmente conhecidos por drones, são ideais para atividades que necessitem da execução de manobras complexas em espaços limitados sem perder estabilidade, características requeridas numa atividade de inspeção (Rauber et al., 2018).

A inserção dos drones em inspeções é um tema que vem se difundindo no âmbito acadêmico, sendo possível encontrar diversas pesquisas que abordam o emprego dessa ferramenta

no levantamento de manifestações patológicas. Dentre esses trabalhos é possível citar o de Eschmann et al. (2012), no qual foi avaliado a utilização de um sistema de micro veículos aéreos do tipo octocóptero (oito hélices) para realização de inspeções e monitoramento de edifícios. O estudo buscou avaliar se as inúmeras imagens obtidas poderiam ser utilizadas na construção de uma imagem 2D única da estrutura, com a definição adequada para identificar danos e rachaduras em escala milimétrica. De acordo com os autores, a utilização do octocóptero para a inspeção de edifícios se mostrou satisfatória proporcionando uma base de dados primária para esta finalidade. Entretanto, os mesmos autores salientam que, para o modelo de drone utilizado na pesquisa, ainda são necessárias evoluções tecnológicas, especialmente no que diz respeito a estabilização do voo para aquisição das imagens.

Tondelo e Barth (2019) avaliaram em seus estudos os aspectos construtivos e manifestações patológicas de fachadas industriais utilizando um drone modelo Phantom 3. Ao final do trabalho, os autores concluíram que a inspeção realizada com este equipamento se revelou eficiente na identificação das manifestações patológicas, visto que permitiu a obtenção de imagens de qualidade, alcançando locais de difícil acesso em um tempo de execução muito inferior ao procedimento tradicional.

Agostinho (2012) também buscou investigar os benefícios da utilização dessa tecnologia na avaliação de infraestruturas. No seu estudo, Agostinho realizou três inspeções na cidade de Funchal em Portugal, a primeira no Porto do Funchal no qual observou o estado de conservação da estrutura, a segunda, o pilar da Ponte João Gomes e por último o voo no edifício da Universidade da Madeira na Penteada. O autor utilizou sensores RGB e termais que o levaram a obter excelentes resultados com a inspeção, dando condições plenas na observação rápida do real estado de degradação das estruturas, incluindo, inclusive, a visualização de fissuras. O autor destaca que as vantagens do uso de drones para a funcionalidade estudada estão relacionadas especialmente a obtenção de dados com rapidez, tanto em tempo real quanto após refinamento, com segurança e baixo custo.

Rauber et al. (2018) refletiram sobre os parâmetros que devem ser considerados na escolha de equipamentos para aquisição de imagens em estruturas de obras de artes especiais (OAEs), como as pontes e viadutos. Os autores avaliaram modelos de VANT, sensor, software, controle de voo e gimbal (suporte acoplado ao sensor que viabiliza a rotação em torno dos eixos). Assim, perceberam que com uma boa escolha de equipamentos, as inspeções de pontes e viadutos podem ser realizadas com qualidade. Salientam que, em concomitância com uma adequada interpretação e diagnóstico, imagens captadas por drones podem garantir a identificação de amplos tipos de manifestações patológicas.

Melo Júnior et al. (2018) buscaram explorar em seus estudos o uso de drones combinados a técnica DSM (Dense Stereo Matching), utilizando o software Tyche (2015) e algoritmos computacionais para processamento digital das imagens capturadas e geração de mapa de danos. A partir da utilização da técnica, foi gerada uma nuvem de pontos que possibilitou a retificação das fotografias para projeção ortográfica das fachadas, permitindo uma visualização mais abrangente e precisa dos danos. Os autores também destacam a eficiência destes equipamentos na inspeção de fachadas de edifícios, bem como sua capacidade na identificação de danos em pontes e barragens.

Lima et al. (2020) realizaram estudos com o auxílio de uma aeronave do tipo quadricóptero (drone de quatro hélices) e software de fotogrametria digital *Agisoft*. Uma edificação com cerca 120,5 metros foi fotografada em torno de 942 vezes e foram identificadas diversas manifestações patológicas, tais como mofo, eflorescência, trincas/fissuras. A principal limitação do estudo destacada pelos autores foi a interrupção do processo devido à baixa duração da bateria, cuja autonomia era de aproximadamente 25 minutos. Porém, os mesmos salientam que as vantagens da técnica a despeito dos métodos tradicionais justificam o uso da aeronave.

O emprego do drone como ferramenta de inspeção na construção civil ainda é um estudo relativamente novo e não existem normas que formalizem seu uso e estabeleçam procedimentos padronizados para uma inspeção com estes equipamentos. Nesse contexto, a presente pesquisa visa fazer uma revisão bibliográfica aprofundada, abordando os trabalhos acadêmicos na área de patologia das construções que focaram no uso de drones como ferramenta para a coleta de dados remota. O trabalho busca contribuir na análise dos procedimentos adotados para o levantamento de manifestações patológicas, identificando se os procedimentos metodológicos seguiram algum tipo de padronização, bem como levantar as principais vantagens e limitações encontradas pelos autores. O artigo tem como recorte os trabalhos publicados no Congresso Brasileiro de Patologia (CBPAT).

2. PROCEDIMENTOS

O estudo em questão é classificado como exploratório e descritivo, com abordagem quantitativa e qualitativa. A pesquisa visa levantar se existe padronização metodológica nos procedimentos dos pesquisadores dos artigos do Congresso Brasileiro de Patologia, bem como vantagens e dificuldades encontradas a partir do uso de drone em inspeções voltadas para identificação de manifestações patológicas. Para isso, foi utilizado como metodologia a análise de conteúdo proposto por Bardin (1977), no qual está embasada em três fases distintas:

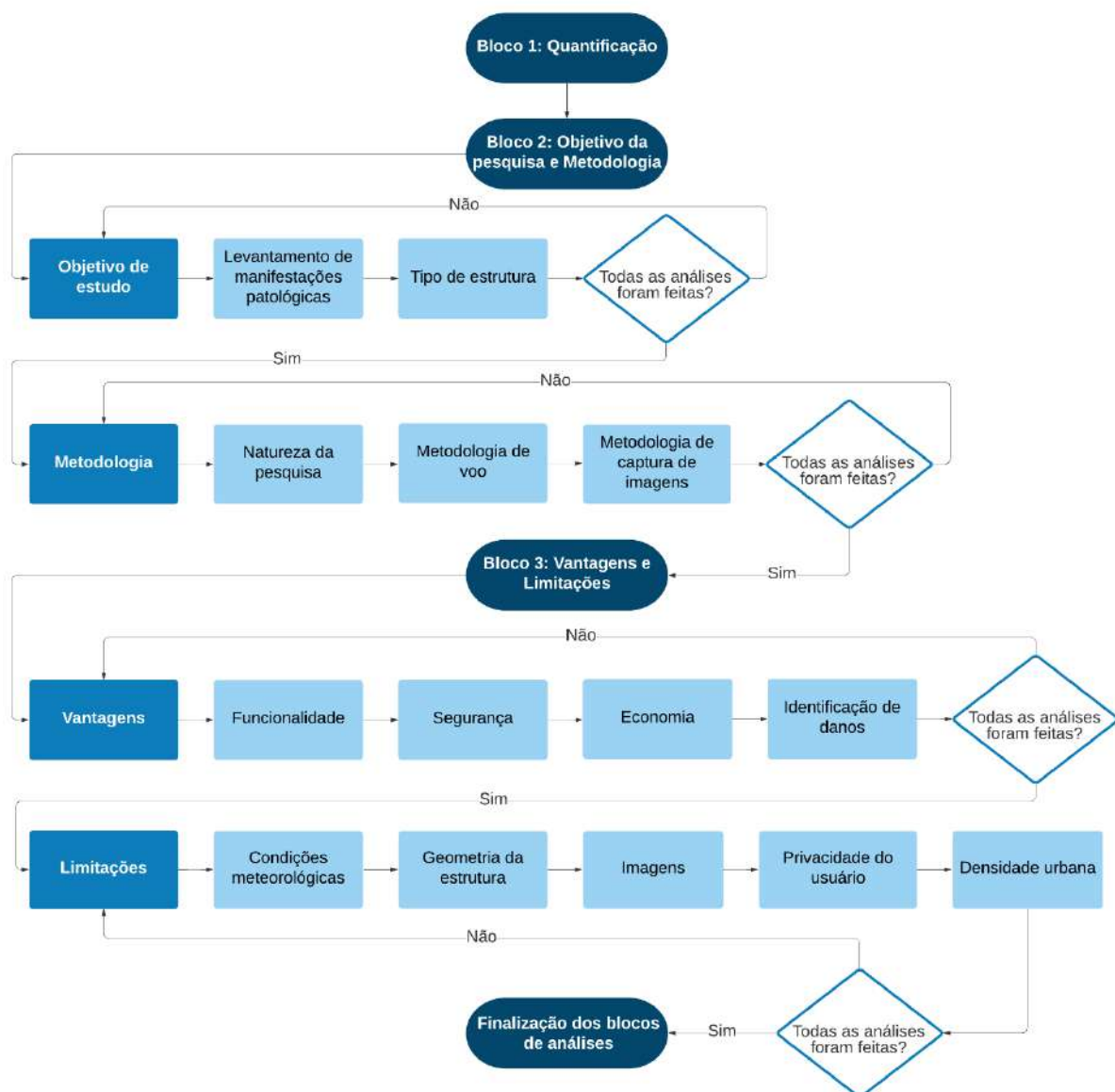
FASE 1 - Pré-análise: Esta fase inicial está relacionada a organização dos dados de interesse da pesquisa a partir de uma busca através de palavras-chaves selecionadas para este estudo, sendo elas: VANT; Drone; UAV. Está última sendo a sigla em inglês de VANT. A seleção definitiva ocorreu após leitura dos resumos. Os artigos selecionados para o estudo foram correspondentes aos anos de 2014 e 2020, cujas edições ocorreram a cada dois anos. Os anais dos anos 2014, 2016 e 2018 foram disponibilizados pela organização do evento, enquanto os anais de 2020 foram acessados eletronicamente, visto que as autoras participaram do respectivo evento.

FASE 2 - Exploração do material: A partir de uma leitura mais aprofundada, esta fase busca categorizar os conteúdos através de critérios de interesse na pesquisa, denominados neste estudo de índices paramétricos. Os índices categorizados foram: Ano, título, drone/sensor, objeto de estudo, objetivo de pesquisa, metodologia, vantagens e limitações da técnica. As informações foram planilhadas através do software MS-Excel.

FASE 3 - Tratamento e análise dos dados: Por fim, a última fase foi voltada ao tratamento e análise dos dados. Nesta fase os dados foram quantificados e sistematizados em quadros sínteses, tabelas e gráficos, de forma a fazer uma análise quantitativa e qualitativa da implementação dos drones como ferramenta de auxílio às inspeções na área de patologia das construções. Os dados foram divididos em três blocos de análises, conforme apresentado na Figura 1. No BLOCO 1 foram introduzidos os artigos contemplados no estudo através dos índices paramétricos: ano de publicação; título; modelo de drone e; objeto de estudo. Esta divisão permitiu mensurar o quantitativo do número de artigos que contemplassem os critérios de pesquisa, bem como compreender, a partir dos títulos, se os autores associam novas tecnologias nas inspeções, pelo fato de usarem palavras como inovação/modernização. No BLOCO 2 foi realizada uma síntese dos índices paramétricos relacionados ao objetivo da pesquisa e metodologia. Em relação ao objetivo de pesquisa, buscou-se avaliar quais artigos eram voltados a identificar manifestações patológicas e quais tipos de estruturas foram alvo das inspeções. Para a análise da metodologia primeiro observou-se se a pesquisa era de cunho experimental ou de revisão bibliográfica. Para os artigos que desenvolveram programas experimentais, analisou o método/procedimento de voo, bem como da captura das imagens. Em procedimento de voo buscou-se identificar as informações relativas as condições meteorológicas, velocidade de voo, local de pouso/decolagem e observação da região a ser mapeada. Em relação à captura de imagem observou-se dados sobre a técnica de coleta de

imagens, sobreposição, distância do objeto de estudo e tratamento dos dados. Também buscou-se classificar os artigos em relação ao desenho experimental no que se refere aos métodos de voo e obtenção de imagens. Os artigos que possuíam informações sobre todos os critérios metodológicos observados para método de voo e de captura das imagens foram enquadrados como PROGRAMA EXPERIMENTAL COMPLETO. Para aqueles que não apresentaram todos os critérios enquadraram-se como PROGRAMA EXPERIMENTAL INCOMPLETO e, ainda, para aqueles que não apresentaram nenhum tipo de informação classificou-se como NÃO MENCIONADO. Por fim, o BLOCO 3 focou nos índices paramétricos vantagens e barreiras. Nesta etapa da análise observou-se se os artigos especificavam vantagens em relação aos aspectos de funcionalidade, segurança e economia dos equipamentos, resultados satisfatórios quanto à identificação de danos, bem como se apontavam se as limitações encontradas ao longo do estudo poderiam, e de que forma, ter sido solucionadas.

Figura 1: Fluxograma do método de análise dos dados levantados na pesquisa



3. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos a partir da pré-análise dos artigos dos Anais do CBPAT (FASE 1). A pesquisa identificou um total de 10 artigos que incluíram drone como ferramenta de auxílio para a realização de inspeções no levantamento de manifestações patológicas. Foi possível perceber que todos os trabalhos identificados faziam parte das duas últimas edições do evento (2018 e 2020), não sendo identificados trabalhos nas duas primeiras edições (2014 e 2016).

Tabela 1: Quantitativo dos artigos publicados nas edições do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT

Ano	Totais	Artigos com drone
2014	114	0
2016	444	0
2018	172	1
2020	368	9
TOTAL	1098	10

A partir da Tabela 1 foi possível constatar que, mesmo com muitos artigos aceitos nas edições ocorridas nos anos de 2014 e 2016 (total de 558), nenhum deles incorporou drones nos estudos realizados. Seria possível inferir que o emprego das aeronaves, ainda, não era difundido como uma viabilidade de instrumento de estudo. No entanto, conforme Neto (2015), esse desafio pela inserção do drone pode ser justificado pela descrença do mercado nos produtos gerados pelos drones, especialmente o setor de geotecnologia, uma vez que não haviam softwares específicos para o processamento de dados provenientes dos drones. Ainda segundo o autor, o surgimento de novos algoritmos de processamento, e, conseqüentemente, o processamento das imagens dos drones, proporcionou a validação e amadurecimento da ferramenta no mercado a partir do ano de 2014. Em contrapartida, a partir de 2018 identifica-se a inserção de drones na pesquisa, sendo 1 (um) na edição de 2018 e 9 (nove) na edição em 2020. Este último foi o ano da última edição que aconteceu de forma remota em função da Pandemia do COVID-19. Considerando que o aumento da oferta de drones no mercado, inclusive com valores acessíveis ao consumidor comum, é bastante recente e compreensível que o número de trabalhos do CBPAT foi nulo nas duas primeiras edições do evento no Brasil. A adesão no uso de drones ainda estava sendo consolidada no cenário internacional e inclusive, ainda muito restrita ao setor cartográfico. Muito recentemente é que pesquisas para novos segmentos foram ampliadas, como no próprio setor da construção civil.

O Quadro 1 apresenta os índices paramétricos (ano, autor, título, objeto de estudo, drone/câmera) estabelecidos para o BLOCO 1 da FASE 3. Analisando o parâmetro título em conjunto com objeto de estudo é possível perceber a frequência de palavras que indicam que o artigo está associado ao uso de novas tecnologias em inspeções (INOVAÇÃO E MODERNIZAÇÃO), bem como os maiores destaques dos estudos voltados aos elementos de fachadas.

Quadro 1: Parâmetros de apresentação dos artigos do CBPAT

Nº	Ano	Autor	Título	Objeto de estudo	Drone/ Câmera
1	2018	Rios,R., Blumensche in,R., Zanoni,V.	Parâmetros para escolha de ensaios tradicionais e inovadores para inspeção preliminar de fachadas	Fachada	----- ---
2	2020	Moura JR., J. M. et al	Estudo exploratório de inspeção de manifestações patológicas de fachadas utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT)	Fachada	DJI Phantom 4 PRO Plus/ RGB
3	2020	Ruiz, R. D. B. et al	Inovação na inspeção de fachadas com veículos aéreos não tripulados (VANT)	Fachada	DJI Phantom 4 Pro V 2.0/ RGB
4	2020	França, G. et al	Utilização de drone na avaliação de patologias em fachadas de edificações	Fachada	DJI Phanton 4 Pro/ RGB
5	2020	Silva, R. C. et al	Modernização da inspeção e avaliação de estruturas: as contribuições de VANTs e robôs na área de patologia das construções	Ponte Estrada	----- ---
6	2020	Silva, W. et al	Inovação tecnológica na inspeção de manifestações patológicas de fachadas utilizando câmera termográfica integrada ao veículo aéreo não tripulado (VANT): revisão bibliográfica	Fachada	Câmera termográfica
7	2020	Araújo, W. et al	Avaliação de manifestações patológicas com uso de drone	Reservatório	DJI Phantom 3 Profissional
8	2020	Sollero, M. B .S. et al	Uma revisão das últimas inovações em inspeções de estruturas	Ponte Cobertura	----- ---
9	2020	Rosenberg, A.C et al	Estudo de ocorrências patológicas em pontes com a utilização de veículos aéreos não tripulados	Ponte	----- ---
10	2020	Solanho, B P. et al	Verificação da eficiência da inspeção virtual de manifestações patológicas em fachadas de edifícios com diferentes revestimentos	Fachada	DJI Phantom 3 Advanced

O Gráfico 1 apresenta o percentual de vezes que palavras inovação e modernização aparecem no título e o Gráfico 2 os tipos de objetos de inspeção que fazem parte dos trabalhos. Segundo o Gráfico 1, a frequência da palavra “Inovação” e “Modernização” está presente nos títulos dos trabalhos em cerca de 5 (cinco) artigos. Já o Gráfico 2, demonstra que das 10 (dez) pesquisas que utilizaram drones na área de estruturas tem-se 1 (um) trabalho em pontes, 1 (um) em

reservatórios, 2 (dois) mistos em estradas e coberturas e 6 (seis) trabalhos que foram voltados para estudos de fachadas. Essa constância permite observar sobre o crescimento do interesse na aplicação de tecnologias existentes, como o drone, em inspeções. Esse interesse pode inferir sobre o intuito na modernização da técnica, especialmente no diagnóstico em fachadas, que promete resultados com maior velocidade, segurança e economia para investigação de manifestações patológicas.

Gráfico 1: Frequência da palavra modernização/ inovação

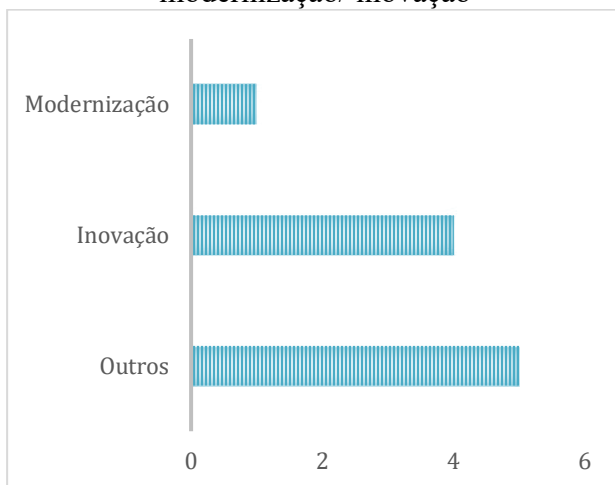
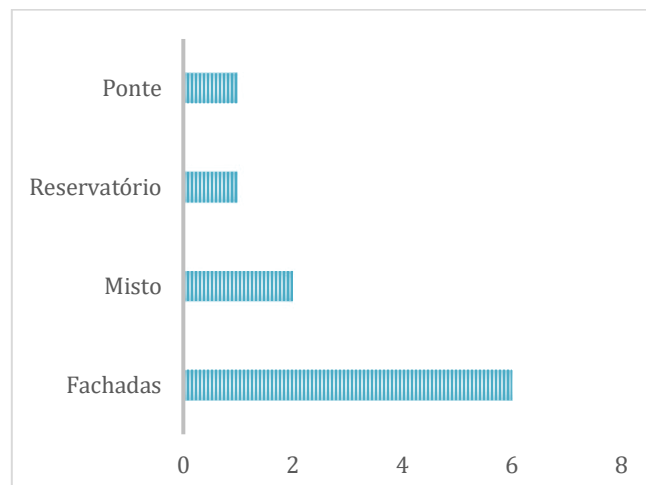


Gráfico 2: Objeto de estudo da inspeção



Ainda conforme o Quadro 1, em relação aos tipos de VANTs e sensores, pode-se perceber a maior frequência de uso do modelo Phantom, da DJI, especialmente o modelo DJI Phantom 4 Pro que foi o mais utilizado. Sabe-se que esse produto possui uma oferta bastante expressiva no mercado, com preços variados. A facilidade de manuseio do equipamento, o preço acessível, além de confiabilidade e precisão na coleta de dados, justificam a escolha deste modelo por diversos autores (Irrizarry; Costa, 2016; Melo Jr, 2016; Álvares, 2016; Hung et al, 2018). Ademais, pode-se observar que o custo acessível, em paralelo com os demais parâmetros apresentados, pode ampliar ainda mais o número de estudos com o uso desta tecnologia. Com o avanço da pesquisa nesta área tem-se a possibilidade de se estabelecer estratégias normativas que permitam aumentar a frequência de inspeções rotineiras em estruturas, garantindo um melhor planejamento de manutenções. Além disso, percebe-se no Quadro 1 que a maioria dos estudos são realizados com sensores do tipo RGB. Este tipo de sensor nada mais é do que câmeras comuns (fotografia e vídeo), que proporcionam uma visualização similar a visão humana. Também são sensores de custo bastante acessível.

O Quadro 2 apresenta a síntese dos índices paramétricos (objetivo e natureza da pesquisa, método de realização do voo e obtenção das imagens) do BLOCO 2 relativos à FASE 3 deste estudo. Neste quadro são elencados os objetivos dos artigos e o método de pesquisa adotado.

Quadro 2: Síntese do objeto de estudo e metodologia dos artigos do CBPAT

Nº	Objetivo da pesquisa	Natureza da pesquisa	Método para realização do voo	Método para obtenção das imagens
1	Discutir e propor diretrizes para o processo de seleção dos ensaios de fachadas, tradicionais e inovadores na construção brasileira.	Exploratória teórica	Não se aplica	Não se aplica

2	Caracterizar o panorama atual das empresas de drone na Região Metropolitana de Recife. Bem como realizar inspeção de fachada, visando identificar patologias em fachadas.	Exploratória de campo	Análise de condições meteorológicas: Sim ; Velocidade de voo: Sim ; Escolha de decolagem/pouso: Sim ; Análise das dificuldades da região a ser mapeada (área urbana habitada, fluxo veicular, edificações circundantes): Sim ;	Técnica de coleta de imagens: Sim ; Técnica de Sobreposição: Sim ; Técnica de Distância: Sim ; Análise de dados: Fotogrametria (Software Agisoft Photoscan - Modelagem 3D)
3	Estudo experimental do uso de VANT como ferramenta visual para inspeção de manifestações patológicas em fachadas.	Exploratória de campo	Análise de condições meteorológicas: Não ; Velocidade de voo: Sim ; Escolha de decolagem/pouso: Sim ; Análise das dificuldades da região a ser mapeada (área urbana habitada, fluxo veicular, edificações circundantes): Sim ;	Técnica de coleta de imagens: Sim ; Técnica de Sobreposição: Sim ; Técnica de Distância: Sim ; Análise de dados: Fotogrametria Software Agisoft Photoscan - Modelagem 3D), Orthomosaico.
4	Avaliar as manifestações patológicas em fachadas de três edificações na cidade de Natal/RN e região metropolitana.	Exploratória de campo	Análise de condições meteorológicas: Não ; Velocidade de voo: Não mencionou ; Escolha de decolagem/pouso: Sim ; Análise das dificuldades da região a ser mapeada (área urbana habitada, fluxo veicular, edificações circundantes): Sim ;	Técnica de coleta de imagens: Sim Técnica de Sobreposição: Sim ; Técnica de Distância: Não mencionou ; Análise de dados: Fotogrametria (Software Agisoft Photoscan - Modelagem 3D), Orthomosaico.
5	Mostrar as potencialidades do emprego de VANTs e robôs na construção civil, por meio de uma revisão bibliográfica.	Revisão Bibliográfica	Não se aplica	Não se aplica
6	Apresentar pesquisa relativa ao emprego de câmera termográfica integrada ao VANT nos processos de inspeção de fachadas.	Revisão Bibliográfica	Não se aplica	Não se aplica
7	Realizar um levantamento de manifestação patológica do reservatório elevado na cidade de Prata/PB.	Exploratória de campo	Não mencionado	Não mencionado
8	Apresentar um panorama das inovações atualmente empregadas na inspeção de estruturas em diversos países.	Revisão Bibliográfica	Não se aplica	Não se aplica

9	Apresentar o estudo da aplicação de VANT na realização de inspeção da Ponte do Rio Jacú Braço Norte, bem como vantagens e limitações, em relação a inspeção tradicional.	Exploratória de campo	Análise de condições meteorológicas: Não ; Velocidade de voo: Não mencionou ; Escolha de decolagem/pouso: Não mencionou ; Análise das dificuldades da região a ser mapeada (área urbana habitada, fluxo veicular, edificações circundantes): Sim ;	Técnica de coleta de imagens: Sim ; Técnica de Sobreposição: Não mencionou ; Técnica de Distância: Não mencionou ; Análise de dados: Fotogrametria .
10	Comparar a eficiência da inspeção virtual com a inspeção física em fachadas com diferentes revestimentos e também a viabilidade econômica.	Exploratória de campo	Análise de condições meteorológicas: Não ; Velocidade de voo: Sim ; Escolha de decolagem/pouso: Não mencionou ; Análise das dificuldades da região a ser mapeada (área urbana habitada, fluxo veicular, edificações circundantes): Sim ;	Técnica de coleta de imagens: Sim ; Técnica de Sobreposição: Não mencionou ; Técnica de Distância: Sim ; Análise de dados: Aproximação de imagens com Movie Maker .

Ao observar os objetivos principais de cada um dos artigos, foi possível verificar que os estudos do CBPAT focaram em pesquisas voltadas à identificação de manifestações patológicas de estruturas, especialmente em fachadas, como visto anteriormente. Nesse contexto, denota-se maiores interesses em fachadas, talvez, na tentativa de incluir o drone como ferramenta visual para o crescimento da realização de etapas rotineiras, visto que a fachada é responsável pela passagem do meio externo para o meio interno (Costa, 2014), além de sua ampla complexidade (altura, tamanho, dificuldade de acesso e condição de exposição) (Moura Jr., 2020). Deste modo, a aeronave se mostra, segundo estudos, uma tecnologia segura, econômica e eficaz para fins de inspeção visando a identificação de fissura, bolor, eflorescência e outras anomalias patológicas.

Observando a natureza das pesquisas nota-se que 6 (seis) são pesquisas práticas, ou seja, que incluíram atividades de campo, e 4 (quatro) teóricas. Dentre aquelas práticas foi realizado um quantitativo em relação aos procedimentos de voo e de captura de imagens como é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação segundo o desenho experimental.

Metodologia experimental					
Voo			Captura de Imagens		
Completa	Incompleta	Não mencionada	Completa	Incompleta	Não mencionada
1	4	1	2	3	1

Com base na Tabela 2, nota-se que os procedimentos de voo possuem 1 (um) trabalho com metodologia completa, 4 (quatro) incompletas e 1 (um) trabalho não informou como foi realizado o procedimento de inspeção. Por outro lado, nos procedimentos para captura de imagem 2 (dois) artigos apresentaram planejamento de captura de imagens completos, 3 (incompletos) incompletos e 1 (um) não informou. Os achados evidenciaram que existe uma fragilidade nos padrões relacionados ao planejamento de voo e protocolo de captura de imagem dos artigos envolvidos, bem como a deficiência na compreensão para o uso adequado de drones. Vale salientar que, para

garantir a qualidade da inspeção, faz-se necessário um planejamento específico e qualificado, com profissionais habilitados, para alcançar resultados satisfatórios na investigação das anomalias patológicas.

O BLOCO 3 relativos à FASE 3, representado pelo Quadro 3, expõe uma síntese dos indicadores pertencentes aos parâmetros de vantagens e limitações encontrados nos resultados dos artigos.

Quadro 3: Síntese de vantagens e barreiras dos artigos do CBPAT

Nº	Autor	Vantagens	Limitações
1	Rios,R., Blumenschein,R., Zanoni,V. (2018)	Coleta mais precisa; identificação de anomalias ocultas - infiltração, deslocamento.	Afetar a segurança e privacidade do usuário;
2	Moura JR., J. M. et al (2020)	Possibilita identificar manifestações patológicas em fachadas com uso de drones; agilidade; menor custo para locação de equipamento; inspeção segura.	Utilizar outras ferramentas como câmera termográfica para infiltrações; falha no planejamento do voo e falta de mais imagens; presença de ventos fortes e luminosidade distinta.
3	Ruiz, R. D. B. et al (2020)	Reduzir tempo, custos e gerar dados de forma eficiente.	Características geométricas da edificação; área urbana densamente habitada; pontos de decolagem limitado; ruas com fluxo veicular; presença de ventos.
4	França, G. et al (2020)	Diagnóstico acelerado da análise de danos, elaboração de procedimento assertivo para recuperação da edificação.	-----
5	Silva, R. C. et al (2020)	Mais acessível e menos oneroso	-----
6	Silva, W. et al (2020)	Redução de riscos operacionais; redução de tempo e custo de inspeção; maior confiabilidade; tecnologia não destrutiva.	Ventos acima de 7m/s intervêm na qualidade de medições com termografia infravermelha induzindo ao erro de análise; fachadas vizinhas espelhadas; espessura e profundidade da manifestação patológica.
7	Araújo,W. et al (2020)	Eficaz, rápido e preciso no monitoramento da inspeção.	-----
8	Sollero, M. B .S. et al (2020)	Coletas de dados com mais segurança e velocidade.	-----
9	Rosenberg, A.C et al (2020)	Inspeção sem a interrupção de tráfego; redução no número de profissionais.	Fortes rajadas de vento em região montanhosa impossibilita a estabilização de drones
10	Solanhó, B P. et al (2020)	Rapidez na inspeção; menor custo de aluguel de equipamentos comparando às horas trabalhadas.	Rajadas de vento; limitação de ângulo de inclinação da câmera do equipamento.

Observando o Quadro 3 é possível perceber que os autores apontaram nos resultados diversas vantagens na utilização de drones nos trabalhos. Dentre as vantagens analisou se as mesmas atendiam aos aspectos de funcionalidade, segurança e economia dos equipamentos, bem como identificação das manifestações patológicas como pode-se ver no Quadro 4.

Quadro 4: Especificação das vantagens em relação aos parâmetros

Atende aos parâmetros ?	Sim	Não
Funcionalidade (precisão, agilidade, fluxo de tráfego sem interrupção)	x	
Segurança (redução de riscos operacionais)	x	
Economia (redução de custos, profissionais e aluguel de equipamentos)	x	
Identificação de manifestações patológicas (visíveis- bolor, eflorescência, fissura; ocultas- infiltração e falha de vedação)	x	

Conforme o Quadro 4, nota-se que a utilização de drone nas pesquisas prometem amplas vantagens potenciais de funcionalidade, segurança, economia e demonstra resultados bastante significativos relacionados a identificação de manifestações patológicas visíveis e ocultas. Estudos como o de Rosenberg et al. (2020), demonstram, que o uso de drone em inspeção de pontes descarta a interrupção de tráfego e auxilia de forma não destrutiva para identificação das anomalias. Além disso de acordo com Sollero et al. (2020), há um menor custo de aplicação dessa metodologia quando comparado ao método tradicional. Na identificação de danos ocultos essa tecnologia quando usada em paralelo a outras ferramentas, como a câmera termográfica e software *Agisoft Photoscan*, permite identificar danos ocultos a olho nu, bem como, tornam-se capazes de medir espessura e comprimento de fissuras. Dessa forma os resultados proporcionam dados mais rebuscados acelerando o diagnóstico para uma tomada de decisão mais assertiva na resolução do problema e viabiliza o produto final para a formulação de um mapa de danos com detalhes precisos e de qualidade visual. Porém, vale salientar que a inclusão dessa ferramenta na inspeção, não exclui a presença de um profissional especialista da engenharia diagnóstica para identificação de anomalias patológicas do objeto a ser estudado, assim como, o piloto da aeronave não tripulada deve ser capacitado para atividade específica e possuir licença para pilotar, caso contrário o drone perderá a sua finalidade de garantir qualidade e segurança. Esses dilemas, capacitação e licença, expostos, fazem parte da pesquisa número 2, nos quais trazem que somente 33% das empresas que trabalham com drones possuem pilotos capacitados, o que pode provocar uma grande barreira por contratantes, uma vez que, a busca por soluções preventivas para as medidas aplicadas a determinada manifestação patológica é influenciada por uma inspeção adequada e uma leitura de dados por especialista na área.

Retomando as discussões do Quadro 3, os artigos demonstram algumas limitações que serão discutidas no Quadro 5 analisando se as mesmas podem ser solucionadas.

Quadro 5: Limitações e respectivas soluções dos autores

Limitações	Caracterização	Solução dos autores
Condições meteorológicas	Vento forte, luminosidade distinta, chuva.	Planejamento de voo
Geometria da estrutura	Arquitetura irregular, edificação alta.	Planejamento de voo com estudo de pontos de decolagem/pouso.

Imagens	Carência de imagens para sobreposição.	Protocolo de procedimento experimental para captura de imagens.
Privacidade do usuário	Privacidade dos usuários circundantes.	Escolha de horário comercial e avisos antecipados.
Densidade urbana	Pontos de decolagem/pouso limitado, fluxo veicular.	Escolha de horário de menor fluxo veicular.

De acordo com o Quadro 5, nota-se que as barreiras mais apresentadas podem ser solucionadas. Sob o ponto de vista dos estudos que incluíram condições meteorológicas, chuva e vento, como barreiras, autores como Moura Jr et al., Ruiz et al., Rosenberg et al. e Sollero et al. (2020), afirmaram que embora houve dificuldade para estabilizar a ferramenta, a qualidade da foto não foi alterada, e a escolha da data de inspeção deve estar em acordo com as condições climáticas. Em relação ao desenho geométrico do objeto de inspeção, o estudo de Ruiz et al. (2020) que tinha como barreiras características físicas da edificação (edifício residencial de 48 metros), obstáculo de pontos de decolagem e pouso limitado, também conseguiram driblar os empecilhos através de um plano de voo, a escolha de dois pontos de decolagem-pouso e uma área destinada a pouso emergencial – Andar 1, estacionamento. A necessidade de maior cobertura de imagens pode ser solucionada através de um protocolo de procedimento experimental já existentes em estudos similares, como o de Melo, Irizarry e Costa (2016), reconhecidos na academia por suas diretrizes de voo e de captura de foto, no qual auxilia ao melhor uso do drone para coletar imagens com alta resolução, com sugestão de pontos suficientes para a sobreposição de imagens. E por fim, privacidade do usuário e área urbana densamente habitada com fluxo veicular, que pode ser solucionado a partir de planejamento, conforme o estudo de Ruiz et al. (2020). Esse planejamento inclui a seleção adequada de horário para moradores, evitando a invasão de privacidade para a captura de imagens e escolha de horário de menor fluxo veicular. Conclui-se, portanto, que as barreiras apresentadas pelos autores se bem planejadas e estudadas previamente podem ser resolvidas colaborando para uma inspeção eficaz.

4. CONCLUSÕES

No BLOCO 1, os estudos revelam que nos anais do CBPAT entre os anos de 2018 a 2020 o setor acadêmico tem investido em pesquisas para compreensão e inserção de tecnologias alternativas, especialmente os drones, para auxiliar nos desafios das inspeções voltadas para estudos em manifestações patológicas em estruturas, destacando estudos em fachadas. Ademais, pode-se observar que os drones do modelo Phantom tem se destacado nas pesquisas acadêmicas por sua confiabilidade e precisão nos resultados, além da acessibilidade de custo.

No BLOCO 2, os resultados evidenciam o maior interesse de pesquisas no CBPAT por fachadas, como dito anteriormente, e visam identificar os danos patológicos visíveis e ocultos. Além disso, nota-se que existem uma carência na padronização relacionados ao planejamento de voo e protocolo de captura de imagens e processamento de dados.

Por fim, no BLOCO 3, os dados revelam que a utilização de drone trouxe uma ampla possibilidade de benefícios na inspeção atendendo aos interesses de funcionalidade, segurança, economia e possibilitam a identificação de manifestações patológicas. E embora existam entraves na sua utilização, as pesquisas inferidas aqui, demonstram que as limitações, se bem planejadas e estudadas previamente podem ser solucionadas. No entanto, a norma de inspeção ABNT NBR 16747, publicada no ano de 2020, ainda não incluiu o drone como ferramenta legal de inspeção,

visto que pesquisas que proporcionem dados suficientes para a definição de diretrizes de uso ainda não estão disponíveis. Por outro lado, o setor da construção civil já tem incorporado esta tecnologia como ferramenta para a realização de inspeções prediais, principalmente após alguns municípios sancionarem leis de inspeção predial abrindo um campo de trabalho vasto. Com o avanço de pesquisas com o uso de drones, a academia pode contribuir com o estabelecimento de métodos adequados, inclusive com revisão nos próximos anos da norma de inspeção, de forma a incorporar o drone como ferramenta legal para diretrizes e procedimentos de inspeção.

Diante disso, conclui-se que o setor acadêmico, especialmente a área de patologia das construções, tem mostrado grande interesse na utilização de drones para auxílio de inspeções rotineiras em estruturas. Porém, faz-se necessário a consolidação para padrões relacionados aos procedimentos metodológicos que visam melhorar a qualidade dos dados para o diagnóstico das anomalias, e assim, ampliar os benefícios dos drones na indústria da construção civil. Compreende-se que este estudo trará uma percepção das lacunas existentes no que tange metodologias de inspeções, contribuindo para solucionar futuras pesquisas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESB e CNPq pelo financiamento da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

Álvares J. S. (2016). “*Mapeamento 3d de canteiros via imagens coletadas com veículo aéreo não tripulado (VANT)*”. Monografia (Graduação) - Escola Politécnica, Universidade Federal de Bahia, Salvador, p. 156.

Agência Sistema FIEP. “*No Brasil, 40% dos acidentes de trabalho estão relacionados a quedas de funcionários em altura*”. Disponível em: <<https://cutt.ly/HbYtjEy>>. Acesso em: 07 de maio de 2021.

Agostinho, S. L. (2012). “*Inspeção e monitorização de estruturas em engenharia civil: Utilização de UAV na inspeção e monitorização*”. Dissertação (Mestrado) – Universidade da Madeira, Portugal.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575 - Partes 1-6: Desempenho de Edifícios Habitacionais*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento*. Rio de Janeiro.

Bardin, L. (1977). “*Análise de conteúdo*”. Edições 70, Lisboa, p. 225.

Costa, M. S. (2014). Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, p. 208.

Eschmann, C. et al. (2012). “*Unmanned aircraft systems for remote building inspection and monitoring*”. In: Proceedings of the 6th European Workshop on Structural Health Monitoring, Dresden, Germany, p. 13.

Hung, M. N. W. B. et al. (2018). Levantamento com veículo aéreo não tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, Curitiba, v. 43, pp. 215-231.

Irizarry, J.; Costa, D. B. (2016). Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks. *Journal of Management in Engineering*. Atlanta, v. 32(3).

Lima, M. B. et al. (2020). Inspeção de manifestações patológicas de fachadas em edifício de grande altura com VANT. *Mix Sustentável*, v. 6, n. 2, pp. 111-122.

Melo Júnior, C.M. (2016). “*Metodologia Para Geração de Mapas de Danos de Fachadas a Partir de Fotografias Obtidas por Veículo Aéreo não Tripulado e Processamento Digital de Imagens*”. Universidade de Brasília, faculdade de tecnologia, Departamento de Engenharia Civil Ambiental. Brasília.

Melo Júnior, C. M. et al. (2018). Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por VANT e uso de fotogrametria digital. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 3, pp. 211-226.

Melo, R. R. S.; Costa, D. B. (2015). “*Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de logística em canteiros de obra*”. In: SIBRAGEC-ELAGEC, 1., São Carlos.

Neto, M. S. (2015). “*Análise cronológica do mercado dos drones no Brasil e as tendências futuras*”. Disponível em: <<https://cutt.ly/Xb6uV2f>> Acesso em: 20 de maio de 2021.

De Moura Junior, J. M. et al. (2020). “*Estudo exploratório de inspeção de manifestações patológicas de fachadas utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT)*”. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, p. 243.

Rauber, E.R et al. (2018). Análise bibliográfica sobre as potencialidades da aquisição de imagens multi e hiperespectrais por VANTs no auxílio à inspeção de obras de arte especiais. *Revista Brasileira de Geomática*, Curitiba, v. 6, n. 1, pp.44-61.

Ruiz, R. D. B. et al. (2020). “*Inovação na inspeção de fachadas com veículos aéreos não tripulados (VANT)*”. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, p. 650.

Sollero, M. B. S.; Santos, R.S (2020). “*Uma revisão das últimas inovações em inspeções de estruturas*”. In: IV Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, pp. 2397- 2406

Tondelo, P. G; Barth, F. (2019). Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. *PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 10.

Análise de manifestações patológicas provenientes da umidade através de estudo de caso em Boa Vista do Buricá/RS

D. A, Hanauer (1); A. P, Maran (2)*; M. F. F, Menna Barreto (3); M. M, Copetti(4); J. E, Wille (5)

*Autor de Contacto: anapaulamaran@gmail.com

- (1) Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), Santa Rosa, Brasil.
- (2) Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Cachoeira do Sul, Brasil.
- (3) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGCI), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- (4) Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Cachoeira do Sul, Brasil.
- (5) Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões (URI), Santo Ângelo Brasil.

Resumo

Apesar do conhecimento da importância da impermeabilização nas edificações, esta etapa ainda é muito negligenciada durante o processo de especificação e execução das obras. A consequência desta realidade resulta no aparecimento de manifestações patológicas provenientes da umidade. Este trabalho tem por finalidade analisar as causas e problemas que estão relacionados à falta de impermeabilização em habitações de interesse social na cidade de Boa Vista do Buricá/RS. Com análise *in loco*, foram obtidos os dados através de entrevistas e levantamento fotográfico, podendo assim, realizar o diagnóstico, as causas e efeitos das manifestações, além da indicação de recuperação. As quatorze residências analisadas apresentaram intercorrência em relação à umidade, e na maioria dos casos, foi constatado que os problemas surgiram por execução não controlada de impermeabilização.

Palavras chaves: Impermeabilização; Manifestações Patológicas; Umidade; Habitação de Interesse Social.

Abstract

Despite the knowledge of the importance of waterproofing in buildings, this step is still very neglected during the specification and execution process of the works. The consequence of this reality results in the appearance of pathological manifestations arising from humidity. This work aims to analyze the causes and problems that are related to the lack of waterproofing in social housing in the city of Boa Vista do Buricá / RS. With on-site analysis, data were obtained through interviews and photographic survey, thus being able to make the diagnosis, the causes, and effects of the manifestations, in addition to the indication of recovery. The fourteen households analyzed presented complications in relation to humidity, and in most cases, it was found that the problems arose due to uncontrolled waterproofing.

Keywords: Waterproofing; Pathological Manifestations; Humidity; Social Interest Housing.

Resumen

A pesar del conocimiento de la importancia de la impermeabilización en edificaciones, este paso sigue estando muy descuidado durante el proceso de especificación y ejecución de las obras. La consecuencia de esta realidad resulta en la aparición de manifestaciones patológicas derivadas de la humedad. Este trabajo tiene como objetivo analizar las causas y problemas que se relacionan con la falta de impermeabilización en viviendas sociales de la ciudad de Boa Vista do Buricá / RS. Con el análisis in situ, se obtuvieron datos a través de entrevistas y levantamiento fotográfico, pudiendo así realizar el diagnóstico, las causas y efectos de las manifestaciones, además de la indicación de recuperación. Los catorce hogares analizados presentaron complicaciones en relación a la humedad, y en la mayoría de los casos, se encontró que los problemas surgieron por impermeabilizaciones incontroladas.

Palabra clave: Impermeabilización; Manifestaciones patológicas; Humedad; Vivienda de Interés Social.

1 INTRODUÇÃO

Souza (2008) diz que a degradação prematura das edificações ou suas partes, e a consequente redução de desempenho exigido (ABNT NBR 15575, 2021) é um problema frequente nas construções. Esta deterioração ocorre devido, sobretudo, ao envelhecimento precoce, o qual geralmente é desencadeado pela baixa qualidade dos materiais de construção empregados, por erros de especificação em projeto, falhas no controle da execução e falta de manutenção.

Perante esta realidade, o estudo de patologias das edificações se faz necessário, como forma de recuperação e estudo de comportamento, como forma de evitar e prevenir futuras manifestações (WALDHELM, 2012). Conforme Suplicy (2012), a engenharia utiliza o termo patologia para estudar nas construções as manifestações, suas origens, seus mecanismos de ocorrência das falhas e seus defeitos que alteram o equilíbrio pré-existente.

Para Brito (2011), apesar da indústria da construção estar sempre evoluindo no campo das técnicas e dos materiais de construção e se adequando aos programas de qualidade, percebe-se que as patologias ainda vêm sendo um grande desafio para os profissionais da construção civil. Souza (2008) estima que até 60% das manifestações patológicas presentes em edificações em uso e operação são causadas por umidade, podendo gerar prejuízos econômicos, estéticos, estruturais, funcionais, além de representar risco à saúde e segurança dos usuários.

Grande parte dos componentes das edificações não possui resistência ao intemperismo, sofrendo ação conjunta com água, oxigênio, vapores e agentes agressivos presentes no ambiente (CASTRO, 2014). Desta forma, a consideração de impermeabilização através de especificação de sistemas compatíveis com a área de utilização auxilia na garantia do desempenho da construção.

A NBR 9575 (ABNT, 2010) define a impermeabilização como um “conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletérias de fluídos, vapores e da umidade”.

No Brasil, diversos produtos impermeabilizantes, com qualidade, desempenho e método de aplicação variáveis são encontrados no mercado (RIGHI, 2009). É importante salientar que o sistema a ser empregado precisa ser compatível com a localização da edificação e o tipo de ocorrência de umidade.

Para Yazigi (2009), a impermeabilização deve ser seguida conforme solicitada nos documentos técnicos da obra, e caso sua execução seja feita incorretamente pode acarretar patologias na edificação, como a presença em excesso de umidade. Magalhães et al. (2019) afirmam que a etapa executiva normalmente é bastante negligenciada por parte dos construtores, responsáveis pela garantia da estanqueidade da edificação.

De acordo com Pieper (1992), a umidade nas construções é frequente e de difícil correção. Para Ripper e Souza (1998), os custos, assim como as dificuldades técnicas para a recuperação das falhas, que se originam na fase inicial da obra, aumentam conforme a estrutura vai sendo construída. Logo, a falha originada na etapa de concepção da obra irá gerar mais custos após a mesma estar concluída, quando comparada a medidas adotadas como forma de preveni-la, como a execução correta de sistemas de impermeabilização.

Verçoza (1991) reitera que a umidade não é apenas uma causa de patologias, como também é um meio necessário para outras patologias ocorram, sendo fator essencial para o aparecimento de eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, perda de pintura e revestimentos, por exemplo.

Dentro deste contexto, este trabalho buscou verificar e avaliar as manifestações patológicas ocasionadas pela umidade através de levantamento em campo após a execução e entrega de habitações térreas de interesse social na cidade de Boa Vista do Buricá/RS, indicando os locais de maior incidência e apresentando soluções técnicas apropriadas para o correto tratamento.

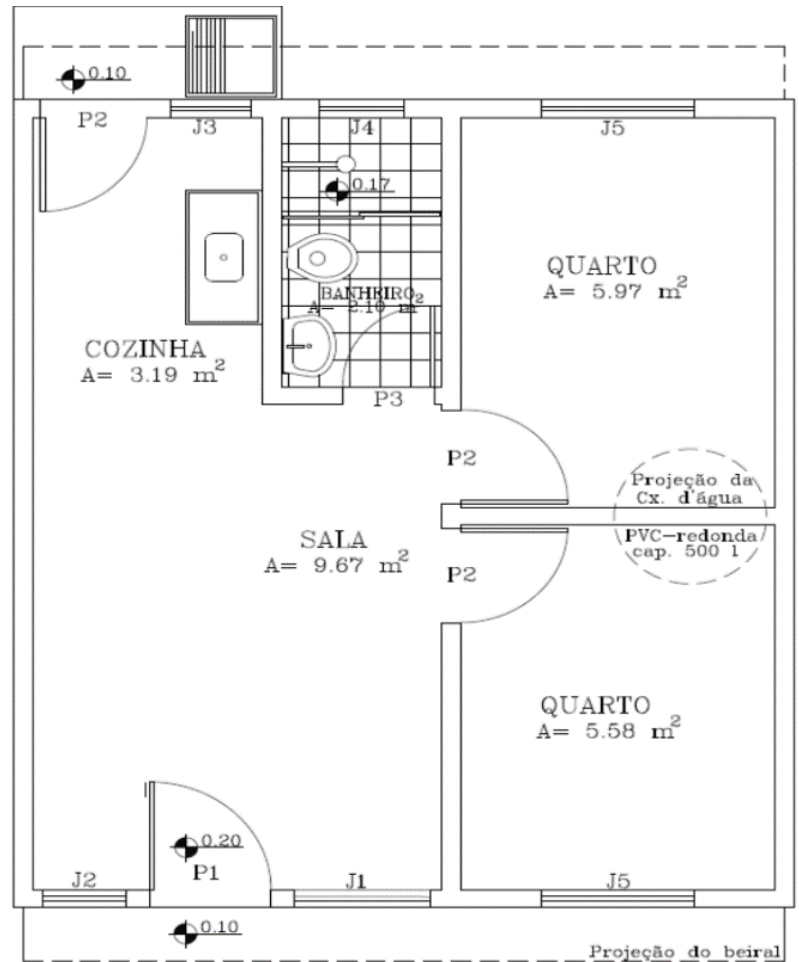
2 PROCEDIMENTO

Com o objetivo de identificar e analisar as manifestações patológicas existentes nas habitações escolhidas para o estudo *in loco*, determinando os locais onde as mesmas ocorrem e a fim de apresentar soluções técnicas adequadas para sua recuperação, foram coletados os dados e categorizadas as manifestações nas diferentes residências.

Cada dado coletado foi filtrado e organizado por categoria, sendo assim, separado devido sua manifestação patológica ocorrente em cada edificação, assim como, em cada cômodo da edificação.

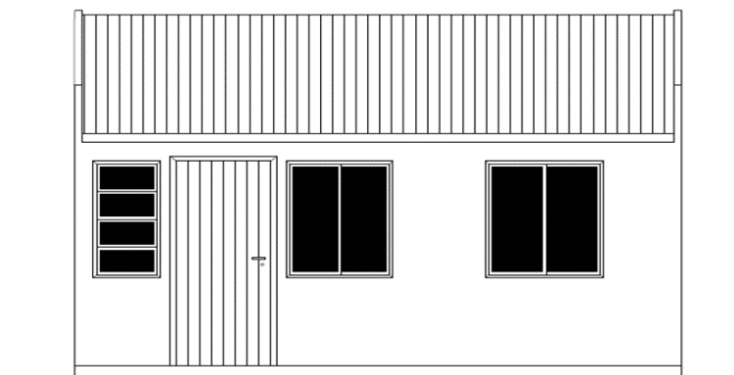
Após esta organização fez-se então a análise de cada manifestação patológica, seguido de uma sugestão de correção direcionada ao problema correspondente.

As obras escolhidas para o desenvolvimento de estudo de caso são classificadas como habitação de interesse social do município de Boa Vista do Buricá/RS. Estas residências totalizam 14 edificações idênticas em seu projeto original (Figura 1) com 30m² e algumas sofreram alterações posteriores à entrega aos moradores (Figura 2).



PLANTA BAIXA

Área: 30,00 m²



FACHADA FRONTAL

Figura 1: Projeto executivo arquitetônico das residências (fonte: Prefeitura Boa Vista do Buricá/RS)

Ao fazer a visita, o proprietário de cada residência se fez presente e acompanhou o levantamento, apontando o que mais lhe incomodava e lhe causava desconforto por manifestações patológicas evidentes.



Figura 2: Situação atual das residências de habitação de interesse social

Ao analisar o memorial descritivo de projeto, observou-se a indicação de impermeabilização sobre os elementos de vigas baldrame com a aplicação de emulsão asfáltica, utilizada conforme a recomendação do fabricante. O memorial também destaca o cuidado necessário para evitar o escoamento do produto nas laterais dos pilares. Salienta-se que esta foi a única indicação sobre o sistema de impermeabilização encontrada em todo o documento.

Picchi (1986) define que a emulsão asfáltica é obtida misturando cimento asfáltico com água, tratando-se de um impermeabilizante com aplicação a frio e consistência flexível. A função é garantida através da película de asfalto depositada. Porém, somente com a emulsão totalmente curada e em camadas necessárias, esta característica é garantida. Segundo o fabricante do impermeabilizante de emulsão asfáltica, o produto deve ser aplicado sobre a superfície limpa, sua diluição é em uma proporção de 1:1 com água, o produto deve ser aplicado em camadas de 4 a 9 demãos dependendo da área que será impermeabilizada, esse processo deve ser feito com uma brocha ou um pincel.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As manifestações patológicas foram catalogadas em diversas residências, e notou-se a falha quanto à aplicação de sistema de impermeabilização, assim como a execução de detalhes construtivos que auxiliam na prevenção da ação da umidade sobre a construção.

A relação entre as manifestações encontradas e a quantidade de residências com problemas referentes à umidade são mostradas na Figura 3.

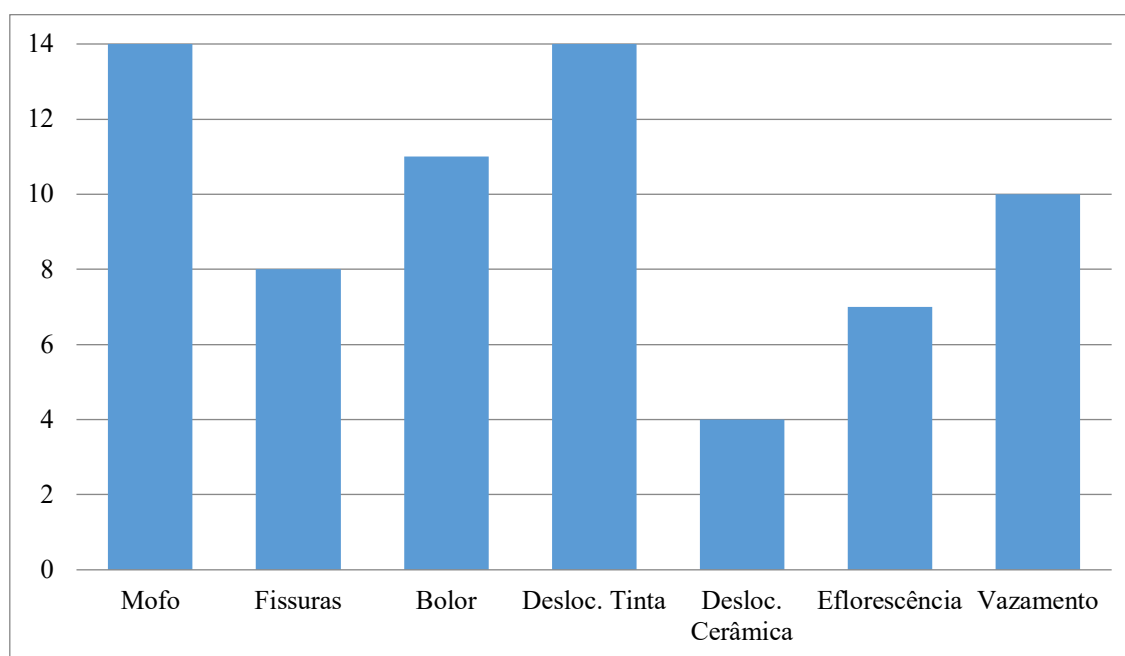


Figura 3: Relação entre manifestações patológicas e número de residências.

É possível observar que todas as residências possuem algum problema quanto a presença de umidade. Todas as construções apresentaram a manifestação de mofo e também de descolamento de pintura.

3.1 Mofo e bolor

Segundo Lersch (2003) o mofo e o bolor são fungos que se proliferam em ambientes que contém umidade. Essa manifestação causa alterações estéticas, como formação de manchas escuras (Figura

4), além da deterioração da construção e o desencadeamento de problemas respiratórios aos usuários (SILVA e JONOV, 2018).



Figura 4: Exemplo de manchas de mofo nas residências

A causa da presença deste tipo de manifestação é dada a partir da combinação entre superfícies expostas à umidade e com pouca luz. Para recuperação é necessário a retirada de pintura e aplicação de produto selador, e após a secagem é possível realizar a pintura novamente. Para situações mais leves, a superfície pode ser limpa com produtos desinfetantes que evitam a proliferação deste tipo de fungos.

Ainda, é importante verificar se a umidade é derivada de vazamentos ou infiltrações diretas, de modo a cessar a fonte inicial que facilita esse tipo de manifestação.

Além disso, nota-se pela última imagem da Figura 4 que a presença de mofo é relacionada pela falha na impermeabilização das vigas baldrame, precisando de tratamento direto. Para esta situação, é indicada a retirada parcial do revestimento, limpeza do substrato e aplicação de sistema impermeabilizante rígido, como argamassa polimérica, argamassa aditivada com impermeabilizante ou cristalizante, em conformidade com as camadas e processos indicados pelo fabricante.

3.2 Eflorescências

As eflorescências (Figura 5) são formações de depósitos salinos na superfície das paredes, migrados do interior da argamassa/alvenaria pela umidade, causando manchas brancas e até mesmo o descolamento da pintura (VERÇOZA, 1991).



Figura 5: Exemplo de eflorescências nas residências analisadas.

O procedimento adotado para reparar essa manifestação patológica pode partir da limpeza local com auxílio de escova de aço e água em abundância, assim como utilização de produto químico em solução para retirada dos sais cristalizados (UEMOTO, 1988).

3.3 Descolamento de cerâmicas

O problema relacionado ao deslocamento de cerâmicas pode ser originado por uma combinação de fatores, entretanto, durante a inspeção presencial notou-se a presença de umidade na região com falha (Figura 6). Essa manifestação foi pouco encontrada devido ao baixo uso revestimento de piso cerâmico, uma vez que foi especificado somente para a área do banheiro pelo projeto original.



Figura 6: Exemplo de descolamento de cerâmica

Este fenômeno ocorre devido a dilatação higroscópica dos materiais, provocando modificações na estrutural, aumentando o volume e consequentemente, o descolamento na interface argamassa/cerâmica (SILVA e JANOV, 2018).

Para a solução deste tipo de manifestação é indicado retirar o revestimento e refazer o sistema de modo correto. Caso a área afetada possua alta incidência de umidade, recomenda-se a execução de sistema de impermeabilização, flexível para áreas expostas e rígido para áreas protegidas (ABNT NBR 9574, 2008), como forma de evitar o reaparecimento do problema.

Após o serviço de preparação da base ser feito, o assentamento da cerâmica é realizado com o uso de materiais adequados, preferencialmente com argamassa colante.

3.4 Descolamento de pintura

Conforme Hussein (2013), os problemas com o sistema de pintura, como o aparecimento de bolhas, manchas e descascamento (Figura 7), podem surgir por diferentes causas, como a aplicação inadequada da tinta e/ou preparação da base, o tempo de secagem insuficiente de cada camada e a presença de umidade.



Figura 7: Exemplos de manifestações referentes ao sistema de pintura nas residências.

Os moradores informaram que a pintura é refeita em períodos curtos de tempo, pelo descolamento de tinta ou pela tentativa de reparar as manchas frequentes, entretanto essa solução não resolve o problema, já que a origem da umidade não é tratada.

Sugere-se verificar a fonte de umidade e corrigir através de aplicação de sistema de impermeabilização. Como a maioria das falhas nas pinturas foram encontradas em espaço interno e próxima ao piso, é recomendado a retirada parcial do revestimento, limpeza do substrato, aplicação de impermeabilização rígida, seguindo as recomendações do fabricante. Por fim, a pintura pode ser executada sobre reparo já executado.

3.5 Vazamentos e infiltrações

Em dez residências foram encontrados problemas originados por vazamentos do sistema hidráulico (Figura 8) que resultam em demais manifestações patológicas, como manchas e descolamento da pintura. A norma de desempenho (ABNT NBR 15575, 2021) estabelece que as edificações precisam garantir conforto e segurança aos usuários, a partir de sistemas executados de forma correta.



Figura 8: Exemplos de vazamentos de tubulação hidráulica nas residências.

Neste caso em especial, a umidade presente é gerada por um fenômeno atípico, sendo classificada como acidental. Desta forma, é essencial a reparação do problema da fonte de vazamento da tubulação hidráulica, através da

3.6 Mapeamento de manifestações patológicas

Como forma de visualizar a ocorrência foi realizado um levantamento das manifestações patológicas presentes em cada cômodo da edificação, como mostra a Figura 9.

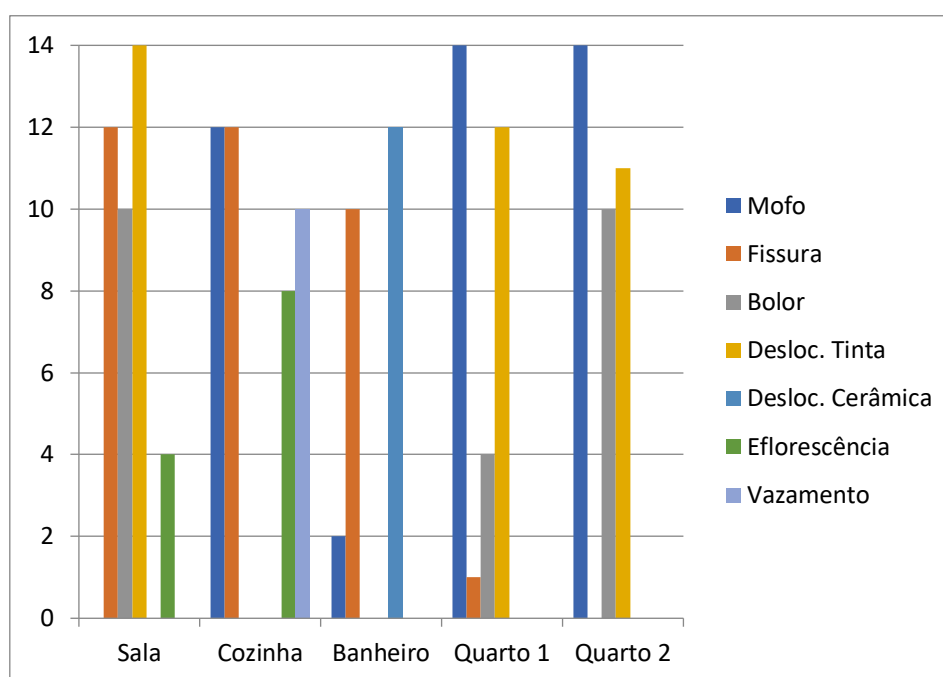


Figura 9: Relação das manifestações patológicas encontradas nos cômodos das residências.

Em entrevista com os moradores, foi relatado que o maior incômodo é em relação a alta presença de mofo. Como constatado na Figura 9, o mofo está presente em todas as residências em especial nos quartos, com possibilidade de danos à edificação como também à saúde dos usuários. Um desenho esquemático (Figura 10) foi gerado como forma de visualizar melhor as ocorrências de manifestações patológicas, combinado aos dados da Figura 9.

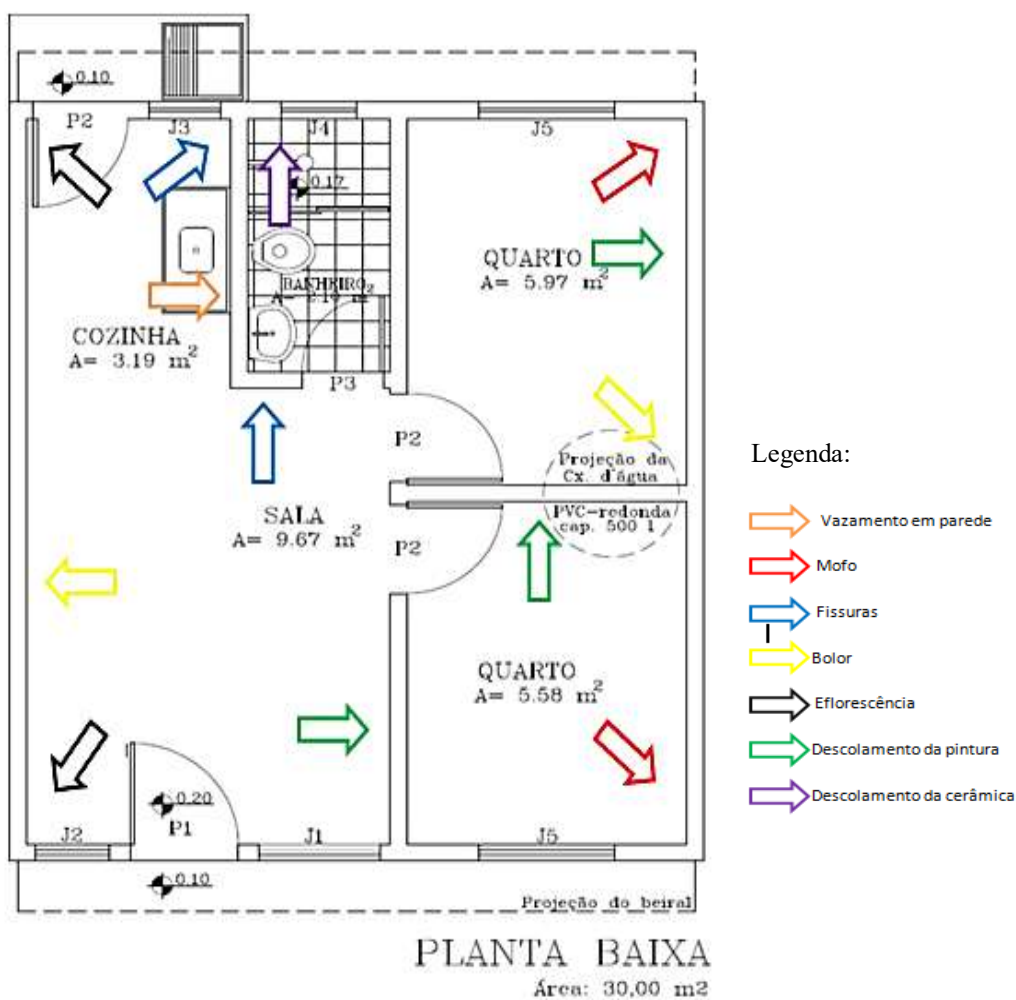


Figura 10: Mapeamento das manifestações patológicas averiguadas.

A partir do levantamento *in loco* constatou-se que algumas manifestações patológicas ocorridas nos dormitórios podem ser oriundas de vazamentos do reservatório superior, locado sobre a parede divisória (Figura 10). Ainda, pode-se mencionar que manifestações patológicas encontradas na sala de uma residência, pode influenciar no surgimento de manifestações nos quartos da edificação vizinha, uma vez que as casas são geminadas, ou seja, compartilham uma mesma parede.

Por fim, é visível a necessidade de projetos mais elaborados e execução com maior controle para a garantia de entrega de edificações com desempenho mínimo requerido, independentemente do padrão da obra. As residências participantes desse estudo estavam dentro do prazo de garantia da construção, porém inúmeras manifestações patológicas foram relatadas.

O grau elevado dessas ocorrências não só danifica a edificação como um todo ou sistemas isolados, afetando a segurança e durabilidade, como também traz incômodos e possíveis problemas de saúde aos usuários devido ao ambiente com salubridade inadequada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao concluir este trabalho, pode-se perceber o alto índice de ocorrência de manifestações patológicas oriundas pela presença de umidade em todos os cômodos das residências verificadas e como a deterioração se torna visível em um curto período de tempo.

Constatou-se que a maioria dos problemas que surgiram nas obras foram por má execução de impermeabilização ou até mesmo inexistência do sistema, reiterando a necessidade de fornecer projetos mais elaborados e possuir plano de execução com inspeção das etapas. Ainda, é importante obedecer às especificações e orientações dos fabricantes de impermeabilizantes, a partir da escolha de sistemas e materiais corretos para tal aplicação.

Os problemas relacionados à umidade estão presentes em todas as fases de uma obra, desde seu projeto até execução e manutenção, sendo assim, a ação preventiva é a melhor solução. A recuperação e manutenção de componentes já degradados gera um custo mais elevado ao proprietário devido aos demais sistemas associados, como por exemplo, a retirada de revestimento. Este trabalho possibilitou o conhecimento de manifestações patológicas e mostrou que é possível diagnosticar a maioria destes problemas nas construções de forma simples e objetiva. A pesquisa revelou ainda que é necessário maior esclarecimento por parte dos profissionais da área de construção civil em relação à importância da manutenção, assim como se faz necessária a elaboração de projeto de impermeabilização, através da compreensão dos mecanismos de ação da umidade e relação com o sistema.

Por fim, a impermeabilização é uma etapa fundamental em uma obra e não pode ser relegada, devendo ser prevista e pensada em fase de projeto, por um profissional com conhecimento técnico para indiciar o melhor produto, executar corretamente e acompanhar/supervisionar o serviço. Caso não ocorra desta maneira, torna-se mais oneroso executar a impermeabilização e possíveis reparos que irão se fazer necessários, além de trazer transtorno e incômodo aos usuários da edificação.

5 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2008). *NBR 9574 – Execução de impermeabilização*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). *NBR 9575 – Impermeabilização: seleção e projeto*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). *NBR 15575 – Desempenho de Edificações habitacionais*, Rio de Janeiro.

BRITO, J. N. de S.; FORMOSO, C. T.; ECHEVESTE, M. E. S. (2011). *Análise de dados de reclamações em empreendimentos habitacionais de interesse social: estudo no Programa de Arrendamento Residencial*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 151-166.

Castro, M. D. e Martins, R. M. (2014) "*Análise e soluções terapêuticas das manifestações patológicas de infiltração de um edifício de mais de 20 anos – Estudo de caso*", Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

MAGALHÃES, R. B; ASSUNÇÃO, R. F; SILVA, L. S; FERREIRA, M. S; ASSUNÇÃO, W. R. (2019). "*Estudo de caso de patologias causadas pela umidade face a inexistência de implantação do sistema de impermeabilização nas garagens do 1º e 2º subsolo de um edifício residencial*

multifamiliar de múltiplos pavimentos em Belém/PA". RCT – Revista de Ciência e Tecnologia. v.5, n. 9. p.18.

HUSSEIN, J. S. M. (2013). "*Levantamento de patologias causadas por infiltrações devido à falha ou ausência de impermeabilização em construções residenciais na cidade de Campo Mourão/PR*". Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão. p. 54.

Lersch, I. M. (2003) "*Contribuição para a identificação dos principais fatores de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre*", Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PICCHI, F. A. (1986). *impermeabilização de coberturas*. São Paulo: Pini.

PIEPER, R. (1992). *Só se nota a impermeabilização quando ela não existe*. Revista Impermeabilizar, São Paulo, n. 43, p. 6.

RIGHI, G. V. (2009), "*Estudo dos Sistemas de Impermeabilização: Patologias, Prevenções e Correções – Análise de Casos*". Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Maria. p. 94.

RIPPER, T; SOUZA, V. C.M. (1998). "*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*." São Paulo, Pini.

SILVA A.P, JONOV C.M.P. (2018). Curso de especialização em construção civil. Departamento de engenharia de materiais e construção. Minas Gerais, Brasil. (Notas de Aula)

SOUZA, M. F. (2008) "*Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações*". Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SUPLICY, G.F.S. (2012). "*Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações*". Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, SP.

UEMOTO, K. L. (1988), "*Patologia: Danos causados por eflorescência. Tecnologia de Edificações*". Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT. 1988. p.561- 64.

VERÇOZA, E. J. (1991), "*Patologia das edificações*". Porto Alegre: Editora Sagra.

WALDHELM, C. (2013), "*Manifestações patológicas em unidades habitacionais de baixo padrão do jardim Colúmbia em Londrina-PR*". Dissertação de Mestrado. Engenharia das Edificações e Saneamento, do Centro de Tecnologias e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina - PR.

YAZIGI, W. (2009) "*A técnica de edificar*". 10. Ed. Revisada e atualizada. São Paulo: Pini, : Sinduscon.

Avaliação e diagnóstico de estruturas de concreto armado expostas a dejetos suínos utilizando ensaios não destrutivos e semidestrutivos

C. L. Balbinot¹, J. S. Jacob², T. I. Hentges^{3*}

*Autor de Contacto

Universidade do Contestado – UnC, Rua Victor Sopelsa, n° 3000, Bairro Salete, Concórdia/SC, CEP: 89711-330

¹cauanabalbinot@yahoo.com.br

²jeffersoncv@gmail.com

³tatianeihentges@gmail.com

RESUMO

O presente artigo teve como objetivo analisar o grau de agressividade de dejetos suínos em pilares pré-moldados. Para isso, foram estudadas três edificações de suínos ainda em utilização e com idades diferentes, no município de Concórdia, Santa Catarina, Brasil. Estas receberam inspeção visual, a partir da qual foram escolhidos pilares para os ensaios de profundidade de carbonatação e resistividade elétrica. Verificou-se destacamento de concreto e corrosão da armadura na parte inferior dos pilares, onde há maior contato dos dejetos suínos. Manifestações patológicas (corrosão e carbonatação) também foram diagnosticadas a um metro de altura, consequência dos gases. Por fim, conclui-se que a qualidade do concreto influencia mais do que a idade da edificação na resistência aos efeitos nocivos dos dejetos suínos.

Palavras-chave: Suinocultura; Manifestações patológicas; Resistividade elétrica; Carbonatação; Estrutura.

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el grado de agresividad de los purines de cerdo frente a columnas de hormigón prefabricado. Se investigaron tres pabellones porcinos todavía en uso y con diferentes edades de construcción en Concordia, Santa Catarina, Brasil. Se realizó inspección visual y se eligieron columnas para los ensayos de profundidad de carbonatación y resistividad eléctrica. Se observó desconchado del hormigón y corrosión del acero de refuerzo en las partes inferiores de las columnas, donde los purines se encuentran más presentes. Patologías de la construcción (corrosión y carbonatación) fueron diagnosticadas a un metro de altura, debido a los gases. En conclusión, la calidad del hormigón influye más en la resistencia a los efectos nocivos de los purines de cerdo que la edad de construcción.

Palabras clave: Cría de cerdos; Patologías; Resistividad eléctrica; Carbonatación; Estructura.

ABSTRACT

This study aimed at assessing the degree of aggressiveness of pig manure to precast concrete columns. Three pig houses still in use and with different ages of construction were analyzed in Concordia, Santa Catarina, Brazil. Visual inspection was carried out and columns were chosen for the carbonation depth and electrical resistivity tests. Concrete spalling and rebar corrosion were observed in the lower parts of the columns, where pig manure is more present. Building pathologies (corrosion and carbonation) were observed at one meter high, due to the gases. In conclusion, the concrete quality is more influential in the resistance to the deleterious effects of pig manure than the building age of construction.

Keywords: Pig farming; Pathologies; Electrical resistivity; Carbonation; Structure.

1. INTRODUCCIÓN

A suinocultura representa grande importância social e econômica não só para o país, mas principalmente para o estado de Santa Catarina, que é o maior produtor de carne suína do Brasil, com isso a demanda por estruturas suínas com qualidade vem crescendo cada dia mais. A tecnologia está mudando para melhorar para os produtores e se preocupando na qualidade de vida dos suínos, mas o concreto continua sendo o material mais utilizado nas construções agrícolas.

Composto principalmente pelo cimento Portland, areia, brita e água, pode ser adicionado adições como aditivos, pozolanas, escória de alto forno e filler. Infelizmente o concreto na construção da suinocultura ainda não tem uma padronização, sendo muitas vezes fraco pra tantos agentes agressivos. Para isso é importante avaliar as condições que o concreto será submetido, podendo durar muito menos do que se fosse exposto em condições normais (Jacob et al., 2020).

O concreto armado exerce sobre a estrutura do aço uma barreira física e proteção química, por ter razoável durabilidade e excelentes características mecânicas. A porosidade do concreto facilita a penetração de fluidos, provocando a degradação da armadura de aço. Quanto mais poroso é o concreto, mais fácil ocorrerá o transporte interno de agentes agressivos, facilitando o processo de deterioração do concreto (Souza e Ripper, 1998).

A manifestação da corrosão das armaduras ocorre sob a forma de fissuras, destacamento do cobrimento, redução da seção da armadura e perda de aderência entre a armadura e o concreto.

Para seguirmos todas as recomendações adequadas devemos utilizar parâmetros desde a fase de projetos até a fase de execução, assim nos garantindo resultados finais satisfatórios. As normas brasileiras NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 12655 (ABNT, 2015) estabelecem parâmetros mínimos para o emprego do concreto, dependendo da concentração de cloretos e sulfatos no ambiente, e o uso de cimento resistente a sulfatos é obrigatório no caso de meios altamente agressivos. A NBR 14931 (ABNT, 2004) traz recomendações que podem aumentar a durabilidade das construções em concreto, e também é muito importante para garantir a qualidade e durabilidade (Jacob et al., 2020).

Algumas características visam a aumentar a vida útil do concreto, diminuir a permeabilidade/porosidade do concreto utilizado e distanciar as barras de aço dos possíveis agentes agressivos, através do cobrimento nominal mínimo. Quanto menor a relação água/cimento, maior é a resistência à compressão do concreto e menor é a sua permeabilidade, deste modo dificultando a entrada de agentes agressivos presentes nos ambientes da suinocultura, conforme mostra Jacob et al (2020) na Figura 1.

Característica	Especificação
Resistência à compressão mínima (f_{ck})	40 MPa
Máxima relação água/cimento (a/c)	0,45
Consumo mínimo de cimento	360 kg/m ³
Cobrimento nominal mínimo (c)	- Pisos e lajes: 4,5 cm - Vigas e pilares: 5,0 cm
Uso de cimento resistente a sulfatos	- O teor de C ₃ A do clínquer seja igual ou inferior a 8%, e cujo teor de adições carbonáticas seja igual ou inferior a 5% da massa do aglomerante total (CP V-ARI-RS) - O teor de escória granulada de alto-forno (CP III) esteja entre 60% e 70% - O teor de materiais pozolânicos (CP IV) esteja entre 25% e 40%;

Figura 1 – Especificações técnicas mínimas para execução de concreto a ser utilizado na suinocultura. Fonte: Jacob et al. (2020).

Em estudo foi observado grandes quantidade de ácido acético e lático em pisos de suínos e alguns íons agressivos como Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} e NH_4^+ (Jacob et al., 2020). Os ácidos orgânicos podem se tornar muito agressivos pela combinação com a cal livre formando $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ que é uma base da família dos metais alcalinos, presente em materiais cimentícios, produzindo sais de cálcio muito solúveis (De Belie, 1997).

A porosidade da pasta aumenta por causa da lixiviação do cálcio, ajudando a entrada de outros agentes. Em chiqueirões, a alta concentração de CO_2 da respiração dos suínos e outros gases, como amônia e H_2S do esterco, podem levar ao ataque de sulfato agindo no interior das estruturas, diminuindo o pH do concreto e levando à corrosão das armaduras pela ação da carbonatação. A corrosão com o passar do tempo vai reduzindo a área da seção das barras, induzindo tração no concreto, ocasionando rachaduras e mais manifestações patológicas visto em estudo por Jacob et al (2020).

Os valores variáveis de pH na área da suinocultura podem variar de 5,30 a 7,72. Mesmo o pH não podendo ser considerado agressivo ao concreto, junto com a presença de ácidos orgânicos e com os sais de sulfato podem se tornar (Jacob et al., 2020).

Os ensaios não destrutivos são muito importantes e estão sendo muito procurados por causa da facilidade, principalmente para medir o estado da estrutura em ambientes com alta agressividade, conseguindo realizar os ensaios com a estrutura em uso, causando pouco ou nenhum dano. Quando são utilizados de maneira associada a outros métodos de análises, a eficácia desses procedimentos tem seu grau de confiabilidade elevado, conseguindo ter uma noção do real estado de conservação das estruturas, planejando planos de manutenção e recuperação dos elementos, contribuindo com sucesso no controle da deterioração das estruturas de concreto (Lorenzi et al., 2016).

O problema que apresentamos é o forte impacto dos dejetos de suínos nas estruturas de concreto, advindo de uma atividade que movimenta fortemente a economia da nossa cidade Concórdia- SC. Realizando o diagnóstico através de ensaios não destrutivos e semidestruídos, de pilares pré-moldados expostos a gases orgânicos e químicos.

2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentadas as informações sobre a região e local de estudo, caracterizando as edificações em que foram realizados os ensaios, utilizados para obtenção de análises e resultados

2.1 Área de Estudo

As edificações estudadas estão localizadas no município de Concórdia, situado na região oeste do Estado de Santa Catarina. As áreas estão localizadas na região rural do município. A Figura 2 e a Figura 3 apresentam a áreas estudadas das propriedades.



Figura 2 – Área estudada da edificação A. Fonte: Google Maps (2020).



Figura 3 – Área estudada das edificações B e C. Fonte: Google Maps (2020).

Nesse estudo foram avaliadas três obras que trabalham na área da suinocultura na região de Concórdia - SC, as três foram feitas com pilares pré-moldados, porém duas delas mais antigas e outra mais recente. Estas obras estão identificadas por Edificação A, Edificação B e Edificação C. A Edificação A (Figura 4) é uma creche de suínos, localizada no interior de Concórdia-SC na comunidade de Cachimbo, possui 693m² dividida por três repartições, que alojam em média 2 mil filhotes de suínos. A edificação foi construída no ano de 2009, a estrutura foi executada uma parte em pré-moldado e outra parte in loco, o concreto não era usinado, era feito na própria empresa, sem valor certo para o cobrimento nominal. Os elementos de vedação externos foram feitos com pedra ardósia e internos alvenaria. O proprietário relata que começou ter problemas com patologias em torno de três anos de uso.

A Edificação B e a Edificação C são destinadas às porcas em gestação, localizadas na região rural da cidade de Concórdia -SC na comunidade de Lajeado Guilherme. A propriedade possui três chiqueiros feitos pela mesma empresa com idades variadas e com tecnologias diferentes, que alojam porcas desde a fase de inseminação, gestação, até o nascimento dos suínos.

A Edificação B (Figura 5) em estudo foi construída no ano de 2004 possui 180 m², dividida em quatro repartições. A estrutura foi feita com pilares pré-moldados, o concreto não era usinado, era feito na própria empresa, mas essa empresa se preocupava em fazer um traço 1:2:3 (cimento, areia, brita), querendo atingir os 25 MPa e o cobrimento nominal de 2cm. Os elementos de vedação externos e internos foram alvenaria junto com madeira.

A Edificação C (Figura 6) foi construída em 2019, possui um ano de uso, com 560 m², dividida em três repartições. A estrutura foi feita com pilares pré-moldados, projetada pela mesma empresa da Edificação B, porém o concreto foi usinado, com ensaios que comprovavam os 25 MPa, com cobrimento de armadura de 2 cm. Os elementos de vedação externos e internos foram alvenaria junto com madeira.



Figura 4 – Fachada da edificação A



Figura 5 – Fachada da edificação B



Figura 6 – Fachada da edificação C

As três obras estão sujeitas aos dejetos e gases, porém existe uma diferença na quantidade de dejetos das porcas em gestação comparado aos dejetos dos leitões na creche, sendo muitas vezes mais agressivos não só pela quantidade, mas dependendo da alimentação e idade do suíno.

A quantidade de dejetos também pode variar conforme o peso do suíno, o sexo, raça, alguns fatores interferem na quantidade desses dejetos. A Embrapa (1993), afirma que a água ingerida por cada animal influencia na quantidade de urina e dejetos líquidos, essa quantidade total de resíduos pode ser classificada cerca de 8,5% a 4,9% do peso vivo por dia do suíno.

A limpeza também é um fator importante para manter a estrutura com qualidade. Nas três estruturas são feitas limpezas semanais, somente com jato de água sem nenhum produto, para não haver a intoxicação dos animais passado sempre o lança chamas para a esterilização.

A comparação tem o objetivo de identificar a qualidade do concreto de cada edificação e o comportamento dos gases químicos e orgânicos com o passar dos anos, como esses gases podem comprometer uma estrutura que está exposta direto a essas condições. A Edificação A apresenta

muitas patologias e desagregação do concreto em toda a estrutura, principalmente na parte inferior dos pilares onde fica em contato direto com os dejetos dos suínos, já a Edificação B é a mais antiga, os pilares também ficam expostos as mesmas condições e ainda não apresenta manifestações patológicas, na Edificação C os pilares também estão expostos aos dejetos e gases sendo uma estrutura nova, também não apresenta manifestações patológicas visíveis.

2.2 Procedimentos de coletas e interpretação de dados

Nesta pesquisa, os elementos estruturais escolhidos para análise foram os pilares por terem em comum o fato de serem pré-moldados nas três edificações. A partir dessa escolha foram realizados ensaios de resistividade elétrica e profundidade de carbonatação para conseguir medir e analisar a ação dos agentes agressivos no concreto. Além disso, foi feita uma análise visual e todas as manifestações patológicas presentes nos pilares, foram armazenadas com registros fotográficos.

2.2.1 Inspeção visual

A inspeção visual consistiu primeiramente na visita ao local para o conhecimento das patologias existentes, registro fotográfico e medição do local, sendo que nenhuma das edificações tem o projeto da planta baixa. Segundo passo, foi realizado o levantamento de todas as informações das três estruturas em estudo como, localização, exposição aos dejetos, idade da construção, caracterização estrutural, cronograma e materiais utilizados para limpeza e controle tecnológico. Para começar os ensaios nas três estruturas, a fim de entender os fatores que levaram os surgimentos das manifestações patológicas na Edificação A diferente da Edificação B que são mais antigas e como a Edificação C com pouco tempo de uso está se comportando.

2.2.2 Escolha dos pilares

A determinação dos pilares escolhidos para os ensaios foi possível através de inspeção visual in loco. Os pilares foram selecionados de forma mais centralizada, expostos as mesmas condições, porém apresentando manifestações patológicas diferentes. Isso para representar da melhor maneira possível todas as condições de exposição e influência das intempéries sendo de dejetos, gases, limpeza. Todos os pilares selecionados são de dimensões iguais 15x20cm.

Para a Edificação A os pilares pré-moldados que foram selecionados para o ensaio de resistividade elétrica foram P1, P2, P3 e P4, de forma centralizada onde todos ficavam expostos as mesmas condições das outras edificações. Os pilares P2 e P4 foram submetidos a ensaio de carbonatação, a edificação tem menos tempo de uso, mas apresentava muitas manifestações patológicas.

Na Edificação B, foram selecionados quatro pilares pré-moldados P1, P2, P3 e P4 para a realização do ensaio de resistividade elétrica, e o P1 para ensaio de carbonatação. Todos os pilares apresentavam as mesmas características, sem manifestações patológicas, mesmo sendo uma estrutura mais antiga.

Já na Edificação C os pilares pré-moldados selecionados foram P1, P2, P3 e P4, de forma centralizada, onde todos ficam expostos as mesmas condições para a realização do ensaio de resistividade elétrica, e nessa edificação não foi realizado ensaio de carbonatação, por ser uma estrutura nova. A Figura 7, a Figura 8 e a Figura 9 apresentam as plantas baixas com a localização dos pilares.

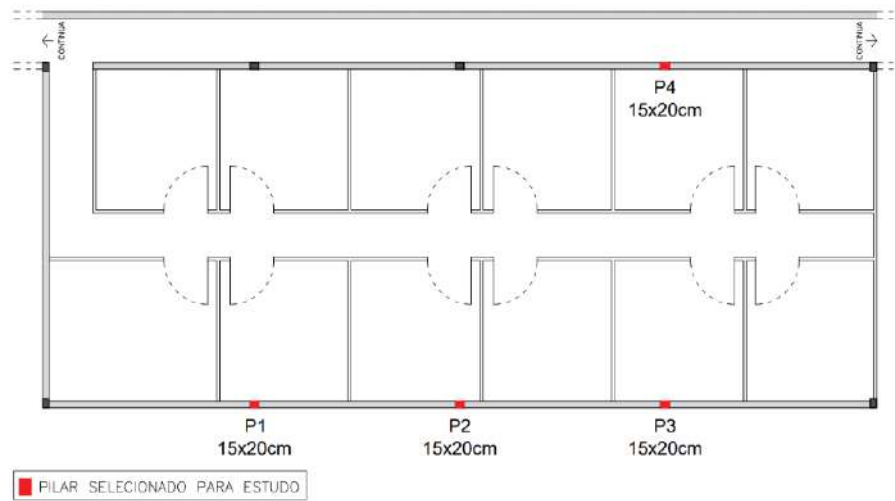


Figura 7 – Pilares da edificação A selecionados para estudo

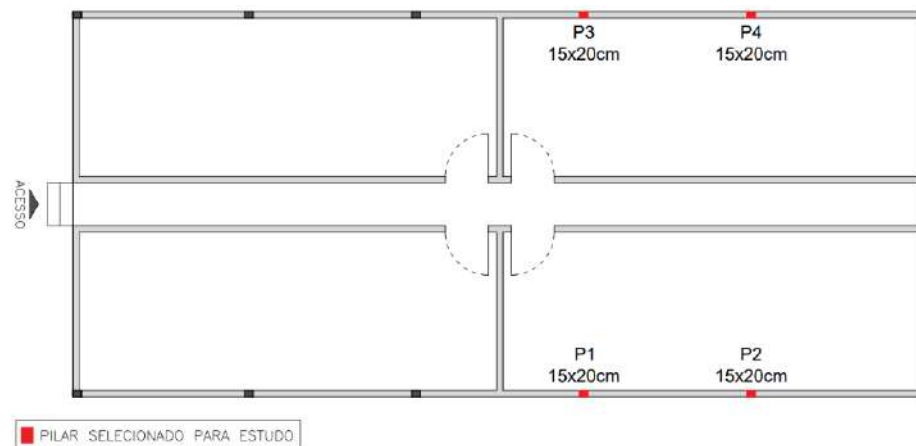


Figura 8 – Pilares da edificação B selecionados para estudo

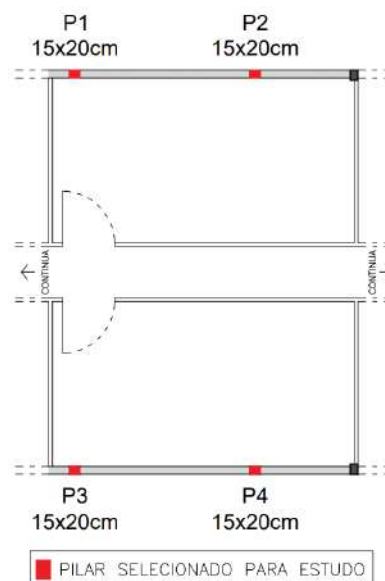


Figura 9 – Pilares da edificação C selecionados para estudo

2.2.2 Profundidade de carbonatação

A escolha dos pilares para o teste semidestrutivo foi analisada onde os valores do ensaio de resistividade elétrica apresentaram-se atípicos, os três pilares escolhidos apresentaram resistividade mais alta que os demais, que podem indicar carbonatação ou início dela, conforme instrução do manual da Proceq (2017). Foram realizadas em dois pilares na Edificação A, um pilar na Edificação B, e na Edificação C não foi possível a extração do concreto por ser uma estrutura nova.

Foi realizada a demarcação da região a 1 metro de altura, com o auxílio de marreta feita a extração do concreto, até que fosse atingida a profundidade da armadura longitudinal presente no pilar pré-moldado, os três pilares tinham cobertura de 2cm. Após a limpeza da área, foi aspergida solução de fenolftaleína diluída em álcool 1%. Com isso foi observada a profundidade de carbonatação em cada pilar e registrada em fotos.

2.2.2 Resistividade elétrica

Todos os ensaios para medir a resistividade elétrica foram realizados na parte de dentro das edificações, utilizando o equipamento Resipod da marca Proceq, seguindo todas as instruções do manual. As medições foram realizadas na parte inferior dos pilares onde tinha contato direto com os dejetos e à um metro de altura aonde era exposto com os gases. A Figura 10 mostra as alturas que foram realizados os ensaios.



Figura 10 – Teste de resistividade elétrica sendo realizado na parte inferior (a) e a um metro de altura (b) dos pilares

A área analisada foi molhada, seguindo as instruções do manual e foram feitas três leituras no mesmo local. A partir das leituras foram realizadas médias aritméticas na parte inferior e acima, em cada pilar escolhido de cada edificação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Inspeção visual

A inspeção visual realizada nas três edificações, detectou alguns problemas como fissuras, armaduras expostas e em processo de corrosão em alguns pilares, que podem comprometer a estrutura com o passar do tempo.

Na Edificação A, foram observadas que os pilares apresentavam fissuras aparentes, deslocamento do cobrimento de concreto, armaduras expostas, aspecto muito poroso, facilitando a entrada de gases presentes no local, resultando no surgimento de manifestações patológicas. A Figura 11 apresenta o aspecto visual dos pilares P1, P2, P3 e P4 da edificação.



Figura 11 – Aspecto visual dos pilares da edificação A

Os pilares P1, P3 e P4 apresentam um acúmulo de concreto na parte inferior, isso foi feito após a colocação dos pilares no local, para fixar melhor o piso ripado do crechário.

O pilar P2 é um dos pilares que não foi colocado concreto embaixo dele para segurar o piso ripado, pois ele estava no meio de dois pilares que seguravam. Ele é o pilar mais danificado na inspeção visual, sofrendo maior impacto dos suínos. Entre eles a gordura animal presente nos dejetos podem reagir com o hidróxido de cálcio, havendo reação de saponificação, produzindo glicerol e sal de ácidos graxos, reduzindo o pH e favorecendo a decomposição química da pasta e a corrosão da armadura (Andrade, 2005).

Na Edificação B, mesmo tendo mais tempo de utilização das três edificações, com dejetos de porcas em gestação, não tinha manifestações patológicas visuais graves, mesmo estando expostos aos mesmos agentes físicos e químicos. O concreto possivelmente era melhor dessa edificação, menos impermeável podendo resistir melhor a ambientes agressivos, conforme explica Andrade (2005). A Figura 12 apresenta a face interior dos pilares P1, P2, P3 e P4 da edificação.



Figura 12 – Aspecto visual dos pilares da edificação B

Já a Edificação C, por ter menos de um ano de uso, também não apresentava nenhuma manifestação patológica visual, por ser uma estrutura nova e ser feito com um concreto com uma dosagem adequada. A Figura 13 apresenta a face interior dos pilares P1, P2, P3 e P4 da edificação.



Figura 13 – Aspecto visual dos pilares da edificação C

3.2 Profundidade de carbonatação

Os dois pilares da Edificação A, onde foram realizados os ensaios de profundidade de carbonatação, já apresentaram corrosão na armadura quando feita a extração do concreto (Figura 14). Permanecendo incolor, o ensaio comprovou a presença de carbonatação total nas suas estruturas, com espessuras indicadas na Tabela 1. Além disso, observou-se que, mesmo a Edificação B não apresentando tantas manifestações patológicas visuais quanto a Edificação A, seu pilar apresentou carbonatação, o que indica pH abaixo de 9 (Figura 15).

Tabela 1 – Espessura de carbonatação dos pilares estudados

Edificação	A		B
Pilar	P2	P4	P1
Espessura de carbonatação (mm)	27	32	28



Figura 14 – Pilar P2 e P4 da edificação A após aspersão de fenolftaleína.



Figura 15 – Pilar P1 da edificação B antes e após aspersão de fenolftaleína.

Nesses locais agressivos, a alta concentração de CO_2 e outros gases, como amônia e H_2S do esterco podem levar ao ataque de sulfato agindo no interior das estruturas, podendo diminuir o pH do concreto levado à corrosão das armaduras pela ação da carbonatação, reduzindo a área da seção das barras, induzindo tração no concreto ocasionando mais manifestações patológicas.

Segundo Santos Filho et al (2016), a exposição a umidade dos elementos, traz maior risco de corrosão de armaduras, especialmente pela sucção por capilaridade do concreto.

A baixa alcalinidade verificada no concreto das estruturas que cobre a armadura pode ser devido à idade de cada edificação e o tempo de exposição dos pilares expostos a tantos gases e dejetos, o cobrimento nominal das armaduras também contribuiu para a deterioração de alguns elementos mais rápido.

A carbonatação ocorre com mais facilidade em ambientes com umidade, por ser edificações que são expostas a dejetos líquidos, respiração dos animais, limpeza feita com intensidade e semanal, o ambiente tem média umidade favorecendo a entrada dos gases, facilitando a carbonatação acontecer no interior da estrutura.

3.3 Resistividade elétrica

A Edificação A foi a mais afetada nos pilares, pelos dejetos e gases, mesmo não sendo a estrutura mais antiga, e apresentou uma grande diferença no resultado da resistividade elétrica quando comparadas a parte inferior e a um metro de altura (Figura 16). Isso pode ser ocasionado pelo concreto não ser usinado, sem um traço correto e devido à falta de controle da espessura do cobrimento da armadura.

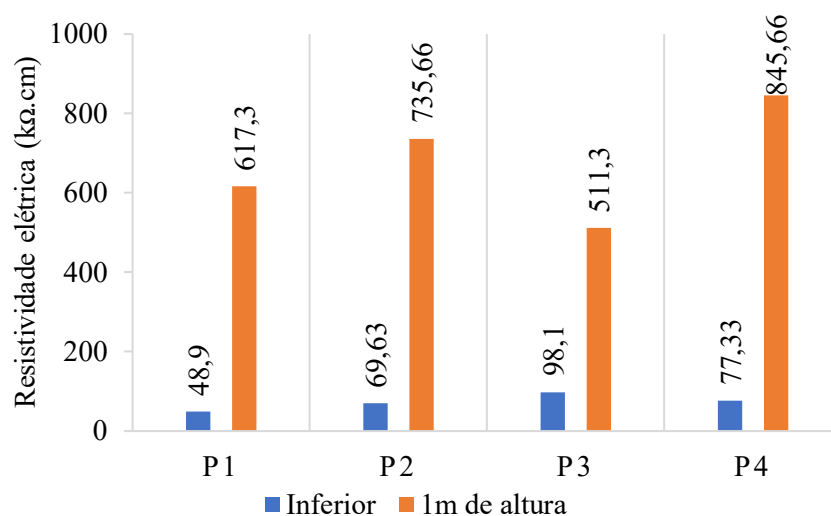


Figura 16 – Resistividade elétrica dos pilares da edificação A

A Edificação B, estrutura mais antiga, apresentou diferenças na resistividade elétrica onde tinha contato com os dejetos e a um metro de altura onde o contato era só com os gases do local (Figura 17). O concreto da Edificação B não era usinado, mas a empresa se preocupava em fazer um traço forte e respeitava o cobrimento de 2 cm, por isso mesmo os pilares apresentando carbonatação eles não apresentavam corrosão no interior dos mesmos.

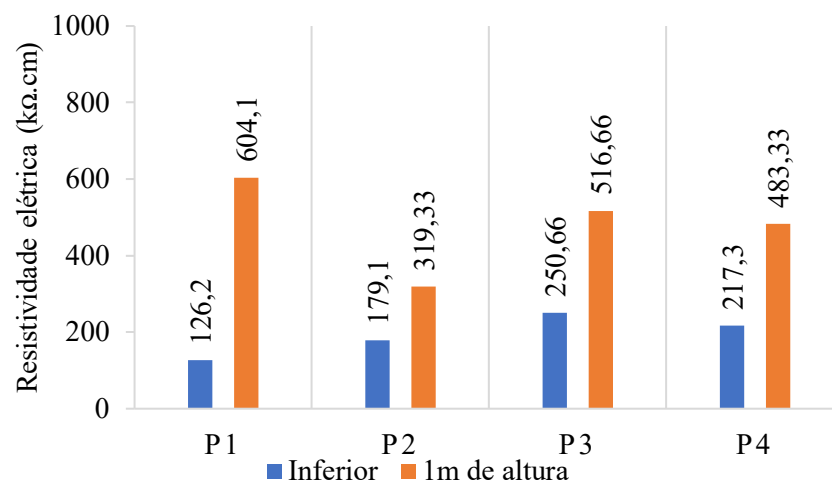


Figura 17 – Resistividade elétrica dos pilares da edificação B

Por fim, a Edificação C não apresentou muita diferença na parte inferior e a um metro de altura (Figura 18), o baixo valor médio de resistividade elétrica na parte inferior e acima pode ser ocasionado em razão da pouca idade do concreto. Devido a ser uma estrutura mais nova e por ser feita com concreto usinado, com maior controle tecnológico, respeitado o traço adequado, fazendo os ensaios comprovando os 25 MPa e com o cobrimento nominal de 2 cm.

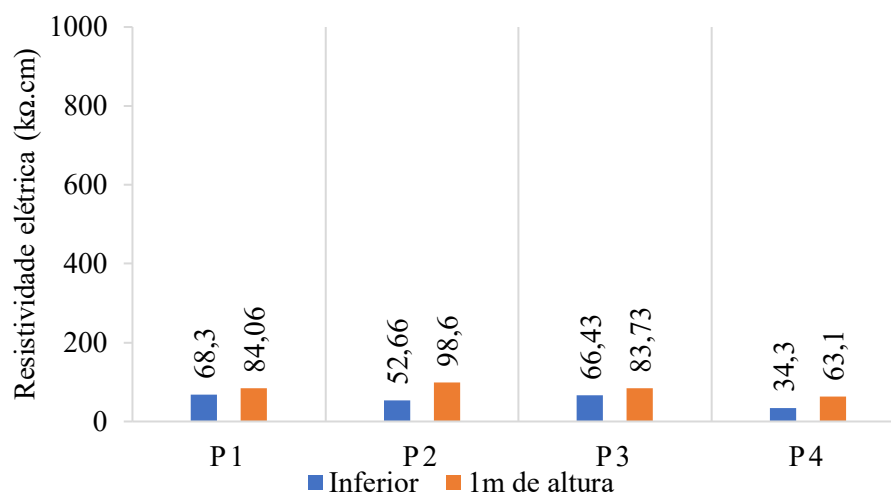


Figura 18 – Resistividade elétrica dos pilares da edificação C

Verificou-se que a qualidade do concreto dos pilares influenciou diretamente o ensaio de resistividade elétrica. Nas Edificações B e C o concreto foi feito com um traço mais forte e com muito mais qualidade que a Edificação A, que não é a mais antiga, porém é a mais deteriorada. Fazendo um comparativo em relação a integridade do concreto, a edificação mais antiga (Edificação B) apresenta resistividade elétrica 30% inferior a edificação mais deteriorada (Edificação A), analisando os valores a um metro de altura em contato com os gases (Figura 19).

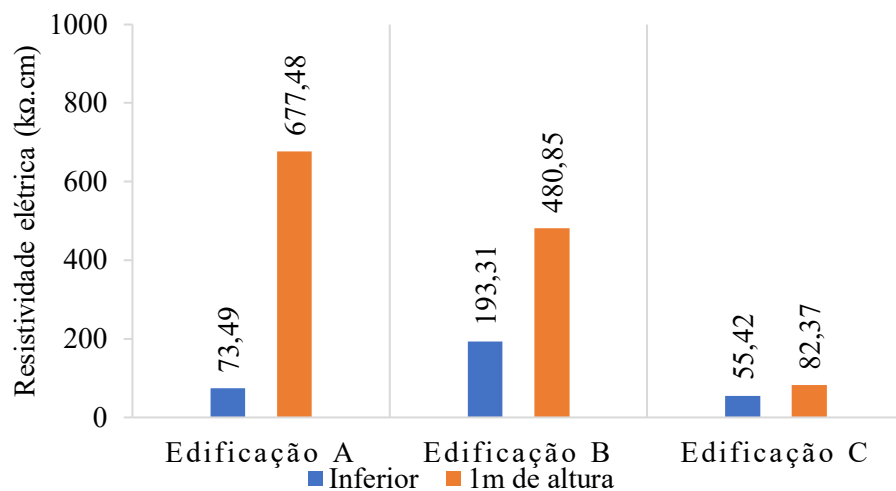


Figura 19 – Média da resistividade elétrica em cada edificação

Comparando os valores na parte em contato com os dejetos, a Edificação B apresenta resistividade elétrica 2,6 vezes superior a Edificação A, isso está relacionado as graves manifestações patológicas que apresenta a Edificação A e o concreto íntegro da Edificação B. Fazendo uma análise de tempo de vida útil, da edificação mais antiga (Edificação B) comparada a edificação mais nova (Edificação C) sendo o concreto das duas estruturas similar, ambas com o concreto íntegro. Analisando os valores a 1m de altura, em menos de 15 anos a resistividade elétrica aumento 5,8 vezes, ou seja, mesmo a estrutura não apresentando manifestações patológicas visíveis igual a Edificação A, o resultado da resistividade pode dar alto, só pelo fato daquele concreto estar em contato com os gases do local.

A relação de ambiente com a resistividade do concreto pode mudar em relação ao tipo de concreto e a que condições aquele local está sujeito. A carbonatação reduz a concentração dos íons no líquido dos poros, responsáveis pela condução da corrente, podendo ocasionar o aumento da resistividade elétrica do concreto (Millard, 1991).

Conforme Proceq (2017) o clima de ambiente interno com carbonatação para cimento Portland comum apresenta resistividade de 300 kΩ.cm ou mais. Isso justifica os resultados altos de resistividade, pois os três pilares analisados no ensaio confirmaram a existência de carbonatação. A gordura presente nos dejetos líquidos também ajuda a reduzir a passagem da corrente elétrica.

4. CONCLUSÕES

O trabalho objetivou a análise de pilares pré-moldados na área da suinocultura, diagnóstico das estruturas de concreto armado por meio da aplicação de ensaios não destrutivos e semidestrutivos, sendo eles inspeção visual, resistividade elétrica e profundidade de carbonatação.

Para o ensaio de profundidade de carbonatação, as duas edificações A e B em menos de 20 anos de uso, apresentaram carbonatação total do cobrimento da armadura, esse resultado pode ser devido aos gases presentes no ambiente interno das edificações, gerados pelos dejetos suínos.

Todos os pilares da Edificação A apresentavam várias manifestações patológicas, muitas fissuras que facilitam a difusão do dióxido de carbono, acelerando o processo de carbonatação do concreto e corrosão da armadura. A Edificação B por ser mais antiga apresentava carbonatação, mas não existia corrosão nas armaduras. Vale ressaltar que a edificação C não foi feito teste de carbonatação por ser uma estrutura nova.

Quando analisada a profundidade de carbonatação, pode-se melhor compreender os resultados apresentados através da resistividade elétrica, para os pilares da Edificação A e B, visto que a resistividade das duas estruturas possivelmente sofreu influência da carbonatação.

Em relação ao ensaio de resistividade elétrica observou-se que houve uma diferença significativa entre os resultados da Edificação A e B, da parte inferior dos pilares onde os elementos ficavam em contato direto com os dejetos e o resultado a um metro de altura onde o contato era com os gases do local. Já a Edificação C apresentou resistividade elétrica baixa, por ser um concreto novo e pouca diferença entre a parte inferior e superior dos pilares.

Após a aplicação dos ensaios efetuados nos pilares, pode-se verificar que mesmo a Edificação B sendo mais antiga ela se encontra em bom estado de conservação, com resistividade elétrica maior que a Edificação A, isso se daria pelo fato de ser um concreto com mais qualidade. Entretanto a Edificação A com várias manifestações patológicas necessita de alguns reparos, de modo a garantir uma maior vida útil da estrutura.

Através deste estudo, é possível ver a eficiência de ensaios não destrutivos e semidestruídos para saber como a estrutura está se comportando nesses ambientes agressivos. A falta de manutenção faz com que pequenas manifestações patológicas que teriam baixos custos corretivos, evoluam causando insegurança estrutural e elevando os custos de recuperação. A realização desses ensaios é uma maneira econômica e garante a eficiência de manutenções, reforços e reparos estruturais antes de situações irreversíveis.

5. REFERENCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: projeto de estruturas de concreto armado - procedimento*. Rio de Janeiro.

_____. (2004). *NBR 14931: execução de estruturas de concreto – procedimento*. Rio de Janeiro.

_____. (2015). *NBR 12655: concreto de cimento Portland - preparo, controle, recebimento e aceitação - procedimento*. Rio de Janeiro.

Andrade, T. (2005) Tópicos sobre durabilidade do concreto. In: PASSUELO, A., ISAIA, G. C. (Ed.). *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON, v.1. p.753-792.

De Belie, N. (1997). On-farm trial to determine the durability of different concrete slats for fattening pigs. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 68:311-316. <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0209>

Embrapa. (1993). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia: Cnpa.

Figueiredo, E. P. (2005). Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*, In: Isaia, G. C. IBRACON, Cap. 27, p.829 – 855, V. 2, São Paulo.

Lorenzi, A; Reginato, L. A; Lorenzi, L. S e Filho, L. C. P. S. (2016). Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto. *Revista de Engenharia Civil IMED*. 3(1):3-13. <https://doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v3n1p3-13>

Millard, S. G. (1991). Reinforced concrete resistivity measurement techniques. *Proceedings of Institute of Civil Engineers*. 91(1):71-88. <https://doi.org/10.1680/iicep.1991.13583>

Proceq. (2017). Manual de instrução de operação do Resipod.

Jacob, S. J., Grezzana Mascelani, A.G., Dalla Costa, F. A., Dalla Costa, O. A. (2020) Qualidade de piso de concreto para suinocultura. Concórdia, EMBRAPA (Comunicado técnico, 16).

Santos Filho, M. L. S. F., Falavigna, C., Esteves, C. A., Souza, D. J., Rosa, C. M. (2016). *Análise das condições estruturais para recuperação de obras abandonadas: Um estudo de caso*. In: Congresso Brasileiro de Patologias das Construções, Belém do Pará. Casa Leiria.

Souza, V. C. M., Ripper, T. (1998). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Pini.

Vida útil em estrutura de concreto armado: estudo de caso em edificação de interesse histórico-cultural na região da serra gaúcha

J. DAUDT^{1*}, G. PRAGER², Y. PETEREIT³, C. SILVA⁴, B. TUTIKIAN⁵

*Autor de Contato: julio.daudt@gmail.com

¹ Engenheiro Civil, M.Sc., Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, Brasil.

² Engenheiro Civil, M.Sc., Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, Brasil.

³ Engenheira Civil, M.Sc., Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, Brasil.

⁴ Arquiteta e Urbanista, M.Sc., Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, Brasil.

⁵ Engenheiro Civil, Sc.D., Professor, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, Brasil.

RESUMO

Este artigo tem como objetivo determinar a perda de capacidade resistente de elementos de concreto armado e a vida útil remanescente de elementos estruturais em uma edificação de interesse histórico e cultural na região da serra gaúcha. Para atender ao objetivo, realizou-se inspeção preliminar e fotográfica, e, a partir da definição dos pontos de avaliação, mediram-se os diâmetros das barras de aço expostas, no caso da avaliação da perda de capacidade resistente, e a profundidade de carbonatação para os pontos de avaliação da vida útil remanescente. Os resultados indicam que a perda mínima de capacidade resistente para os pontos com armadura exposta é de 28%, e projeção mínima de vida útil remanescente inexistente, atingindo até 171 anos.

Palavras-chave: durabilidade; corrosão; concreto armado; edificação tombada.

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado são fundamentais para o desenvolvimento da infraestrutura urbana. As propriedades mecânicas e a versatilidade de aplicação desse material caracterizam, quase que integralmente, os aspectos positivos de sua utilização; além de ser economicamente viável na maioria dos casos (BERTOLINI et al., 2004; MEHTA; MONTEIRO, 2014; NEVILLE; BROOKS, 2010). A corrosão nas armaduras é uma das principais formas de deterioração dessas estruturas de concreto armado, esse fato faz com que grandes investimentos sejam despendidos anualmente no mundo inteiro para o controle, investigação e reparação dessas estruturas (BROOMFIELD, 2007).

Sabe-se que o concreto armado é um material compósito que, normalmente, apresenta boa proteção contra os mecanismos de corrosão do aço que o compõe (GJORV, 2014; MEHTA; MONTEIRO, 2014). Verifica-se que essa combinação pode ser durável porque o concreto gera uma proteção química e física ao aço, podendo minorar significativamente os problemas de corrosão (BENTUR; DIAMOND; BERKE, 1997).

Quando o concreto entra em contato com o aço, o processo de corrosão é interrompido e o material entra em um estado estacionário de energia, uma vez que um filme de proteção é formado na interface do concreto com o metal (BROOMFIELD, 2007; DAVIS, 2000). Esse filme de passivação, como é conhecido, se forma naturalmente no concreto porque a solução dos poros da pasta de cimento é alcalina, com um pH entre 12 e 14; isso em virtude da alta concentração de hidroxilas provenientes dos compostos KOH, NaOH e Ca(OH)_2 formados no processo de hidratação do cimento. Assim, entende-se que a circunstância estabelecida favorece termodinamicamente a ocorrência da proteção passiva, mantendo o metal isolado do meio que desencadeia o fenômeno da corrosão (JONES, 1996; MAYS, 2003; TUUTTI, 1982).

Para Bentur, Diamond e Berke (1997) e Broomfield (2007), a integridade da camada passiva – e a consequente resistência à corrosão – é afetada ao longo do tempo pelas reações do concreto com os agentes agressivos do meio externo. Dentre as reações prejudiciais, duas se destacam: a redução do pH em função da carbonatação, que é uma reação química do CO_2 com os álcalis da solução dos poros; e a degradação do filme de passivação a partir da penetração de íons cloreto, que por difusão atravessam o cobrimento de concreto e atacam localmente o aço (CARINO, 1999; TUUTTI, 1982).

A carbonatação é um processo lento e ocorre da superfície para o interior. Nota-se que a taxa de carbonatação depende da permeabilidade do concreto, seu teor de umidade, teor de CO_2 do ambiente de exposição e umidade relativa. A carbonatação reduz a natureza alcalina da pasta de cimento hidratada para um pH de aproximadamente 8, condição em que o filme de passivação é desformado e os mecanismos de corrosão são iniciados na presença de H_2O e O_2 . Neste contexto, caso toda a espessura de cobrimento de concreto da armadura seja carbonatada e houver presença de umidade e oxigênio, ocorrerá a corrosão do aço e, devido ao processo expansivo, fissuração da estrutura do material (BROOMFIELD, 2007; MEHTA; MONTEIRO, 2008; NEVILLE; BROOKS, 2010).

Nesse sentido, Aïtcin e Mindess (2011) e Richardson (2002) salientam a necessidade de se conhecer a durabilidade das estruturas de concreto armado e sua vida útil remanescente, visto que a degradação deste material gera um impacto socialmente contraproducente, economicamente insustentável e ambientalmente negativo.

Segundo Helene (1993), entende-se por vida útil o período no qual a estrutura é capaz de desempenhar as funções para as quais foi projetada. Podendo-se distinguir pelo menos três situações:

- a) Período que vai até a despassivação da armadura, normalmente denominada de período de iniciação. A esse período pode-se associar a chamada vida útil de projeto. Normalmente correspondente ao tempo necessário para que a frente de carbonatação ou a frente de cloretos atinjam a armadura;
- b) Período que vai até o momento em que aparecem manchas na superfície do concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobrimento, ou ainda quando há o destacamento do concreto de cobrimento. A esse tempo associa-se a chamada vida útil de serviço ou de utilização;
- c) Período que vai até a ruptura e colapso parcial ou total da estrutura, a esse período associa-se a chamada vida útil total.

De acordo com Isaia (2004), perante os conceitos que englobam a durabilidade e vida útil das edificações, tem-se uma preocupação maior na determinação destes em edificações que são patrimônios históricos, a fim de elaborar planos de restauração e preservação adequados. Ainda segundo o autor, o conceito de preservação de edificações históricas no século XXI parte do princípio de que o patrimônio possui um valor, não apenas pelo passado como também pela história que terá pela frente. Considerando este significado, caracteriza-se que o patrimônio histórico possui “vida”, ou seja, um valor intrínseco pelos acontecimentos que nele se desenrolará. Esta vida, do ponto de vista da deterioração dos materiais, pode ser considerada como a vida útil da edificação, isto é, período no qual a edificação permanece contribuindo em todos os aspectos para a sociedade em que está inserida. Barbosa (2010) afirma que para a preservação de edificações de interesse histórico cultural e elaboração de um plano de restauração adequado e realista é essencial conhecer a vida útil e o estado de deterioração da edificação.

A partir desta contextualização, é possível afirmar que se fazem importantes os estudos sobre as técnicas de diagnóstico e de determinação de vida útil remanescente para as edificações, e não somente para aquelas com interesse histórico-cultural. A definição do período em que a estrutura de determinada edificação irá se manter sob condições mínimas de serviço e utilização pode trazer relevantes parâmetros técnicos para a tomada de decisão sobre o desenvolvimento de um plano de manutenção e/ou recuperação.

Os modelos teóricos de previsão de vida útil são utilizados na comunidade técnico-científica principalmente na validação do tempo de vida útil remanescente das estruturas de concreto armado, e consistem em modelos matemáticos que tem o intuito de reproduzir os fenômenos naturais, físicos e químicos, quantificando sua ocorrência, baseando-se em uma ou mais características do concreto e do meio de exposição (PACHECO, 2016).

Entre os modelos de previsão de vida útil, destaca-se o modelo de Tuutti (1982), que considera os períodos de iniciação e propagação dos danos nas estruturas. Ramezani pour, Ghahari e Esmaili (2014) dizem que o tempo que a frente de carbonatação leva para atingir a armadura depende de muitos fatores, mas analisando holisticamente, diz-se que depende da espessura da camada de cobrimento e da taxa de difusão do dióxido de carbono (CO₂) no concreto. Smolczyk (1969) deu origem aos estudos matemáticos de previsão de vida útil, e mostra que comumente essa taxa de carbonatação no concreto pode ser descrita por meio da Equação 1:

$$d = K.t^{1/n}$$

Equação 1

Em que “d” é a profundidade de carbonatação (mm) e “t” é o tempo (anos). Muitas vezes o expoente “n” é 2, podendo ser considerado um fenômeno de tendência parabólica (TUUTI, 1982). O coeficiente de carbonatação “K” (mm/ano^{1/2}) pode, portanto, ser considerado como uma medida da taxa de penetração da carbonatação para as respectivas condições ambientais e do concreto (SMOLCZYK, 1969).

Diante do exposto, para o prédio principal de uma edificação estruturada em concreto armado e de interesse histórico-cultural na região da serra gaúcha, este artigo tem como objetivo determinar a perda de capacidade resistente de elementos de concreto armado em que a vida útil de serviço já foi atingida e determinar a vida útil remanescente de elementos em que não foram registrados visualmente manifestações patológicas de corrosão.

2 MÉTODO

2.1 Objeto de Estudo

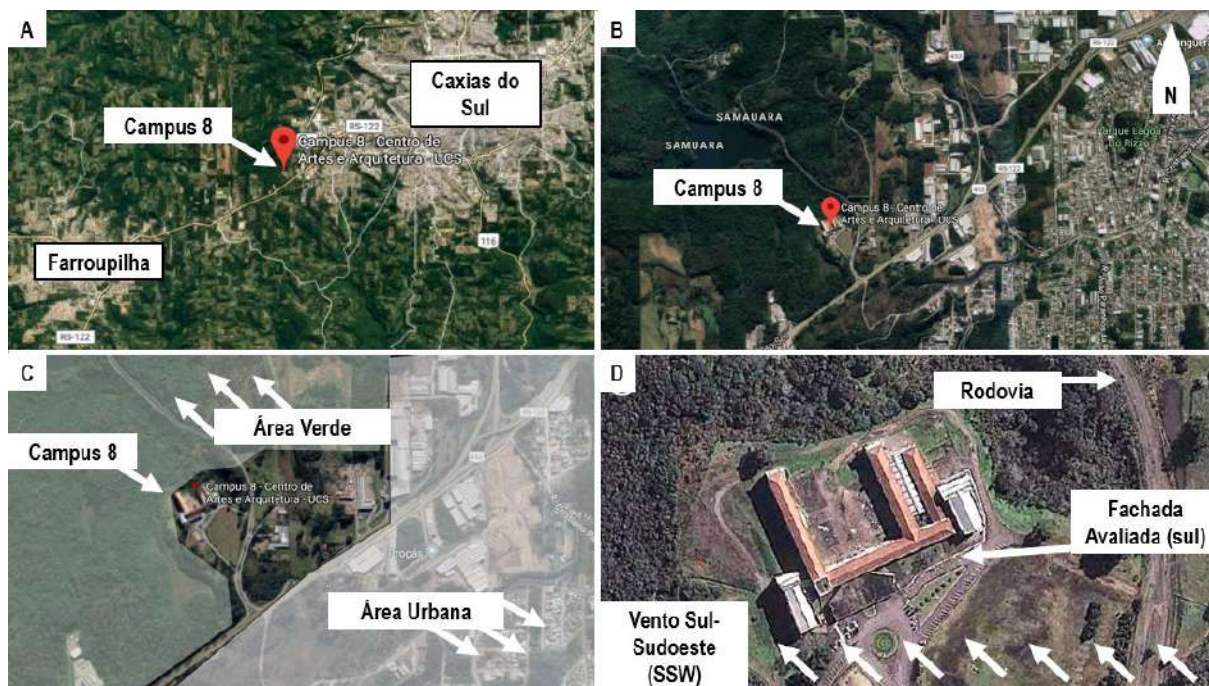
O objeto de estudo deste trabalho consiste no complexo de edificações do Campus 8 da Universidade de Caxias do Sul, o qual é composto por prédios de interesse histórico-cultural, executado em concreto armado e tombado como patrimônio histórico da cidade. A sua configuração original, Colégio Santa Francisca Xavier Cabrini, foi inaugurada em 1961, passou pelo uso de uma indústria metalúrgica e atualmente sedia o campus de Artes e Arquitetura da UCS (Universidade de Caxias do Sul). Em 2012 o complexo foi tombado pelo Patrimônio Histórico Municipal, sendo o 39º bem tombado em Caxias do Sul - RS.

A edificação está localizada na região oeste do município de Caxias do Sul, serra do estado do Rio Grande do Sul. Segundo os dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Ministério da Agropecuária, Pecuária e Abastecimento da República Federativa do Brasil, a região apresenta temperatura mínima média anual de 12,9°C, temperatura máxima média anual de 22,9°C, precipitação média mensal de 145 mm e direção predominante dos ventos sudoeste-oeste (SSW).

A Figura 1 apresenta uma representação do ambiente de exposição da edificação, indicando a direção predominante dos ventos, a área verde existente à noroeste da edificação e a área urbana e industrial à sul e leste da edificação. Além disso, aproximadamente a 400 m ao sul da edificação é existente a rodovia Rota do Sol (RS-122), caracterizada por tráfego de veículos de passeio e caminhões de transporte rodoviário.

Figura 1: localização do Campus 8 da UCS.

(a) e (b) Representação do ambiente de exposição da edificação, da fachada de estudo (fachada sul). (c) e (d) Direção predominante dos ventos (SSW).



Fonte: Google Maps (2018). Adaptado pelos autores.

Identifica-se, a partir da direção predominante dos ventos e da caracterização do entorno da edificação, a qual contém uma área verde na região noroeste e área urbana frontal à fachada sul, que existe uma tendência representativa de que a fachada sul do prédio principal esteja exposta à maior nível de agressividade do meio de exposição, haja vista que é provável que os agentes agressivos sejam carregados pelo vento em direção à fachada. Esta hipótese é corroborada por autores como Ekolu (2016), que indicam que na direção predominante dos ventos os elementos estruturais recebem maior incidência de exposição aos agentes agressivos do meio. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a edificação insere-se em uma zona de agressividade II (moderada), sendo, neste caso, o CO₂ o elemento mais agressivo, que potencialmente desencadeia os processos de deterioração da estrutura de concreto armado.

Para atingir de maneira mais otimizada o objetivo proposto neste trabalho, propôs-se estudar o prédio principal da edificação, conforme caracterização demonstrada na Figura 2.

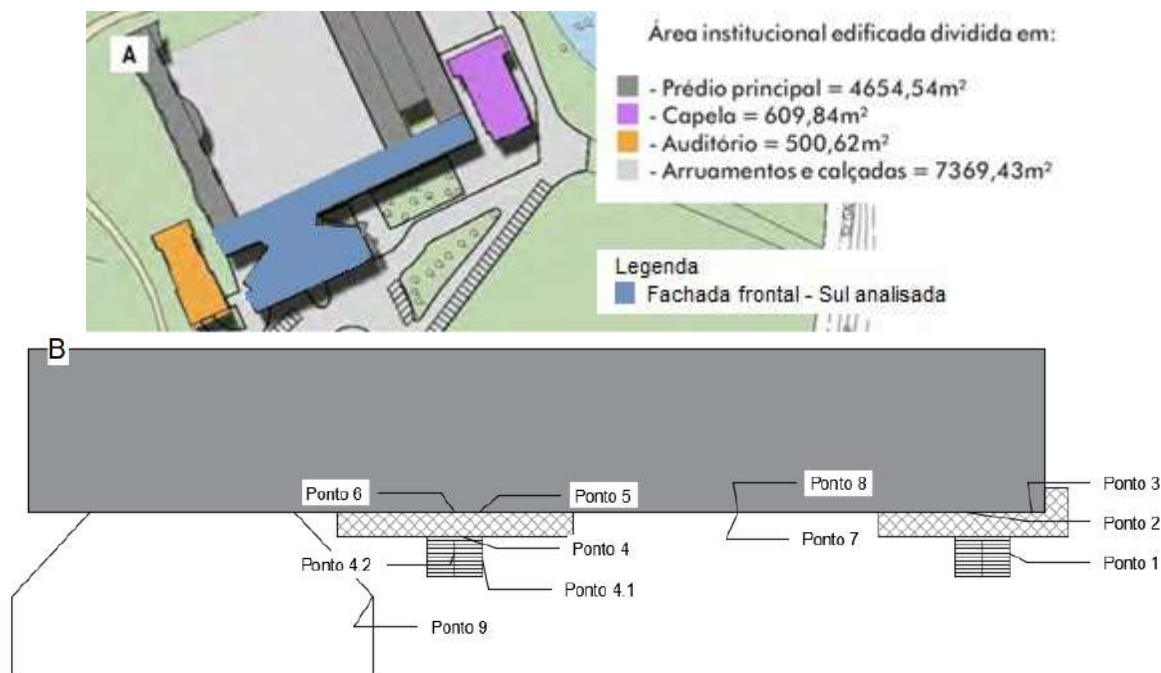
Figura 2: fotografia da edificação em vista frontal para identificação da fachada estudada.



Fonte: Pessato (2012).

Além disso, a fim de setorizar a avaliação, acumularam-se os pontos de estudo na fachada sul (fachada frontal da edificação), conforme pode ser visualizado na Figura 3; em que existe uma tendência de que os elementos estruturais estejam mais deteriorados, conforme discutido em função das condicionantes físicas de exposição e a partir de uma avaliação prévia visual efetuada no dia do levantamento de dados.

Figura 3: (A) Setorização da edificação e (B) localização dos pontos de estudo.



Fonte: (A) Pessato (2012); (B) Elaborado pelos autores.

Nos pontos identificados 1 (viga da escada), 4.1 (viga da escada), 4.2 (degrau da escada) e 9 (pilar de borda), registraram-se os diâmetros das barras expostas, visto que nestes pontos o nível de deterioração da estrutura é elevado, apresentando destacamento do concreto de cobertura e acúmulo de produtos de corrosão na superfície do metal já exposto. Salienta-se também que os elementos avaliados se situam nas escadas de acesso ao prédio principal, que estão interdidas ao público. Dentro deste contexto, definiram-se como pontos críticos de diagnóstico os pontos supracitados.

Para os pontos subsequentes, a análise foi realizada a partir de uma inspeção detalhada por meio do diagnóstico da condição de carbonatação da espessura de cobertura de concreto e do revestimento, tipo e espessura. Foram escolhidos a partir da proximidade com as escadas de acesso que estão em estado crítico de deterioração, com o intuito de restringir a inspeção. Se avaliou também um pilar central da fachada, ponto 7, para maior representatividade do estudo, em que o ponto se caracteriza por uma averiguação no ambiente interno da edificação.

2.2 Procedimento de Estudo

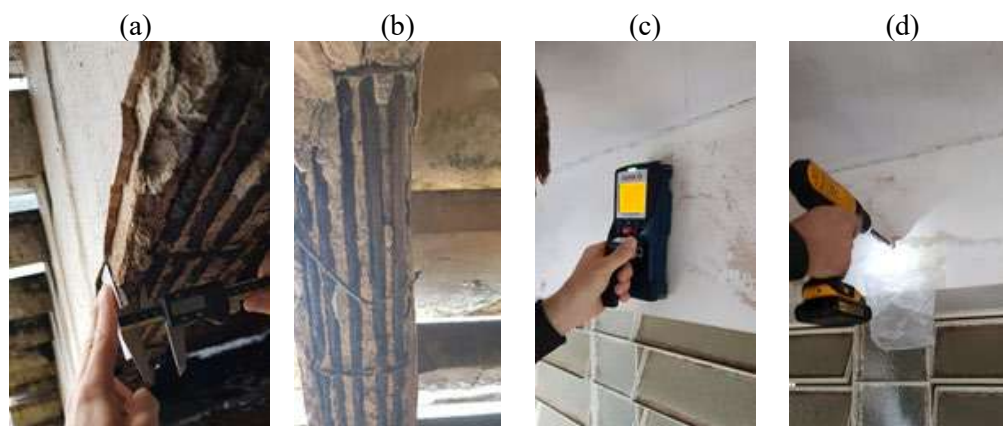
O estudo foi realizado a partir da definição e setorização da edificação avaliada, em que se definiram os pontos a serem diagnosticados detalhadamente como sendo aqueles de maior

incidência de exposição aos agentes agressivos carreados pelo vento e gerados pela zona urbana e industrial do entorno.

Os pontos de avaliação de perda mínima de capacidade resistente (Figura 4 “a” e “b”) foram limpos mecanicamente com escova de aço, marreta e talhadeira e as armaduras expostas tiveram o diâmetro medido com paquímetro. Chama-se de perda mínima de capacidade resistente porque a definição do diâmetro inicial das barras (φ de construção) foi estimado como a medida tabelada comercialmente e imediatamente superior àquela registrada na inspeção. Isso foi necessário para a validação do estudo em função da inexistência de registros documentados de projeto e/ou *as built* da construção em que o diâmetro das barras estivesse identificado. Destaca-se aqui, que com a adoção deste procedimento para determinação da perda de resistência dos elementos avaliados infere-se incerteza nos resultados obtidos. Entretanto, como dados de verificação da perda mínima de seção, os resultados podem ser discutidos e analisados qualitativamente.

Para definição da vida útil remanescente, nos pontos de análise foram identificados os posicionamentos das barras de armadura por meio da técnica de pacometria com o equipamento de identificação eletromagnética de barras. Depois disso, com furadeira e broca de 8 mm se realizaram furos com profundidade progressiva (intervalos de 5 em 5 mm) e coletou-se o pó do material perfurado para verificação do pH, e por consequência, da condição de carbonatação do revestimento de concreto (Figura 4 “c” e “d”).

Figura 4: diferença de condições dos grupos de pontos avaliados. (a) e (b) – determinação da perda de capacidade resistente. (c) e (d) – determinação da vida útil remanescente.



Fonte: registrado pelos autores.

O cálculo de vida útil remanescente foi realizado com base no modelo de previsão de vida útil de Tuutti (1982).

Não se considerou no cálculo a carbonatação do revestimento de argamassa, visto que conforme Mehta e Monteiro (2014) os coeficientes “K” de carbonatação dos materiais argamassa e concreto são significativamente diferentes entre si, ainda que o meio de exposição seja o mesmo.

2.3 Medição da profundidade da carbonatação

A determinação da profundidade de carbonatação foi realizada por meio de um indicador químico de pH, visto que é a técnica mais difundida, devido a sua praticidade e baixo custo (PAULETTI, 2004).

As diretrizes desse ensaio atenderam a prescrição francesa RILEM CPC-18 (1988). Utilizou-se a solução de fenolftaleína (1 g de fenolftaleína + 49 g de álcool + 50 g de água), sendo esta de tonalidade rosada em contato com os álcalis do concreto (pH acima de 9), e tornando-se transparente quando em contato com superfície de pH inferior a 9 (superfície carbonatada).

Com o pó proveniente do furo realizado de 5 em 5 mm, determinou-se a profundidade (com 5 mm de precisão) em que o pó coletado apresentou coloração rosada, demonstrando o ponto de viragem de pH, e, por consequência, a espessura da frente de carbonatação.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os pontos avaliados mostraram-se variados quanto ao nível de criticidade das manifestações patológicas identificadas e de profundidades de carbonatação medidas.

Esta variação de nível de deterioração pode estar associada à existência ou não de revestimento de argamassa e camada de pintura acrílica nos elementos estruturais considerados, haja vista que nos pontos que indicam perda de capacidade resistente pela ação do fenômeno de corrosão não foi identificada camada de revestimento com pintura. Já para os pontos com menor nível de deterioração, todos apresentaram camadas de revestimento de argamassa e ao menos uma camada de tinta acrílica ou revestimento com pastilhas. Observa-se também que os elementos mais atingidos estão expostos diretamente a incidência de ciclos de chuva e sol, o que contribui para a deterioração da estrutura.

3.1 Vida Útil Remanescente

Para os pontos de análise de vida útil remanescente, em que se aplicou o modelo de previsão de vida útil de Tuutti (1982), a Tabela 1 mostra os resultados obtidos. Observa-se que os valores práticos que podem ser avaliados são os dos pontos 6 e 7, em que a vida útil remanescente é de 171 anos e 71 anos, respectivamente. Os outros valores configuram-se fora de um espectro prático de estudo, atingindo 5650 anos de vida útil remanescente, no caso do ponto 3, em que o revestimento com pastilhas provavelmente inibiu a penetração dos gases agressivos e, portanto, a ocorrência dos mecanismos de carbonatação.

Tabela 1: análise de vida útil remanescente.

Ponto de Estudo	Tipo de Revestimento	Cobrimento da Armadura	Frente de Carbonatação	K (mm/ano ^{1/2})*	Vida Útil Remanescente
2	ARG	10 mm	10 mm	-1,32	ZERO
3	PAS	10 mm	1 mm	0,1324	5650 anos
5	ARG	30 mm	30 mm	-3,97	ZERO
6	PAS	10 mm	5 mm	0,6623	171 anos
7	PAS	15 mm	10 mm	1,3245	71 anos
8	ARG	10 mm	2 mm	0,2649	1370 anos

Legenda: ARG – argamassa; PAS - pastilha cerâmica; *K – coeficiente de carbonatação (ver Equação 1).

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota-se que nos casos dos pontos 5 e 7, o cobrimento de concreto para a armadura é de 3,0 e 1,5 cm de espessura, respectivamente. Isso pode ser justificado, provavelmente, por variações construtivas. Salienta-se, também, que na época de construção (década de 50) a norma técnica

vigente era a NR-1 (ABNT, 1949), que exigia um mínimo de 1,5 cm para elementos estruturais no interior da edificação e 2,0 cm quando expostos ao ambiente externo; evidenciando que os elementos estruturais estudados não atendem a legislação da época.

Para os pontos 2 e 5 a vida útil já foi atingida, visto que a profundidade de carbonatação está na superfície da armadura, o que evidencia o princípio dos mecanismos de corrosão que potencialmente afetarão estes elementos estruturais. Isso muito provavelmente está associado ao tipo de revestimento do elemento e do nível de exposição ao meio, que nestes casos caracterizavam-se somente por uma camada de argamassa em um ambiente externo da edificação. Nota-se a diferença em relação ao ponto 8 com revestimento de argamassa, porém com exposição interna, que ainda se mantém protegido por 1370 anos, aproximadamente.

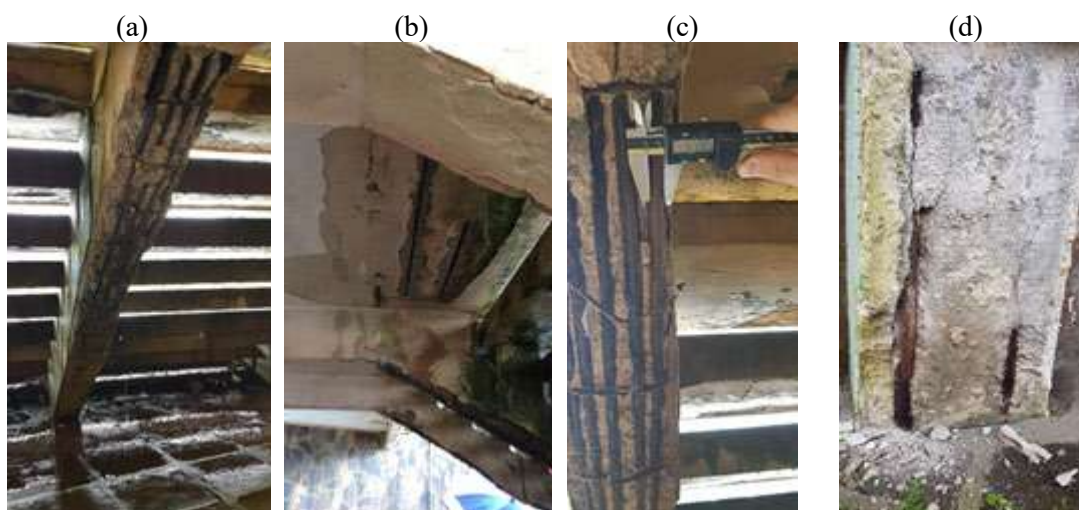
Identifica-se também a influência do revestimento em pastilhas cerâmicas no desempenho dos elementos frente aos mecanismos de deterioração. Os pontos 3, 6 e 7 apresentam vida útil remanescente de 5650, 171 e 71 anos, respectivamente, mostrando que o uso da edificação em nada fica comprometido pela segurança estrutural destes elementos em que os pontos de estudo se inserem. É possível crer que o revestimento em pastilhas protege o concreto estrutural do fenômeno de carbonatação, e, por consequência, a armadura dos mecanismos de corrosão atuantes.

Dos pontos verificados na análise de vida útil remanescente, discute-se que a viga de borda em que os pontos 2 e 5 foram alocados neste estudo (Figura 3 “b”) necessita de interferência construtiva, a fim de garantir a manutenção do elemento estrutural.

3.2 Perda de Capacidade Resistente

Os elementos que apresentaram estado de corrosão visível não são passíveis de avaliação quanto à vida útil remanescente, mas é possível realizar uma avaliação quanto à capacidade resistente do elemento. Percebe-se, a partir da Figura 5, que os elementos considerados nesta etapa do estudo apresentam uma condição crítica de segurança estrutural, tendo em vista o contexto de corrosão identificado. A Figura 5 “a” refere-se ao ponto 1, Figura 5 “b” ao ponto 4.1, Figura 5 “c” ao ponto 4.2 e Figura 5 “d” ao ponto 9 do estudo.

Figura 5: estado de deterioração dos elementos avaliados.



Fonte: registrado pelos autores.

A Tabela 2 apresenta os resultados para estes pontos, considerando o provável diâmetro inicial da barra avaliada, conforme já exposto no item 2.2.

Tabela 2: perda de capacidade resistente (considerando a provável dimensão da barra de construção).

Ponto Estudado	Cobrimento	Frente de Carbonatação	Ø Armadura Medido	Ø Armadura Inicial Mínima Estimada	Perda Mínima de Capacidade Resistente
1	24 mm	24 mm	12,2 mm	16 mm	24%
4.1	20 mm	20 mm	15 mm	16 mm	7%
4.2	23 mm	23 mm	9 mm	12,5 mm	28%
9	20 mm	20 mm	17 mm	20 mm	15%

Fonte: elaborado pelos autores.

Vê-se que as vigas de sustentação dos degraus das escadas de acesso estão comprometidas (Figura 5 “a”, “b” e “c”), sendo que as barras longitudinais chegam a 28% de perda mínima de área de seção transversal da armadura principal, no caso do ponto 4.2.

O ponto 9 é aquele em que a análise da perda de seção foi realizada no pilar de borda, normalmente identificado como um elemento que representa significativa importância na estabilidade global da edificação. Apresenta uma perda mínima de área de seção de 15%, mostrando a necessidade de reparo estrutural neste ponto e seus similares.

A deterioração das barras metálicas de construção, por meio dos mecanismos de corrosão, deve estar relacionada ao ambiente externo de exposição da edificação e aos ciclos térmicos e de molhagem e secagem que a fachada avaliada coloca-se, sendo isso associado a falta de proteção (revestimento) adequada.

Em todos os pontos é verificado algum nível de perda de capacidade resistente, variando de 7% a 28% no caso mais grave. Entretanto, vê-se que a minoração de projeto da capacidade resistente dos elementos, considerada nos coeficientes de segurança, ainda se mostra efetiva, visto que as escadas de acesso se mantêm estáveis. Isso não quer dizer que a manutenção é dispensável, sendo fundamental a operacionalização de reparos estruturais nestes elementos.

3.3 Proposta Simplificada de Recuperação

O nível e precisão da recuperação das estruturas de concreto, está atrelado ao diagnóstico e exame conciso dos motivos que fizeram a estrutura atingir tal condição, assim como seu nível de degradação. Após essa etapa preliminar é realizado a escolha da técnica construtiva, sendo que neste caso foram utilizados as mais usuais. Levando em consideração o nível de segurança a ser restabelecido, gastos com manutenção futura dos elementos e estado de deterioração são estabelecidos dois níveis de intervenção, sendo eles a recuperação da camada de cobrimento, aplicado aos elementos que possuem seu revestimento e parte do concreto carbonatado e reconstrução por completo das escadas de acesso.

As escadas (Figura 5 “a”, “b” e “c”), devido ao seu processo de corrosão generalizada e alto nível de complexidade para realizar o reestabelecimento da vida útil, optou pela reconstrução por

completo da estrutura respeitando fielmente o projeto inicial, visto que se trata de uma edificação tombada.

O pilar constatado com armadura aparente (Ponto 9), optou por realizar reparo superficial do concreto, promovendo a remoção completa de todo concreto trincado e/ou carbonatado, até o encontro da armadura. Após, a limpeza da armadura com jateamento de ar comprimido e remoção do restante de aço corroído com escova de aço. E para a realização do fechamento, procede-se com o lançamento do graute em formas periféricas ao pilar, promovendo uma nova camada de cobrimento das armaduras.

Os elementos restantes que perderam a sua vida útil, devido à frente de carbonatação, sugere-se remover o revestimento de argamassa e o cobrimento do concreto e reestabelecer nova camada de cobrimento para inibir o processo de corrosão das armaduras.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação da previsão da vida útil de estruturas de concreto armado é de vital importância para a preservação de edificações e elaboração de um plano de manutenção e/ou recuperação adequado, principalmente em casos de edificações de interesse histórico cultural.

Diante da análise da edificação de interesse histórico-cultural na região da serra gaúcha, foi possível constatar o nível de degradação das estruturas da fachada frontal sul, a mais exposta aos agentes externos, devido às condições climáticas do local, com precipitação média mensal de 145 mm e direção predominante dos ventos sudoeste-oeste, conciliada com a ação da zona urbana e vias de tráfego urbano da região.

Por conseguinte, é possível observar que alguns elementos da fachada de estudo, a exemplo das escadas de acesso estão praticamente comprometidas a nível de intervenção, com perda de capacidade resistente de até 28 %. As vigas adjacentes às escadas e os elementos que apresentam frente de carbonatação a nível de armadura, estes em condições menos expostas, são passíveis de recuperação da camada de cobrimento. Os elementos externos que ainda possuem vida útil remanescente, estes menos degradados, é compreendido devido a existência de revestimento de argamassa e pastilhas cerâmicas, com a condição do avanço da frente de carbonatação similar dos elementos internos da edificação.

Por fim, por se tratar de uma edificação tombada como patrimônio histórico da cidade e ser utilizada como ambiente de ensino faz-se necessário a prática do plano de recuperação das estruturas de concreto, de modo à manter a integridade e funcionalidade da edificação.

REFERÊNCIAS

- Aïtcin, P. C.; Mindess, S. (2011). *“Sustainability of Concrete”*. 1 ed. Spon Press, New York.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1949) NR-1: *Estruturas de concreto*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto – procedimento*. Rio de Janeiro.
- Barbosa, M.T.G.; Polisseni, A.E.; Tavares, F.M. (2010). *“Patologias de edifícios históricos tombados”*. in: Anais do 1º Encontro Nacional da Associação de Pesquisa e Pós-Graduação Em Arquitetura e Urbanismo (ENANPARQ). Rio de Janeiro, 1-13.
- Bentur, A.; Diamond, S.; Berke, N. S. (1997). *“Steel Corrosion in Concrete: Fundamentals and Civil Engineering Practice”*. 1 ed. E & FN Spon, London.
- Bertolini, L.; Elsener, B.; Pedferri, P.; Polder, R. B. (2004). *“Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair”*. 1 ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Broomfield, J. P. (2007). *“Corrosion on Steel in Concrete”*. 1 ed. E. & Fn Spon, London.
- Carino, N. J. (1999). Nondestructive Techniques to Investigate Corrosion Status in Concrete Structures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 13: 96-106.
- Davis, J. R. (2000). *“Corrosion: Understanding the Basics”*. 1 ed. ASM International, Ohio.
- Ekolu, S. O. (2016). A review on effects of curing, sheltering, and CO₂ concentration upon natural carbonation of concrete. *Construction and Building Materials*. 127: 306-320.
- Gjorv, O. E. (2014). *“Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments”*. 2 ed. Crc Press, Boca Raton.
- Helene, P.R.L. (1993). *“Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado”*, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Isaia, G.A. (2004). *“Conceitos de modernização de edificações históricas: um legado do século XX”*, Especialização em conservação e restauração do património cultural, Universidade Federal de Santa Maria.
- Jones, D. A. (1996). *“Principles and Prevention of Corrosion”*. 2 ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Mays, G. C. (2003). *“The behaviour of concrete”*. in: Mays, G. C. *“Durability of Concrete Structures: Investigation, repair, protection”*. 1 ed. E & FN Spon, London.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (2014). *“Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais”*. 2 ed. IBRACON, São Paulo.
- Neville, A. M.; Brooks, J. J. (2010). *“Concrete Technology”*. 2 ed. Pearson Education, Harlow.

Pacheco, F. (2016). “Investigação da relação entre os parâmetros de projeto das estruturas de concreto armado visando à durabilidade”. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos).

Pauletti, C. (2004). “Análise Comparativa de Procedimentos para Ensaios Acelerados de Carbonatação”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Pessato, L.(2012). “Cidade das Artes: requalificação do Campus 8 da UCS”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Ramezaniapour, A. A.; Ghahari, S. A.; Esmaili, M. (2014). Effect of combined carbonation and chloride ion ingress by an accelerated test method on microscopic and mechanical properties of concrete. “*Construction and Building Materials*”. 58: 138-146.

Richardson, M. G. (2002). “*Fundamentals of Durable Reinforced Concrete*”. 1 ed. Spon Press, London.

RILEM, Recommendations. (1988). *CPC-18: Measurement of hardened concrete carbonation depth. Mater Struct*, 21: 453-455.

Smolczyk, H. G. (1969). “*Discussion of principal paper of carbonation of concrete by Hamada*”. in: Proceedings of International Symposium on the Chemistry of Cement. Tokyo, p. 369-384.

Tuutti, K. (1982). “*Corrosion of Steel in Concrete*”. Cement and Concrete Research Institute of Stockholm.

AVALIAÇÃO DE FISSURAS EM EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

G. Ferreira¹, V. Santana^{1*}, D. Garcia², J. Mendes¹

*Autor de Contato: vanessa.santana@aluno.ufop.edu.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil

² Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil

RESUMO

O presente trabalho investiga as causas mais frequentes de fissuras em edificações brasileiras, bem como apresenta métodos de prevenção e reparo. Para tal, foi realizado um estudo de caso de uma edificação unifamiliar na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais. Identificaram-se as manifestações patológicas na edificação que foram associadas a variações térmicas e higroscópicas e a erros de execução. O estudo contribui ainda com indicações e recomendações técnicas para a recuperação das manifestações patológicas encontradas no caso estudado. Os resultados podem auxiliar na solução de fissuras comuns de edificações residenciais autoconstruídas, além de evidenciar a importância da concepção dos projetos e do acompanhamento da execução da obra por profissionais qualificados.

Palavras-chave: Manifestações patológicas; Fissuras; Trincas; Rachaduras; Recuperação.

ABSTRACT

The present work investigates the most frequent causes of cracks in Brazilian buildings and presents methods of prevention and repair. Therefore, a case study of a single-family building in

the city of Ouro Preto, Minas Gerais, was carried out. Pathological manifestations in the building were identified, which were associated with thermal and hygroscopic variations and execution errors. The study also contributes with indications and technical recommendations for the recovery of the pathological manifestations found in the case studied. The results can assist in the solution of common cracks in self-constructed residential buildings, in addition to highlighting the importance of project design and monitoring of the work carried out by qualified professionals.

Keywords: Pathological manifestations; Fissures; Cracks; Recovery

RESUMEN

El presente trabajo investiga las causas más frecuentes de grietas en edificios brasileños, así como presenta métodos de prevención y reparación. Para ello, se realizó un estudio de caso de un edificio unifamiliar en la ciudad de Ouro Preto, Minas Gerais. Se identificaron manifestaciones patológicas en el edificio, las cuales se asociaron con variaciones térmicas e higroscópicas y errores de ejecución. El estudio también aporta indicaciones y recomendaciones técnicas para la recuperación de las manifestaciones patológicas encontradas en el caso estudiado. Los resultados pueden ayudar en la solución de grietas comunes en edificios residenciales autoconstruidos, además de resaltar la importancia del diseño del proyecto y el seguimiento de la ejecución de la obra por profesionales calificados.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas; Fisuras; Grietas; Recuperación.

1. INTRODUÇÃO

A norma brasileira de desempenho de edificações, NBR 15575 (ABNT, 2013), define como vida útil de uma edificação o período de tempo em que a construção e seus componentes cumprem as funções para as quais foram projetadas e atendem aos níveis de desempenho previstos. Segundo a mesma normativa, o bom desempenho das habitações implica que aspectos como segurança para uso e operação, estanqueidade, conforto térmico e acústico, higiene e funcionalidade sejam assegurados.

Entretanto, por diversos motivos, muitas edificações tendem a apresentar defeitos ou vícios, chamados manifestações patológicas, de forma precoce. De acordo com Silva (2011), as patologias construtivas podem ser resultado de projetos deficientes, de execuções malfeitas ou podem ser adquiridas ao longo da vida útil da estrutura por uso indevido ou falta de manutenção adequada. O mau funcionamento das estruturas pode oferecer riscos à saúde, produtividade e bem estar dos usuários. Além disso, em casos mais extremos, é possível que manifestações patológicas levem as edificações à ruína, causando o risco de perda de vidas e prejuízos econômicos.

A recuperação de patologias em edificações pode ser obtida a partir de manutenções corretivas dos elementos construtivos. Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), estas se caracterizam por serviços que demandam ação ou intervenção para permitir a continuidade de uso da edificação. Dessa forma, este tipo de manutenção tem o objetivo de diagnosticar, proteger, reforçar e reparar os elementos que eventualmente apresentaram manifestações patológicas. Estas intervenções podem apresentar um alto custo ao proprietário da edificação. Pode-se associar um custo 125 vezes maior que o custo da adoção de medidas corretas da etapa de projeto, a depender da natureza e da magnitude das patologias incidentes (Souza & Ripper, 1998; Neves & Vázquez, 2020).

Dentre os diversos tipos de patologias, podem-se destacar as trincas, fissuras e rachaduras. Elas ocorrem, pois, os materiais constituintes de uma edificação são susceptíveis à variação de temperatura, à retração e à agressão ao meio ambiente (Neves & Vázquez, 2020). Segundo Veiga (1998), a restrição a essa movimentação origina tensões no próprio material ou em seu contato com outros. Assim, essas aberturas surgem para aliviar as solicitações quando os esforços originados forem maiores que os resistentes.

O aparecimento de fissuras, trincas e rachaduras nas edificações é um dos problemas patológicos que mais atraem a atenção do usuário da edificação (Neves & Vázquez, 2020). Essas podem despertar sensação de insegurança, desconforto visual e mental nos usuários da edificação em que se acomete. Além disso, elas podem comprometer a estanqueidade, a vedação contra o ambiente externo, o isolamento térmico e acústico e a estética dos ambientes a depender da sua extensão (Sahade, 2005).

Tais manifestações patológicas podem ser classificadas de acordo com o tamanho da abertura da seguinte forma: fissuras são as aberturas menores que 0,5 mm; trincas, entre 0,5 e 1,5 mm; e rachaduras, entre 1,5 e 5,0 mm (Oliveira, 2012). Neste artigo, caso não seja especificado o tamanho da abertura, trataremos estas manifestações por “fissura”. De acordo com Sahade (2005), tais aberturas podem ser classificadas quanto à forma de se manifestar (aparência), como geométricas ou mapeadas. Segundo o mesmo autor, as fissuras geométricas são aproximadamente lineares, seguindo uma direção predominante e normalmente derivam da movimentação diferencial do substrato. As fissuras mapeadas, por sua vez, ocorrem em todas as direções simultaneamente, geralmente ocasionadas pela retração do material.

As fissuras também podem ser classificadas conforme a sua atividade. Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), estas podem ser classificadas como ativas quando apresentam variações sensíveis na abertura ao longo do tempo, e passivas quando possuem abertura constante, ou seja, não se expandem nem se retraem mais. De acordo com Sahade (2005), caso essa oscilação seja sazonal, as fissuras ativas normalmente não indicam problemas na estrutura da edificação. Porém, no caso

de a variação da abertura ser progressiva (somente se ampliam com o passar do tempo), deve-se verificar a possibilidade de problemas estruturais que devem ser corrigidos de forma imediata. (Sahade, 2005)

Dessa forma, independentemente do tipo, é fundamental a análise da patologia observada e a sua correção sempre que possível. De acordo com Sahade (2005), as técnicas de recuperação de elementos fissurados dependem das características das fissuras. É fundamental que a solução empregada seja compatível com o problema e com as características construtivas da edificação (Lordsleem, 1997).

Entretanto, identificar as causas de uma fissura é uma tarefa complexa, pois, segundo Thomaz (1989), o mesmo problema pode dar origem a diversas configurações de fissuras. Além disso, uma fissura pode se originar por um somatório de diferentes causas. Ainda assim, é imprescindível que antes da adoção de medidas visando à recuperação da fissura, seja identificada e sanada a causa (ou causas) que a originaram (Lordsleem, 1997).

Neste contexto, o presente trabalho busca investigar as manifestações de fissuras em edificações, analisando suas causas e efeitos, bem como investigar possíveis soluções para um caso real na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais.

2. METODOLOGIA

O presente estudo consiste na análise de uma residência situada em Ouro Preto, Minas Gerais. A propriedade em estudo é uma edificação de uso residencial unifamiliar de um pavimento que foi construída para uma família de cinco pessoas. O planejamento da obra foi iniciado no ano de 2007 com a elaboração do projeto arquitetônico por uma profissional de arquitetura e urbanismo. Os projetos estrutural, hidrossanitário e elétrico foram elaborados por um engenheiro civil.

A construção foi iniciada em abril de 2008 e foi finalizada em junho do ano seguinte. A obra foi realizada por três pedreiros (incluindo um dos proprietários da residência) e dois serventes, sem contar com acompanhamento técnico. De acordo com a proprietária, que acompanhou todo o processo de elaboração e aprovação dos projetos e de construção da edificação, os projetos não foram integralmente seguidos. A edificação é situada no nível da rua, foi construída com estrutura em concreto armado e alvenaria de vedação em tijolo furado e possui 103 m² de área construída.

A edificação objeto deste estudo foi escolhida devido a sua representatividade, uma vez que as fissuras nela existentes são usuais nos lares brasileiros, especialmente àqueles resultantes de autoconstrução, como o presente caso. Para o estudo da origem das manifestações patológicas da residência, além de uma inspeção visual em visita realizada ao imóvel, foi realizada uma anamnese com a proprietária da edificação no dia 16 de setembro de 2019.

Na visita técnica foram identificadas 10 fissuras que serão ilustradas e classificadas a seguir de acordo com as possíveis causas apresentadas. Na data da inspeção, a temperatura aproximada era de 28°C com elevada umidade relativa do ar. Ocorreram também pancadas de chuva durante a semana.

3. RESULTADOS

3.1 Descrição do imóvel e da vizinhança

A edificação estudada (Figura 1, demarcada em amarelo) faz divisa com a Lagoa do Gambá à esquerda e com um lote vago à direita. A existência da lagoa e o clima chuvoso da região central mineira contribuem com a alta umidade e elevado nível de água da região onde está situada a edificação. A proprietária sustentou essa hipótese ao afirmar que “durante a construção percebeu-se que a água aparecia muito fácil no terreno”.



Figura 1. Vista aérea da edificação estudada (demarcada em amarelo) e da sua vizinhança.
Fonte: Google Earth, 2020.

Na parte posterior da edificação há uma casa de dois pavimentos e um prédio de quatro pavimentos. Assim como o imóvel estudado, a edificação vizinha respeita o afastamento mínimo previsto pela lei de Uso e Ocupação do Solo de Ouro Preto, que é igual a 1,50 m. Entretanto, o prédio não respeita o afastamento previsto por lei e avança sobre o muro. Desta forma, a edificação somente recebe incidência da luz solar diretamente nas fachadas frontal e posterior. Sabe-se que a variação de temperatura e umidade são fenômenos que podem causar patologias nas edificações (Souza M. F., 2008; Ribeiro & Volkweis, 2016).

A rua onde está situada a edificação estudada apresenta um pequeno fluxo de veículos e, em geral, carros de passeio. Dessa forma, considerando que a edificação tem afastamento de 4,5 m em relação à rua (3m de recuo frontal adicionado a 1,5m de passeio), a vibração causada pelo trânsito de veículos na região será desprezada para análise das patologias encontradas.

3.2 Identificação das patologias de fissuras na edificação

Durante a inspeção visual da edificação, foram detectadas 10 fissuras localizadas em diferentes dependências. A Figura 2 apresenta croqui do imóvel contendo o local onde foram identificadas as fissuras, juntamente com a legenda dos símbolos utilizados para indicar a possível causa da patologia, conforme será discutido na sequência.

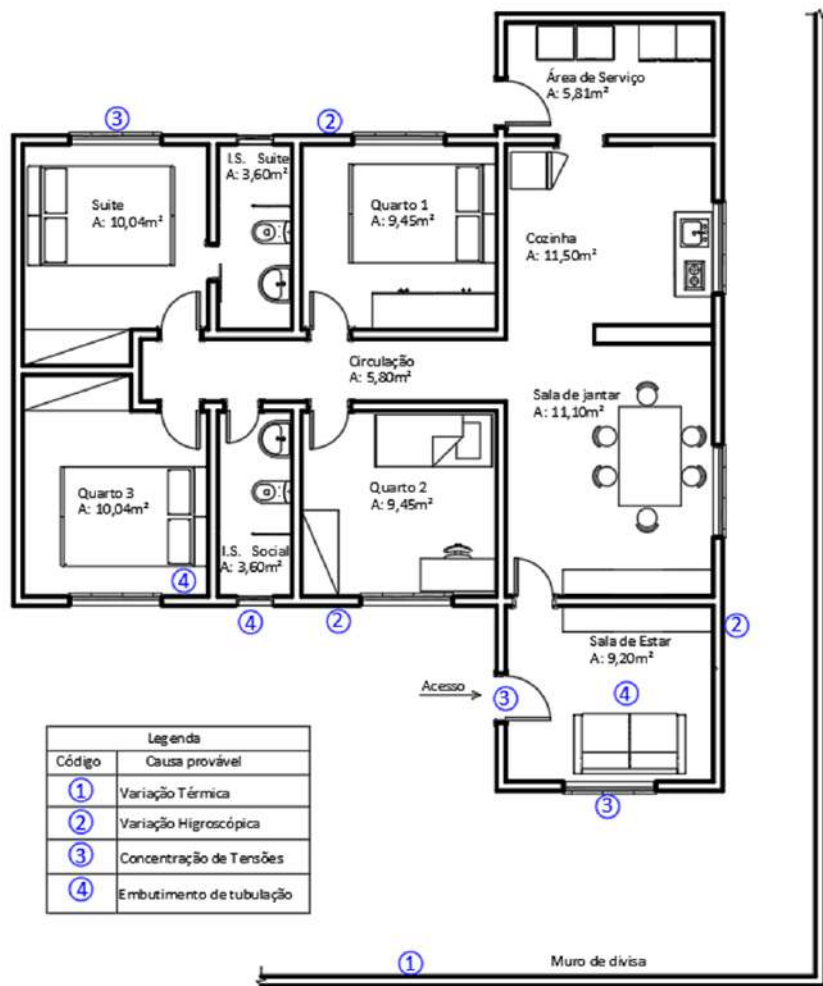


Figura 2. Croqui indicando os locais com as fissuras encontradas na edificação.

Fonte: os autores.

3.2.1 Fissuras causadas por variação térmica

Na edificação estudada, o muro de divisa frontal, indicado pelo número 1 na Figura 2, é um dos elementos que mais recebe luz solar devido ao afastamento do restante da residência. A Figura 3 apresenta uma fissura geométrica que se propaga neste muro, direcionada segundo a argamassa de assentamento dos blocos.



Figura 3. Trinca no muro frontal causada por variação térmica da estrutura. Fonte: os autores.

Possivelmente, a manifestação patológica apresentada na Figura 3 é causada pela movimentação acentuada dos elementos do muro. Neste caso, a movimentação pode indicar recalque diferencial da estrutura ou sensibilidade à variação térmica. Entretanto, em uma análise realizada na edificação e no seu entorno não foram observados indícios de movimentação do solo e nem fissuras com a mesma característica. Desta forma, foi descartada a hipótese de recalque diferencial. Assim, é provável que a fissura ilustrada seja causada pela variação térmica do muro frontal.

As alterações climáticas ocasionam variações dimensionais nos materiais constituintes de uma edificação. Assim, os elementos mais expostos sentem de forma mais sensível a variação da temperatura e tendem a se movimentar mais (Duarte, 1998). O elemento de estudo neste item, o muro de divisa frontal, está exposto às ações do clima e não apresenta junta de dilatação para acomodar a movimentação dos materiais durante o processo de expansão e retração. Estes fatores podem contribuir para o aparecimento de fissuras e trincas, que normalmente surgem nos materiais de menor resistência.

3.2.2 Fissuras causadas por variações higroscópicas

A Figura 4 e Figura 5 apresentam fissuras geométricas horizontais formadas na base da alvenaria. As fissuras se localizam na fachada frontal e na fachada posterior, respectivamente, que possuem maior exposição às variações climáticas. A Figura 6, por sua vez, apresenta uma fissura localizada na fachada lateral direita do imóvel. A fissura possui uma configuração típica de fissura mapeada que se originou na argamassa de revestimento. As patologias apresentadas nestas figuras podem ser associadas à variação térmica ou higroscópica dos materiais e de seus componentes.



Figura 4. Fissura geométrica horizontal na base da alvenaria na fachada frontal. Fonte: os autores.



Figura 5. Fissura geométrica horizontal em camada inferior da alvenaria na fachada posterior.
Fonte: os autores.



Figura 6. Fissura mapeada em argamassa de revestimento na fachada lateral direita do imóvel.

Fonte: os autores.

A proprietária do imóvel informou que a edificação não recebeu impermeabilização nas fundações, no contrapiso e na baldrame e tampouco nas primeiras fiadas de alvenaria. Somado a isto, ela ainda reiterou que durante a etapa de execução da obra foi constatado o afloramento de água em diversos pontos do terreno. Baseado nestas informações é possível inferir que a mais provável causa destas patologias é a movimentação higroscópica causada pela umidade.

Quando o alicerce da alvenaria não recebe adequada impermeabilização, as vigas baldrame e as primeiras fiadas de tijolos são afetadas pela umidade ascendente do solo (Thomaz, 1989; Exterckoetter & Zancan, 2019). Por isso, as camadas inferiores da alvenaria absorvem a umidade e se movimentam de forma diferencial em relação às camadas superiores, originando as indesejáveis fissuras. Em geral, as fissuras que surgem devido à movimentação causada pela umidade são superficiais e frequentemente são acompanhadas por outras patologias, como eflorescência e desprendimento do revestimento. Na residência analisada, segundo a proprietária, alguns destes efeitos já foram observados logo nos primeiros anos de uso.

3.2.3 Fissuras causadas por concentrações de tensões

Outro tipo de fissura comumente encontrada nas edificações brasileiras foi identificado também na edificação de estudo: as fissuras que se desenvolveram nas bordas das esquadrias. A Figura 7 ilustra fissura inclinada em janela da sala de estar, locada na fachada frontal. A Figura 8 apresenta fissura inclinada em 45° no bordo superior da porta da sala de estar.



Figura 7. Fissura inclinada em aproximadamente 45° na parte inferior do vão de janela. Fonte: os autores.

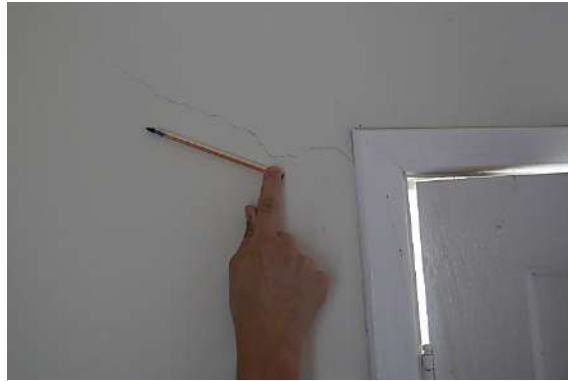


Figura 8. Fissura com inclinação próxima de 45° localizada na parte superior do vão de porta.
Fonte: os autores.

As fissuras apresentadas acima se propagaram, caracteristicamente, nas laterais dos vãos de esquadrias de portas e janelas. Estas fissuras podem estar associadas à existência de recalque diferencial da fundação, entretanto, essa hipótese foi descartada anteriormente devido à ausência de sinais de movimentação do solo e devido ao fato que as fissuras não possuem uma única direção predominante. Outra justificativa para a formação destas fissuras está na ausência de vergas e contravergas.

Segundo Thomaz (1989), em geral, os esforços resultantes do peso próprio, ação do vento, variação da temperatura e outros nas paredes sem aberturas se distribuem de maneira uniforme sobre a alvenaria. Entretanto, a abertura de vãos para as esquadrias faz com que estes esforços se redistribuam e se concentrem nas quinas e no centro das aberturas. Como resultado da concentração de tensões, podem aparecer fissuras nos cantos das esquadrias, formando ângulos aproximados de 45° com a horizontal, e no centro dos vãos, com direção vertical. Este fenômeno pode ser evitado com a utilização de vergas e contravergas, uma vez que estas promovem a adequada redistribuição das tensões nas proximidades das aberturas (Téchne, 2007).

De fato, na edificação estudada, não foram executadas vergas e contravergas nos vãos das esquadrias. Desta forma, não foram criados elementos capazes de resistir aos esforços gerados nas quinas e no centro das aberturas. Como resultado, os esforços atuantes na alvenaria, decorrentes do peso próprio e movimentação da estrutura, se concentram nestes pontos e são a provável causa destas fissuras inclinadas em 45° e das fissuras verticais.

3.2.4 Fissuras causadas por embutimento de tubulação na alvenaria

As fissuras apresentadas neste subitem foram encontradas em locais onde provavelmente há passagem de tubulação, seja elétrica ou hidráulica. A Figura 9 apresenta uma fissura que se propaga na proximidade de um registro de torneira na parte externa da edificação, na fachada frontal. Já a Figura 10 apresenta uma fissura localizada no teto da sala de estar, próximo ao ventilador de teto.



Figura 98. Fissura provávelmente causada pelo embutimento de tubulação hidráulica na alvenaria. Fonte: os autores

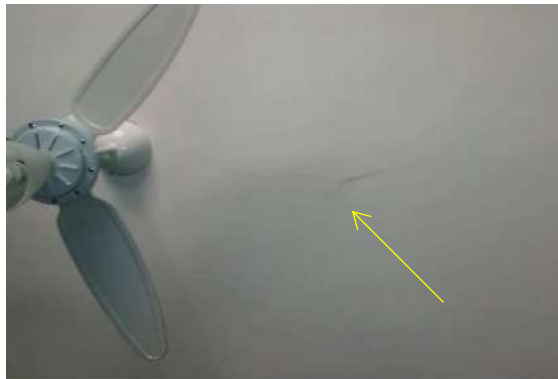


Figura 10. Fissura provávelmente causada pelo embutimento de tubulação elétrica no teto. Fonte: os autores.

Atualmente no Brasil, os tubos comumente utilizados para passagem de fios elétricos e do sistema hidrossanitário são embutidos nas alvenarias e lajes. Desta forma, por serem materiais menos rígidos que os blocos, estes tubos criam zonas de fraqueza (Téchne, 1998). Assim, quando os materiais se movimentam devido à variação higroscópica ou de temperatura, podem surgir fissuras nessas regiões. Estas patologias tendem a ser geométricas e a acompanhar o caminho da tubulação.

3.3 Propostas de soluções técnicas

Prever e evitar o surgimento de patologias construtivas durante a fase de projeto e execução da obra é sempre a solução mais efetiva. Por isso, é fundamental que o profissional técnico responsável pela obra conheça as patologias recorrentes e saiba como evitá-las ainda na etapa de construção da edificação. Entretanto, após a ocorrência de fenômenos patológicos, é necessária a adoção de soluções para combater o problema. A depender da causa da patologia e da solução empregada, é possível que o problema seja apenas minimizado e não solucionado por completo. Quanto à forma de recuperação, segundo Sahade (2005), existem três alternativas: substituição, reforço ou recuperação. No presente trabalho, o foco é na recuperação de elementos fissurados. A Tabela 1 apresenta um resumo das fissuras apresentadas neste estudo de caso e uma metodologia recomendada para a sua recuperação.

Tabela 1. Causas das fissuras e respectivas sugestões de recuperação.

Local onde foi encontrada	Causa provável	Metodologia recomendada
Muro de divisa	Variação de temperatura	Aplicação de selante flexível
Interface alicerce/alvenaria	Variação higroscópica	Técnica com tela de metal expandido
Camada inferior da alvenaria	Variação higroscópica	Aplicação de selante flexível
Fissura na argamassa de revestimento	Variação higroscópica	Aplicação de tela de náilon e tinta elástica
Vãos de esquadrias.	Concentração de tensões	Execução de verga e contraverga
Próximo à tomada, ventilador de teto e registro hidráulico.	Embutimento de tubulação na alvenaria	Inserção de barras de aço na região onde passa a tubulação

3.3.1 Recuperação das fissuras causadas por variação de temperatura

De acordo com Sahade (2005), a escolha do sistema de recuperação adequado é fundamental para que a fissura não ressurgir com o tempo e deve ser compatível com o acabamento dos pontos vizinhos às patologias, de modo a não influenciar na arquitetura e estética da edificação. O objetivo deste procedimento é criar um componente capaz de absorver as solicitações oriundas da variação térmica. A recuperação de fissuras causadas por variação de temperatura, caso elas estejam limitadas à camada de revestimento, pode ser realizada com selantes flexíveis (Nascimento & Cicuto, 2019). Segundo Thomaz (1989), estes selantes podem ser à base de poliuretano, silicone ou outros.

O processo de recuperação é iniciado pela abertura de uma lacuna retangular com 20 mm de largura e 10 mm de profundidade na fissura e limpeza da parede, removendo toda poeira e materiais resultantes do processo de desobstrução. Em seguida deve-se preencher a cavidade com selante flexível tixotrópico (Thomaz, 1989; Nascimento & Cicuto, 2019). Por fim, executa-se um acabamento similar ao acabamento da área vizinha.

3.3.2 Recuperação das fissuras causadas por variação higroscópica

Para as fissuras situadas na interface alicerce/alvenaria é recomendável que seja utilizado sistema de recuperação com tela de metal expandido. A tela de metal expandido apresenta excelente resistência ao impacto e eficiente controle de fissuração (Chamelete, 1999). O passo inicial para a recuperação é remover o revestimento e limpar satisfatoriamente a superfície. Posteriormente deve-se estender a tela de modo a transpassar a fissura em 20 cm para cada lado e utilizar pregos ou grampos metálicos para fixá-la nos elementos.

Após a fixação, deve-se chapiscar a região aberta para dar aderência ao revestimento. Em seguida pode-se aplicar o reboco com argamassa com baixo módulo de deformação. Essa metodologia tem por objetivo travar o local do sistema de recuperação absorvendo os esforços e impedindo a movimentação dos elementos. A fissura mapeada apresentada na Figura 6 pode ser recuperada em três passos: remoção do revestimento danificado, inserção de bandagem ou tela de náilon no revestimento e posterior aplicação de tinta elástica com base acrílica. Entretanto, para que estas soluções sejam duráveis, é necessário antes desenvolver estratégias para limitar a ação da água no solo da edificação.

3.3.3 *Recuperação das fissuras causadas por concentração de tensões*

As fissuras ocorridas nas proximidades das esquadrias podem ser solucionadas pontualmente, entretanto, a solução definitiva é a instalação de vergas e contravergas. Ambos os elementos devem ser maiores em comprimento que os vãos da alvenaria. Elas precisam transpassar a lacuna em 20% do comprimento do vão em cada lado, respeitando o mínimo de 30 centímetros (Sienge, 2018). Com relação à altura, é comum utilizar como pré-dimensionamento 10% do comprimento, porém, é essencial que seja feito cálculo normativo para determinar a dimensão correta.

3.3.4 *Recuperação das fissuras causadas por embutimento de tubulação na alvenaria*

Por fim, as fissuras instaladas nas proximidades de tubulações embutidas na alvenaria podem ser solucionadas de duas maneiras: com recuperação superficial ou pelo reestabelecimento do comportamento monolítico da alvenaria (Thomaz, 1989). A primeira opção consiste em aplicar bandagem ou tela de náilon no próprio revestimento e em seguida empregar tinta elástica com base acrílica. Nesta solução é preciso se atentar para não gerar uma superfície em alto relevo, desigual do acabamento.

Já a segunda alternativa, recomendada para o caso estudado, consiste em inserir barras de aço na região onde passa a tubulação. Neste caso, o procedimento de execução da técnica consiste em:

- Raspagem da argamassa de assentamento da alvenaria a uma profundidade aproximada de 15 mm e limpeza de forma a remover todo material raspado;
- Inserção de barras de aço de 4,2 ou 5,0 mm de diâmetro em ambos os lados da parede, com comprimento de transpasse aproximado de 25 mm para cada lado;
- Fixação das barras com argamassa seca;
- Execução do acabamento compatível com o local.

4. CONCLUSÃO

As fissuras geram sensação de desconforto e insegurança aos usuários das edificações. Além disso, podem resultar em infiltrações e indicar problemas estruturais. Com isto, as atividades de recuperação de fissuras ganharam maior relevância na construção civil e os valores gastos com tratamento dessas patologias também cresceram.

Neste trabalho, uma edificação unifamiliar construída entre os anos de 2008 e 2009 foi analisada. Foram identificadas fissuras oriundas das variações térmica e higroscópica nos elementos de alvenaria e de erros de execução da edificação. As manifestações patológicas identificadas são comumente encontradas em edificações brasileiras que, culturalmente, adotam a tática habitacional da autoconstrução.

Em entrevista realizada com a proprietária da edificação, verificou-se que era conhecida, antecipadamente à etapa de construção, a existência de fatores locais que poderiam originar patologias, como umidade e variação de temperatura elevadas. Porém, estes fatores não foram considerados na execução da edificação. Tal fato pode ser demonstrado pela ausência de impermeabilização dos elementos construtivos, de juntas de dilatação e de vergas e contravergas. Isto evidencia a necessidade e a importância da participação de um profissional capacitado em todas as etapas de construção, desde a concepção do projeto até a execução da obra. Além da presença de um profissional qualificado, é de suma importância, durante a execução da obra, criar metodologias que assegurem um adequado processo construtivo, por exemplo, a implantação de um sistema de qualidade.

Ainda que as patologias estudadas não comprometam a segurança estrutural da edificação, as mesmas geram desconforto e impactam financeiramente, na saúde e no psicológico dos usuários ao longo da vida útil da edificação. Assim, com os resultados obtidos, pode-se inferir que as fissuras podem ser minimizadas ou mesmo inibidas se realizado um acompanhamento adequado

do processo construtivo e se adotadas técnicas e cuidados para prevenir o aparecimento destas manifestações patológicas. Desta forma, evita-se a necessidade de intervenções corretivas causadas por estas manifestações patológicas, reduzindo o gasto ao longo da vida útil da edificação.

5. AGRADECIMIENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem à FAPEMIG, CNPq, UFOP e UFJF pelo apoio para a realização e apresentação dessa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575-2 Edificações habitacionais - Desempenho*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Chamelete, A. G. (1999). *Armaduras para argamassa armada*. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 2.ed.
- Corsini, R. (Julho de 2010). Trinca ou fissura? *Téchne*(160).
- Duarte, R. B. (Dezembro de 1998). Fissuras em alvenarias: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação. *CIENTEC*(25), 45.
- Exterckoetter, D. & Zancan, E. C. (2019) *Manifestação da patologia de umidade ascendente: estudo de caso da recuperação de uma residência unifamiliar, Criciúma/SC*. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense.
- Leonhardt, F., & Monning, E. (1982). *Construções de concreto - princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado* (Vol. 1). Rio de Janeiro: Interciência.
- Lordsleem, A. C. (1997). *Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Nascimento, R. S., & Cicuto, B. G. (2019). Fissuras e trincas em sistema de alvenaria de vedação: estudo de caso em unidade residencial. *Revista Técnico-Científica do CREA-PR*.
- Neves, M. B., & Vázquez, E. G. (2020). Patologias das estruturas. *Revista Boletim do Gerenciamento*(22).
- Oliveira, A. M. (2012). *Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

- Possan, E., & Demoliner, C. A. (Outubro de 2013). DESEMPENHO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS EDIFICAÇÕES: ABORDAGEM GERAL. *Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420*(1), 14.
- Ribeiro, E., & Volkweis, F. J. (2016). Patologias em fachadas externas devido a movimentações higrotérmicas. *Revista Tecnológica*, 151-162.
- Sahade, R. F. (2005). *Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em alvenaria de vedação*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo , São Paulo.
- Sienge. (2018). *Vergas e Contravergas: garanta a segurança estrutural para suas obras*. Acesso em 18 de Junho de 2020, disponível em Sienge: <https://www.sienge.com.br/blog/vergas-contravergas-cinta-de-amarracao/>
- Silva, F. B. (Setembro de 2011). Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. *Téchne*(174), 3.
- Souza, M. F. (2008). *Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações*. . Universidade Federal de Minas Gerais . Belo Horizonte: Monografia (Especialização em Construção Civil: Avaliações e Perícias).
- Souza, V. C., & Ripper, T. (1998). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. (1 ed.). São Paulo: Pini.
- Téchne. (Setembro de 1998). As Causas de fissuras. *Téchne*(36).
- Téchne. (Dezembro de 2007). Alvenaria sob ação horizontal. *Téchne*(129), 4.
- Thomaz, E. (1989). *Trincas em edifícios - causas, prevenção e recuperação* (1 ed., Vol. 1). São Paulo: PINI: IPT.
- Veiga, M. d. (1998). *Comportamento de argamassas de revestimento de paredes*. Faculdade de Engenharia da Universidade Do Porto.

ANÁLISE DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA DE PASSARELAS EM MANAUS, BRASIL.

T. C. CAVALVANTE^{1*}, V. S. ARAÚJO²

*Autor de Contacto: tiagocanavarro.eng@gmail.com

¹ Coordenação de Engenharia Civil, Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Brasil.

² Coordenação de Engenharia Civil, Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Brasil.

RESUMO

Objetivou-se mensurar o dano de passarelas em concreto armado, como deslocamentos, eflorescência, fissuras, e fenômenos corrosivos, pelo método do Grau de Deterioração da Estrutura (GDE/UnB) em 5 passarelas em Manaus, Brasil. Através de inspeções visuais, calculou-se o GDE de cada passarela após identificação das manifestações patológicas em seus elementos, grau dos danos, e a importância de cada elemento estrutural analisado. O GDE calculado é classificado em “baixo” (GDE < 15) até “crítico” (GDE > 100) com respectivas ações prescritivas. Os GDEs calculados foram respectivamente: P01: 46,91; P02: 127,96; P03: 15,17; P04: 47,99; P05: 17,22. O método revelou-se eficaz na mensuração do dano das estruturas e indicou precisamente os elementos em maior necessidade de reparos, facilitando o planejamento de ações de manutenção.

Palavras chave: Passarelas, Inspeção, Classificação de estruturas, Patologias.

ABSTRACT

The aim of this paper was to measure damage on reinforced concrete pedestrian bridges, such as efflorescence, cracking, corrosion phenomena, through the Structure Deterioration Degree (GDE/University of Brasília – UnB) on 5 pedestrian bridges in Manaus, Brazil. Visual Inspections were carried out in order to calculate the respective degrees of deterioration, after identifying damages and defects on its elements, their scale and the structural significance of the analyzed. The Deterioration Degrees are classified as “low” (under 15) until “critical” (over 100) with respective recommended remediations. The Degrees calculated were respectively: P01: 46,91; P02: 127,96; P03: 15,17; P04: 47,99; P05: 17,22. The method revealed itself as effective on structural damage evaluation and precisely pointed the elements on bigger urgency for repairs, easing maintenance procedures planning.

Palavras chave: Pedestrian Bridges, Inspections, Structures evaluation, Pathology.

1. INTRODUÇÃO

As passarelas brasileiras tem apresentado estado de conservação frequentemente precário, indicando negligência governamental quanto às vistorias preventivas e manutenções, cenário enfrentado também por pontes e viadutos. Vitório (2006) já havia ressaltado esta ausência de ações públicas para a conservação e manutenção de pontes e viadutos, representando grande risco à sociedade. Em Manaus, Brasil, esta negligência pode ser evidenciada com o recente colapso parcial de uma passarela, em 2019, ilustrada na Figura 1. Ademais, acidentes como impactos de veículos leves e pesados na estrutura destas passarelas, têm sido amplamente noticiados, estes podendo agravar as condições de estabilidade destas estruturas.



O estado de preservação de muitas passarelas, especialmente em concreto armado, revela-se precário ao olhar leigo, como na Figura 2. Esta problemática engloba a discussão da durabilidade das estruturas de concreto armado. De natureza alcalina e relativamente permeável, as estruturas de concreto armado se tornam vulneráveis à diversos processos físicos e químicos de degradação, como a penetração da água, que muitas vezes possui acidez elevada ou carrega íons e substâncias prejudiciais ao concreto e ao aço (MEHTA e MONTEIRO, 2014).



1.1 Inspeções em Obras de Arte Especiais

No Brasil, pontes, viadutos, passarelas e viadutos são referenciados como Obras de Arte Especiais (OAEs) – análogo ao termo francês *Ouvrage d'art*. Quanto aos procedimentos de inspeção de obras de arte especiais em concreto, o Brasil dispõe de referencial normativo, a Norma Brasileira (NBR) 9452:2019, que dispõe dos requisitos para inspeções de OAEs em concreto, e caracteriza os tipos de inspeção, assim como dispõe das premissas para elaboração de relatório e classificação das OAEs em uma pontuação específica, referente a parâmetros de durabilidade, funcionalidade e parâmetros estruturais. A partir deste procedimento, pode-se classificar uma estrutura de 5 níveis de acordo com os parâmetros citados.

Neste trabalho, optou-se, porém, a metodologia que tem sido desenvolvida na Universidade Nacional de Brasília desde Castro (1994), chamada do Grau de Deterioração da Estrutura. Sua última adaptação fora feita por Verly (2015), a partir da versão implementada por Euqueres (2011), que realizou estudo para auxiliar na análise de OAE's. Esta metodologia resulta no cálculo de um grau de deterioração, variando de 0 a 282,8, considerando pontuações ponderadas para cada anomalia observada nos elementos analisados. Os danos calculados acima de 100, são classificados como críticos.

A metodologia utilizada foi preferida à norma brasileira, apesar de mais atual, em vista do rigor matemático para o cálculo do grau de deterioração, que realiza a avaliação da OAE a partir de todos os elementos isoladamente, não da estrutura como um todo, abordagem esta da norma brasileira. Verly (2015) ressalta que estes fatores contribuem para a diminuição da subjetividade da inspeção e possibilita a elencação de OAEs, quando considerando um sistema de gestão de obras de arte especiais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho utilizou-se a Metodologia GDE/UnB adaptada por Verly (2015) para a avaliação de Obras de Arte Especiais. Para o cálculo do grau de deterioração da estrutura, são definidos os graus de dano para cada elemento da estrutura, e em seguida, calcula-se os graus de deterioração dos elementos e das famílias.

2.1 Fator de relevância estrutural (Fr)

Os elementos da estrutura devem ser agrupados de acordo com as suas características estruturais e sua função estrutural no conjunto. É possível que elementos de iguais denominações (como vigas) possuam um fator de relevância distintos por desempenharem papéis diferentes na estabilidade da estrutura. Os fatores de relevância estrutural para cada família de elementos em OAEs estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Fatores de relevância estrutural das famílias de elementos (Fr). Fonte: Verly (2015).

Família	Fr
Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento	1
Juntas de dilatação	2
Transversinas, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

2.2 Fator de ponderação do dano (Fp)

Fator que visa quantificar a importância relativa de um determinado dano, variando de 1 a 5. Os critérios relacionam-se com às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família, tendo em vista as manifestações patológicas passíveis de verificação.

2.3 Fator de intensidade do dano (Fi)

Fator que classifica a gravidade e evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, descrito na Tabela 2. A Tabela 3 exemplifica fatores de intensidade do dano para duas manifestações patológicas específicas. Uma vez definidos os fatores de ponderação e intensidade, é possível então calcular o grau do dano de um elemento.

Tabela 2: Fatores de intensidade do dano.

Descrição	Fi
Elementos sem lesões	0
Elementos com lesões leves	1
Elementos com lesões toleráveis	2
Elementos com lesões graves	3
Elementos em estado crítico	4

Tabela 3: Exemplos de fatores de intensidade do dano para manchas e falhas de concretagem

Dano	Fi	Descrição
MANCHAS	0	Sem lesões
	2	Manchas escuras de pouca extensão, porém significativas (<50% da área visível do elemento estrutural)
	3	Manchas escuras de grande extensão (>50%)
	4	Manchas escuras em todo elemento estrutural (100%)
FALHAS DE CONCRETAGEM	0	Sem lesões
	2	Manchas escuras de pouca extensão, porém significativas (<50% da área visível do elemento estrutural)
	3	Manchas escuras de grande extensão (>50%)
	4	Manchas escuras em todo elemento estrutural (100%)

2.4 Grau do Dano (D)

O grau do dano define em um elemento, os efeitos de cada manifestação observada. Este valor é obtido através do cálculo que relaciona a importância do dano utilizando o fator de ponderação (Fp) e o estado deste dano respectivo através do fator de intensidade (Fi), conforme as expressões 1 e 2 a seguir:

$$D = 0,8 * F_i F_p \quad \text{Para } F_i \leq 2,0 \quad (1)$$

$$D = (12F_i - 28)F_p \quad \text{Para } F_i \geq 3,0 \quad (2)$$

2.5 Grau de deterioração de um elemento (Gde)

A partir do cálculo da identificação e cálculo do grau do dano de todas as manifestações, é possível calcular o seu grau de deterioração. Este cálculo, expresso na equação 3, faz com que os efeitos do maior dano sejam adicionados aos demais.

$$G_{de} = D_{máx} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^n D_i - D_{máx}}{(\sum_{i=1}^n D_i)} \right] \quad (3)$$

2.6 Grau de deterioração de uma família de elementos (Gdf)

O grau de deterioração de uma família de elementos é obtido através da equação 4. Na metodologia adaptada por Verly, todos os valores de Gde são considerados.

$$G_{df} = G_{de,máx} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^n G_{de,i} - G_{de,máx}}{(\sum_{i=1}^n G_{de,i})} \right] \quad (4)$$

2.7 Grau de deterioração da estrutura (Gd)

O grau de deterioração da estrutura leva em conta a contribuição de cada família a partir de um grau de deterioração da família majorado (K), descrito na equação 5. Os valores de K são obtidos pelo produto de cada Gdf com o seu respectivo fator de relevância estrutural (Fr), disponível na Tabela 1. O grau de deterioração da estrutura Gd é obtido através da equação 6, também aplicável para Gde e Gdf:

$$K_i = G_{dfi} * F_{ri} \quad (5)$$

$$G_d = \frac{K_{máx}}{7,07} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^n K_i - K_{máx}}{(\sum_{i=1}^n K_i)} \right] \quad (6)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Local de Análise

As passarelas analisadas localizam-se em vias de grande fluxo de veículos e pedestres na cidade de Manaus, Brasil. A localização das passarelas está indicada em mapa na Figura 3:



Figura 3: Localização das passarelas analisadas, em Manaus, Brasil. Fonte: Google Maps (2021)

3.2 P01

A passarela 1 apresentou evidente falta de manutenção. Informações quanto à inauguração e identificação não foram encontradas. Nas Figuras 4 e 5 apresentam os danos de maior incidência nesta OAE, as manchas e deslocamentos. A superfície superior das lajes apresentou alguns pontos de deslocamento de trechos superficiais e fissuração. As vigas apresentaram manchas nas faces laterais de escadas e nas faces internas das longarinas. Os pilares apresentaram danos mais graves, com deslocamentos oriundos de fenômenos expansivos e exposição de armaduras, ilustrados nas Figuras 6 e 7. Em um dos pilares foi identificado o crescimento de vegetação parasitária (Figura 8).

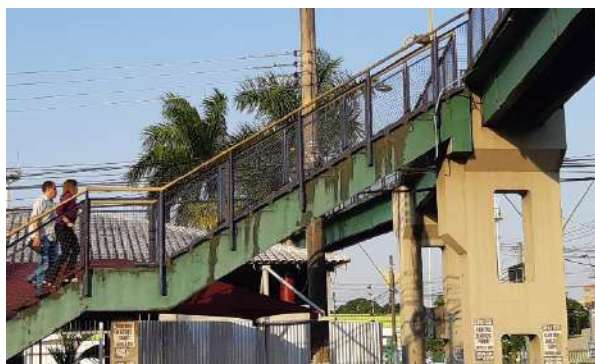


Figura 4: Manchas nas vigas (Fi = 2).



Figura 5: Deslocamento. (Fi = 2).



Figura 6: Deslocamento. (Fi = 3). P01.



Figura 7: Deslocamento. (Fi = 2).



Figura 8: Manchas e vegetação parasitária (Fi = 3).

O grau de deterioração da estrutura calculado resultou em 47,28 (“Médio”). A família dos pilares, apresentou o maior grau de deterioração: 53,12 (“Alto”). Resultados seguem na Tabela 4.

Tabela 4: Grau de deterioração da estrutura. P01.

Família	Elemento com maior dano	Gde	Gdf	Fr	Ki
Pilares	Pilar 3	32,35	53,12	5,00	265,62
Vigas	Viga 29	4,80	4,70	4,00	18,82
Lajes	Laje 1	7,54	14,44	4,00	57,76
Juntas	-	-	8,00	2,00	16,00
Gd					47,28

3.3 P02

A passarela serve de acesso à estação rodoviária de Manaus. Manchas de eflorescência, fissuração, manchas e sujidade apresentaram-se extensivamente, como nas Figuras 9 e 10:



Figura 9: Passarela 2.



Figura 10: Eflorescência (Fi = 3). Fissuras e indícios de expansão (Fi = 2)

A passarela apresentou danos extensivos em todos os elementos, sobretudo nas faces inferiores das lajes das escadas e faces laterais internas de vigas. Este grupo apresentou trechos compreensíveis de deslocamento, fissuração por flexão, manchas, assim como indícios de eflorescência.

A família de lajes também se encontra em estado sofrível segundo a classificação da metodologia, necessitando intervenção de curto prazo. Notavelmente as lajes tiveram o grau de deterioração da família superior ao da estrutura (Gdf = 148,70). Na Figura 11 observa-se pontos de deslocamento, fissuração e corrosão de armaduras. Manchas, como ilustrado na Figura 12, são recorrentes e pode observou-se desagregação de porções de concreto, como no elemento Figura 13.



Figura 2: Deslocamento (Fi = 3). Corrosão (Fi = 2).



Figura 3: Manchas em estado avançado (Fi = 2).



Figura 4: Desagregação (Fi = 3). Manchas e sujidade (Fi = 2).

Os valores obtidos de grau de deterioração da P02 estão dispostos na Tabela 5. O grau de deterioração da estrutura (Gd) foi de 127,96, considerado “Sofrível”.

Tabela 5: Grau de deterioração da estrutura. P02.

Família	Elemento com maior dano	Gde	Gdf	Fr	Ki
Pilares	Pilar 2	36,00	53,26	5,00	266,31
Vigas	Viga 10	19,69	43,21	4,00	172,84
Lajes	Escada 10	94,86	148,70	4,00	594,80
Juntas	-	-	103,85	2,00	207,69
Gd					127,96

3.4 P03

A Passarela 3 passou por intervenção de revitalização pela prefeitura em Junho/2019. Foram observados danos de pequena extensão, como resquícios de deslocamento (Figura 16) e exposição de armaduras (Figura 17), sendo estes em sua maioria cobertos por camada de pintura acrílica. Trechos com falhas de concretagem brandas, como na Figura 18, assim como fissurações com aberturas pequenas também foram observadas.



Figura 5: Deslocamento.
(Fi = 2).



Figura 6: Exposição de armadura (Fi = 2).



Figura 7: Falha de concretagem. (Fi = 2).

Os resultados dos cálculos do grau de deterioração da P03 estão dispostos na Tabela 6. grau de deterioração da estrutura calculado foi de 15,17, passando 17 centésimos da classificação de deterioração “Baixo”, o que corresponde ao cenário desta OAE, recentemente revitalizada, com pequenos passivos para correção em manutenções futuras.

Tabela 6: Grau de deterioração da estrutura. P03.

Família	Elemento com maior dano	Gde	Gdf	Fr	Ki
Pilares	Pilar 6	7,4	13,41	5	67,04
Vigas	Viga 5	8	14,64	4	43,93
Lajes	Lance 11	8,1	14,64	4	40,47
Juntas	-	-	8,00	2	16,00
Gd					15,17

3.5 P04

A passarela, inaugurada em Novembro de 2003, não apresentou indícios de manutenções recentes. A P04 é representada nas Figuras 19 e 20.



Figura 19: P04, vista do lado norte.



Figura 20: P04, vista a partir do lado sul.

O aspecto observado da estrutura denota grande ação da umidade na superfície, tendo as manchas como o dano mais recorrente de todos os elementos, ilustradas nas Figuras 21 e 22. Falhas de concretagem superficiais, como desprendimento de agregados, porosidade na superfície e desvios de geometria oriundos das formas também foram observados (Figura 23).



Figura 21: Manchas e surgimento de vegetação. (Fi = 3).



Figura 22: Manchas em estado avançado (Fi = 3).



Figura 23: Falhas de concretagem (Fi = 1) e manchas em pilar (Fi = 1).

Os danos de maior intensidade foram observados nas lajes do tabuleiro de travessia dos pedestres. Extensivos trechos apresentaram desgaste parcial ou total das juntas de dilatação (Figura 24), deslocamento da porção superficial (Figura 25) manchas de umidade (Figura 26):



Figura 24: Desgaste do material da junta (Fi = 4).



Figura 25: Desplacamento de do tabuleiro (Fi = 3).



Figura 26: Manchas de umidade (Fi = 2).

O grau de deterioração calculado foi 47,99, considerado Médio. A família de elementos com maior dano é a das lajes, seguida dos pilares. A tratativa para esta OAE requer planejamento de intervenção de até 2 anos. Ao que se refere às lajes, estas possuem grau de deterioração próximo de 51, considerado um nível “alto” pela metodologia. Recomenda-se a definição de uma inspeção especializada e o planejamento de ações intervencionistas em até 1 ano. Os resultados obtidos se encontram na Tabela 7.

Tabela 7: Grau de deterioração da estrutura. P04.

Família	Elemento com maior dano	Gde	Gdf	Fr	Ki
Pilares	Pilar 3	3,90	39,16	5	195,80
Vigas	Viga 4	6,98	11,49	4	45,96
Lajes	Laje 5	33,00	50,27	4	201,10
Juntas	-	-	100,00	2	200,00
Gd					47,99

3.6 P05

A passarela 5, ilustrada na Figura 27, passou por processo parcial de revitalização, recebendo nova camada de pintura em boa parte de seus elementos, e recuperações em argamassa cimentícia em alguns trechos. Não há informações quanto à inauguração e identificação desta OAE.



Figura 27: P05.

As Figuras 28 e 29 apontam a manifestação de manchas e eflorescências, observadas no fundo das lajes e faces internas das vigas. Há incidência de fissuração ao longo de ambas vigas, na face externa, normais ao eixo, sendo provavelmente oriundas de esforços de flexão nos elementos (Figura 30).

As vigas do lance superior da escada do lado sul apresentaram indícios de danos nas faces internas, sendo estes recobertos por pintura acrílica. Foi detectada fissuração apenas na parte inferior e paralela ao eixo. Foram evidenciados também pontos com deslocamento e exposição de armaduras.



Figura 28: Eflorescência (Fi = 2) e manchas (Fi = 1).



Figura 29: Eflorescência (Fi = 2) e deslocamento (Fi = 1).



Figura 30: Fissuras de flexão (Fi = 1) em vigas.

A Figura 31 ilustra a formação de uma fissura ao longo da viga 5. Outros danos foram identificados (Figuras 32 e 33) porém, de baixo grau de dano. A Tabela 8 dispõe os resultados.



Figura 31: Fissuras (Fi = 1).



Figura 32: Falhas de concretagem (Fi = 1).



Figura 33: Fissuras (Fi = 1). Armadura exposta (Fi = 1)

Tabela 8: Grau de deterioração da estrutura. P05.

Família	Elemento com maior dano	Gde	Gdf	Fr	Ki
Pilares	Pilar 1	2,40	4,20	5	21,00
Vigas	Viga 6	11,56	20,94	4	83,75
Lajes	Laje 4	7,38	12,13	4	48,51
Juntas	-	-	0,00	2	0,00
Gd					17,22

4. CONCLUSÕES

A Tabela 9 apresenta o resumo dos resultados obtidos das inspeções realizadas nas 5 passarelas. Foram indicados também, o máximo grau de deterioração de família de elementos obtidos em cada OAE.

Tabela 9: Grau de deterioração calculados.

Grau de deterioração	P01	P02	P03	P04	P05
Gd	46,91	127,96	15,17	47,99	17,22
Gdf max	53,12	148,70	14,64	50,27	20,94

A partir da aplicação da metodologia GDE/UnB pôde-se quantificar a deterioração de cada estrutura das passarelas apontadas, como apresentado anteriormente na tabela 15. A P02 apresentou maior grau de deterioração (Gd = 127,96), seguida das P04 (Gd = 47,99), P01 (Gd = 46,91), P05 (Gd = 17,22) e a P03 (Gd = 15,17).

A metodologia se revelou eficiente a relacionar com precisão as análises das inspeções visuais com o grau de deterioração de cada passarela, além de possibilitar a ordem de prioridade de ações preventivas a serem realizadas. O máximo grau de deterioração de uma família de elementos (Gdf)

em cada passarela se aproxima do grau de deterioração da estrutura (Gd), como demonstrado na Tabela 10.

As passarelas possuíam sistemas construtivos similares, o que pode indicar período de execução próximo. A única referência de data é da P04, inaugurada em 2003. As idades destas OAEs se tornam importantes para indicar o desenvolvimento da vida útil das mesmas, possibilitando acompanhamento correto da estrutura ao longo do tempo.

Sinais evidentes da falta de manutenção resultaram na prevalência de manifestações patológicas em todos os elementos das passarelas, necessitando a criação de planos de ação de manutenção em caráter imediato pelo poder público.

Alguns danos observados necessitam investigação mais aprofundada, especialmente as fissuras e seções deslocadas. Por conta da exposição à impactos, e o desconhecimento do processo de corrosão que pode estar ocorrendo dentro da estrutura, a análise não pode concluir quanto às origens, estas sendo diversas.

A inspeção realizada, porém, encontrou dificuldades quanto ao acesso de alguns elementos, por se tratar de passarelas em travessia de vias de fluxo intenso de veículos. Os resultados, porém, apresentam precisão favorável.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). *NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto Procedimento*. Rio de Janeiro.

CASTRO, E. K. (1994). “*Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado*”. Masters Thesis, Universidade de Brasília.

EUQUERES, P. (2011). “*Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado*”. Masters Thesis, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

MEHTA, P. Kumar e MONTEIRO, Paulo J. M. (2014). “*CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais*”. 2 ed. São Paulo, IBRACON.

VERLY, R. C. (2015) “*Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais*”. Master Thesis – Universidade de Brasília..

VITÓRIO, J.A.P. (2006). “*Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto*”. 48º Congresso Brasileiro do Concreto, 2006, Rio de Janeiro. Anais: CBC2006, IBRACON.

DESENVOLVIMENTO DE UM GUIA DE REPAROS PARA DIFERENTES TIPOS DE PATOLOGIA RELATIVOS À UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES

J. Neves¹, D. Garcia^{2*}, V.Santana¹, C. Lopes³, J. Mendes¹

*Autor de Contato: danielle.garcia@engenharia.ufjf.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil

² Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil

³ Engenheira Civil, Técnica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Ouro Preto, Brasil

RESUMO

O presente trabalho objetiva investigar e analisar criticamente as principais causas de patologia relacionadas à umidade em edificações brasileiras e auxiliar os usuários destas a solucioná-las. A metodologia adotada foi revisão bibliográfica dos principais danos causados pela umidade, a partir da qual foram selecionados métodos práticos para repará-los, visando atender o público leigo. Como resultado, foi desenvolvido um material prático e didático, visando guiar a população em relação às melhores formas de se detectar e reparar a patologia gerada pela umidade existentes em suas edificações. O guia foi baseado em grandes fornecedores brasileiros e uniu diversos reparos causados por umidade em um só documento. Espera-se, com esse guia, auxiliar a população a melhorar o desempenho e habitabilidade das suas residências.

Palavras-chaves: Patologia; Umidade; Infiltração; Reparos.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo investigar y analizar críticamente las principales causas de patología relacionada con la humedad en edificios brasileños y ayudar a los usuarios a resolverlas. La metodología adoptada fue una revisión bibliográfica de los principales daños ocasionados por la humedad, a partir de la cual se seleccionaron métodos prácticos para repararlos, con el objetivo de servir al público lego. Como resultado, se desarrolló un material práctico y didáctico, con el objetivo de orientar a la población en relación a las mejores formas de detectar y reparar la patología generada por la humedad existente en sus edificios. La guía se basó en grandes proveedores brasileños y combinó varias reparaciones causadas por la humedad en un solo documento. Se espera que esta guía ayude a la población a mejorar el rendimiento y habitabilidad de sus viviendas.

Palabras clave: Patología; Humedad; Infiltración; Refacción.

ABSTRACT

The present work aims to investigate and critically analyze the main causes of pathology related to humidity in Brazilian buildings and help users to solve them. The methodology adopted was a bibliographic review of the main damages caused by moisture, from which practical methods were selected to repair them, aiming to serve the lay public. As a result, a practical and didactic material was developed, aiming to guide the population in relation to the best ways to detect and repair the pathology generated by the humidity existing in their buildings. The guide was based on major Brazilian suppliers and combined several repairs caused by moisture in a single document. It is hoped that this guide will help the population to improve the performance and habitability of their homes.

Keywords: Pathology; Humidity; Infiltration; Repairs.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a construção civil tem apresentado um considerável crescimento, revelando-se um mercado extremamente competitivo. Com isso, a redução desmedida dos prazos e custos se tornou o foco do construtor, desde o planejamento até a execução e a entrega da obra. Com esses fatores, tornou-se visível um problema que até então se escondia: o baixo nível de qualidade e de produtividade na construção civil brasileira (Garrafoli, 2010).

O Brasil possui a Norma de Desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013), e o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), que têm como objetivo organizar o setor da construção civil através da melhoria da qualidade das construções habitacionais e da modernização produtiva. Entretanto, além da padronização e atualização das normas, é necessário que haja fiscalização, garantindo que as mesmas sejam seguidas. Além disso, predomina a autoconstrução no país. A informalidade do setor da construção civil chega a 60%, o que se relaciona com a ausência pela busca por conhecimento e cumprimento das normas por parte dos profissionais dessa indústria (Martins, 2019).

Os sistemas e elementos construtivos necessitam de atividades de manutenção ao longo de sua vida útil para garantir níveis aceitáveis de desempenho e de segurança. Culturalmente, no Brasil, a manutenção de imóveis é negligenciada, seja por esquecimento, ignorância ou razões econômicas, gerando incalculáveis problemas que se manifestam de médio a longo prazo (Nakamura, 2018).

A informalidade e ausência da cultura de manutenções no setor da construção também prejudica a concepção e execução de projetos. No mercado brasileiro há uma deficiência e às vezes até inexistência de projetos de impermeabilização das edificações, o que acarreta o aparecimento de patologia devido à umidade. Normalmente, quando essa patologia é corrigida, observa-se a execução de métodos paliativos e sem o acompanhamento de um responsável técnico habilitado.

A umidade é a manifestação patológica mais frequentemente observada nas edificações (Perez, 1985). Entre a patologia ligada à ação da água na edificação, podemos citar aquelas causadas por umidade por capilaridade, umidade por condensação, umidade accidental, umidade por infiltração (França, Marcondes, et al., 2011). De acordo com Verçosa (1991), a presença de umidade não é apenas uma patologia em si, mas ainda acentua ou acarreta a ocorrência de um grande número de outras manifestações patológicas. É por meio dela que surgem eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, perda de pinturas, deslocamento de rebocos e até acidentes estruturais (Bauermann, 2018). Os problemas mais comuns decorrentes da penetração de água podem ser: prejuízos de caráter funcional da edificação; desconforto dos usuários; deterioração da saúde dos moradores (em casos extremos); danos em equipamentos e bens presentes nos interiores das edificações e prejuízos financeiros (Souza, 2008).

Segundo Ripper e Souza (1998), algumas das causas da patologia ligada à umidade são: falhas nas concepções do projeto (como falta de compatibilização entre os projetos, especificação inadequada dos materiais e detalhamento insuficiente ou errado); falhas humanas durante a execução, devido à deficiência de qualificação profissional e/ou fiscalização; utilização errônea da edificação; ausência de um programa de manutenção adequado; inexistência de controle de qualidade dos materiais e a inadequação ao ambiente, deixando a estrutura exposta à ação da água (como quando há falta de um sistema de impermeabilização). A autoconstrução só agrava essa situação, uma vez que a ausência de projetos formais e de um engenheiro fiscal de execução aumenta a probabilidade de estas negligências ocorrerem.

Dessa forma, o propósito do presente trabalho é auxiliar a população que sofre com os problemas gerados pela umidade em edificações brasileiras, trazendo uma revisão bibliográfica das principais causas de patologia ocasionadas pela umidade e oferecendo um material que as guie da melhor forma a detectar e solucionar a patologia desse tipo já existentes em suas edificações. Além disso,

foi feita uma análise crítica das principais causas da proliferação dessas manifestações patológicas nas residências brasileiras.

2. METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado é o descritivo, no qual foi usada a técnica de análise de dados. Inicialmente, foi realizada uma revisão das características e causas dos principais tipos de patologia causadas por umidade nas edificações, por meio de autores de referência na literatura. Para a realização do guia de reparos de patologia de umidades em edificações foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica e foram selecionados os métodos mais práticos para reparar os danos causados pela umidade. Para isso, foram analisadas especificações de grandes fabricantes.

Como o objetivo é que o Guia de Reparos fosse de fato algo realizável pela população, foram analisadas marcas com representatividade no mercado e de fácil acesso no Brasil. Porém, cada produto citado pode ser substituído por outro com a mesma funcionalidade.

Para a produção do Guia de Reparos foram utilizados como referências os manuais de instruções desses grandes fabricantes. Além dos manuais técnicos, o principal autor que contribuiu foi o Yazigi (2009) do livro “A Técnica de Edificar”, que apesar de seu foco ser na construção e não no reparo, colaborou para o entendimento dos processos a serem feitos.

3. RESULTADOS

3.1 Revisão bibliográfica dos principais tipos de patologia de umidade

3.1.1 *Umidade ascendente*

Entende-se por capilaridade o fenômeno de subida da água através de canais extremamente finos presentes nas estruturas dos materiais de construção (Rendelucci, 2005). Assim, essa umidade é proveniente da absorção da água presente no solo, que pode ser água superficial ou do lençol freático, pelas paredes e/ou piso.

A identificação desta patologia é feita visualmente e sua manifestação pode ser observada a até um metro de altura nas paredes (Figura 1) (Kauffman, 2017). Os sintomas podem ser bolhas, manchas escuras próximas ao piso, manchas brancas devido à eflorescência e descolamento de rebocos e materiais de revestimento (Souza, 2008).



Figura 1. Parede com o surgimento de manchas escuras, como mofo, que podem indicar a presença de microrganismos danosos à saúde (Brucke, 2018).

3.1.2 Umidade por condensação

A umidade nas edificações não é originada apenas da infiltração de água externa. Também pode ser proveniente do vapor de água que condensa em superfícies mais frias, como paredes internas, teto, vidros e estruturas metálicas (Tintas e Pintura, 2017). Geralmente essa patologia se manifesta em locais mais frios e úmidos e em cômodos com deficiência de ventilação (Kauffman, 2017). Em climas tropicais, é possível identificar com maior frequência a ocorrência da umidade por condensação no teto de banheiros, devido ao vapor liberado pelos banhos quentes (Figura 2). A identificação desta patologia é visual, tem-se o aparecimento de manchas escuras e destacamento da pintura e até formação de gotas (Oliveira, 2017).



Figura 2. Surgimento de mofo e destacamento da pintura devido ao intenso contato com o vapor quente com a superfície fria do teto, localizado em uma residência em Ouro Preto, MG (Fonte: Autora).

3.1.3 Umidade acidental

Esta forma de manifestação de umidade está associada às fugas de água provocadas por defeitos de construção ou de funcionamento de determinados equipamentos e/ou instalações de águas pluviais, esgoto e água potável (Santos, Ribeiro, et al., 2012/2013). Esta patologia pode surgir seja por falha na execução do sistema hidrossanitário, falta de impermeabilização de lajes, falhas na cobertura, erros de dimensionamento das calhas, calhas entupidas por folhas, furos e vazamento de tubulações e até mesmo algum acidente, por exemplo, quando se atinge a tubulação de água ao furar uma parede (Kauffman, 2017). Por essas e outras razões, é importante que o usuário tenha conhecimento do projeto hidráulico. Quando se trata de edificações que já possuam um longo tempo de existência, pode haver presença de materiais e sistemas com período de vida útil já excedido, que não costumam receber manutenção predial adequada, se tornando um cenário fácil para o aparecimento desta patologia (Santos, Ribeiro, et al., 2012/2013).

3.1.3.1 Vazamento de redes de água e esgoto

Segundo Verçoza (1991), os vazamentos de redes de água e esgoto são de difícil localização e correção. Isso se deve ao fato destes vazamentos estarem na maioria das vezes encobertos pelo revestimento. A Figura 3 ilustra um vazamento decorrente de defeito no encanamento, gerando

uma infiltração por uma grande extensão da parede. Além de problemas estéticos e consequências nos demais sistemas da edificação, há desperdício de água.



Figura 3. Vazamento da tubulação de água, gerando mancha úmida e extensa na parede (Ramos, 2015).

3.1.3.2 Vazamento de calhas

Segundo Verçoza (1991), são bastante comuns os vazamentos em calhas, condutores e outros aparelhos que são utilizados com a finalidade de se coletar a água de chuvas. Estes vazamentos são manifestados através do escorrimento de água pelas paredes externas, manchas nos forros e lajes, assim como aparecimento de goteiras e mofo (Souza, 2008). Uma das maiores causas dos vazamentos é a falta de manutenção periódica (Figura 4), fazendo com que surjam problemas que poderiam ser evitados como a degradação dos materiais utilizados (oxidação das calhas), furos ou amassamentos nas calhas e condutores e o acúmulo de sujeira entupindo os canais, provocando os vazamentos (Souza, 2008).

Outro tipo de vazamento em calhas e em condutores pode ser causado devido à seção insuficiente, o que representa um erro de projeto. Deste modo, quando chove muito, ocorrerá o transbordo de água. A dificuldade de identificar é o fato de chuvas fortes terem um menor período de retorno, dependendo da região. A solução desse tipo de vazamento será a troca da peça inteira por uma com maior seção, que irá suportar maior quantidade de água (França, Marcondes, et al., 2011).



Figura 4. Calha com vazamento em frestas devido a soldas e emendas danificadas, apresentando goteiras e mofo (Tebaldi, 2015).

3.1.3.3 Infiltração através da cobertura

De acordo com Verçoza (1991), a umidade originada por infiltrações nos telhados das edificações normalmente tem como fonte geradora a água da chuva ou defeitos nos barriletes. Segundo Klein (1999), as causas de infiltrações pela cobertura podem estar relacionadas a cada etapa da obra. Na fase de projeto, os erros podem ser o caimento inadequado para o telhado, o dimensionamento incorreto da estrutura do telhado, a inexistência de um projeto de impermeabilização da laje de cobertura, dimensionamento inadequado para o escoamento das águas pluviais e a não consideração do efeito térmico sobre a laje.

Durante a execução da obra, podemos citar como causas o madeiramento mal executado, fixação inadequada das telhas, sistema de encaixes longitudinais e laterais inadequados, trespasses inadequados, disposição errada das telhas, execução inadequada da impermeabilização, má execução das juntas, rodapés mal executados (arremate inadequado da impermeabilização na platibanda ou muro) (Souza, 2008). Além disso, pode-se incluir como causas de vazamentos a falta de verificação da qualidade das telhas, que podem ser compradas muito finas, empenadas, muito porosas, com tamanhos variáveis e pouco resistentes (Souza, 2008). Outro ponto citado pelo autor é a ausência de manutenção, podendo fazer com que telhas quebradas ou fissuradas, telhas com fungos e mofo, telhas com degradação e telhas fora de posição permitam a entrada de água pluvial. Essa patologia se manifesta em forma de manchas no teto, mofo no teto, desagregação do revestimento, goteiras (Figura 5), apodrecimento do madeiramento, mofo na superfície inferior da telha, eflorescência.



Figura 5. Presença de extensa goteira devido a vazamento de água através da laje danificando a parte interna da edificação (Prado Condomínios, 2016).

3.1.4 Umidade de infiltração

Umidade decorrente das águas de chuvas que penetram nas fissuras, trincas ou juntas mal vedadas da fachada (Figura 6) (Kauffman, 2017). Em caso de parede desprovida de impermeabilização, ao escorrer pela parede a água pode encontrar caminhos para se infiltrar, seja pela gravidade somada à pressão gerada pela ação do vento, ou pela ação da capilaridade em estruturas porosas da alvenaria que absorvem a água (Kauffman, 2017). As consequências da infiltração da água pelas frestas, mau assentamento das janelas ou trincas é o aparecimento de manchas escuras, que caracterizam a presença de mofo, manchas de umidade, e até destacamento do revestimento no peitoril das janelas.



Figura 6. Trincas no peitoril da janela permitindo a infiltração de água na parede interior da edificação (PFLIMPEZA, 2016).

3.2 Guia de reparos de infiltrações em edificações

Foram analisados métodos de correção de patologia causadas pela umidade, e a partir desta análise foi desenvolvido um Guia de Reparos em formato de e-book (Figura 7), que está disponível no link <https://pt.slideshare.net/juliamendes524/guia-de-reparos-das-patologias-de-umidade-em-edificacoes>.



Figura 7. Capa e sumário do Guia de Reparos de patologia de umidade em edificações elaborado (Fonte: Autora).

O Guia de Reparos possui 40 páginas. O primeiro capítulo explora a reparação causada por umidade acidental proveniente de canos furados ou vazamento de calhas de concreto (Figura 8) ou metálica, além de trazer questões relacionadas à proteção, manutenção e segurança do sistema. O segundo capítulo exemplifica o tratamento de infiltração através de cobertura, trazendo o passo a passo para reparar a laje e aplicação de impermeabilização com manta asfáltica, manta líquida de base acrílica ou manta líquida de base asfáltica. Esse capítulo também explica como reparar telhados com fita adesiva ou manta asfáltica pré-moldada. O terceiro capítulo expõe sobre a umidade de condensação, trazendo métodos de reparo da esquadria e do teto. Para a umidade de infiltração, exposta no capítulo 4, são tratados reparação de caimento e vedação, trincas e fissuras. Por fim, a umidade ascendente é trazida no último capítulo e aborda os métodos que envolvem a aplicação de argamassa polimérica e impermeabilização da viga baldrame.



UMIDADE ACIDENTAL

Está associada às fugas de água provocadas por defeitos de construção ou de funcionamento de determinados equipamentos e/ou instalações de águas pluviais, esgoto e água potável.

COMO REPARAR VAZAMENTO DE CALHAS

Os sintomas são manchas nos forros e lajes, assim como aparecimento de goteiras e mofo.

PERES, ANDRÉIA. INSTRUÇÕES PARA REPARO DE VAZAMENTO DE CALHAS. 2017.

5

UMIDADE ACIDENTAL

COMO REPARAR VAZAMENTO DE CALHAS

CALHA DE CONCRETO

PASSO A PASSO

As superfícies devem estar limpas e secas. Em seguida aplicar uma manta líquida de base acrílica, com pincel, trincha ou rolo de textura intensa, em demãos cruzadas.



* As instruções podem variar conforme o produto. Devemos sempre seguir as especificações do fabricante.

→ No caso de reparo de trincas e fissuras pontuais:

Inicialmente para este tratamento as superfícies devem estar perfeitamente limpas e secas.



Em seguida aplicar 1 demão da emulsão asfáltica para imprimação ou solução asfáltica para imprimação com pincel ou rolo de lã.



Posteriormente cortar a fita autoadesiva para vedação na medida desejada, retirar a película de proteção e aplicá-la sobre o local danificado pressionando-a com firmeza, principalmente nas bordas ou extremidades.



6

Figura 8. Exemplos de instruções do Guia de Reparos: caso de umidade accidental por vazamento de calha de concreto (Fonte: Autora).

Cabe ressaltar que as especificações e instruções de execução podem variar conforme o fabricante do produto escolhido, portanto devem ser seguidas à risca. Além disso, o acompanhamento de um profissional é indispensável para a qualidade do reparo.

Devido à finalidade de auxiliar a população que sofre com os problemas gerados pela umidade, o guia foi disponibilizado em plataformas online gratuitamente e em entidades de universidades, como Centros Acadêmicos de Engenharia Civil e PET Civil. E a divulgação foi feita através das redes sociais e em eventos da área.

3.3 Análise crítica

De acordo com o que foi observado na etapa de revisão bibliográfica, a umidade é a manifestação patológica mais frequentemente observada nas edificações (Peres, 2001). As principais causas da patologia de umidade são as falhas ou ausência de impermeabilização das vigas baldrame, contrapiso e lajes, o mau dimensionamento das esquadrias limitando a ventilação, a má vedação das portas e janelas e a falta de caimento para fora do peitoril, defeitos nas instalações hidrossanitárias e, principalmente, a falta de manutenção preventiva (Ripper & Souza, 1998). Por isso, este trabalho levantou diversos métodos para reparar esse tipo de patologia, reunindo-os no Guia de Reparos. Porém, tais métodos atuam na manutenção corretiva, o que não seria o ideal. Como já foi explorado, o ideal seria projetar e construir a edificação aplicando as técnicas corretas para que não ocorra essa patologia e trabalhar ao longo da vida útil da edificação com a manutenção preventiva.

Além disso, atualmente, nos deparamos com a falta do pensamento global da edificação por parte dos projetistas. A ausência de compatibilização dos projetos dificulta uma boa execução da obra,

acarretando incompatibilidade de soluções, imprevistos e improvisos na obra. Essa situação aumenta a probabilidade do surgimento de futura patologia, uma vez que os problemas não são previstos e/ou discutidos na fase do projeto.

Outro fator que reduz a qualidade do desempenho das edificações brasileiras é a prática de economizar ao máximo durante a execução da obra. Raramente os sistemas e materiais de construção são escolhidos com base na sua durabilidade.

As consequências da patologia de umidade afetam diretamente a vida dos usuários das edificações. Estas manifestações patológicas podem provocar desde danos menores a equipamentos e bens presentes nos interiores das edificações, até danos graves como colapsos estruturais, já que água pode intensificar a corrosão da armadura. As manifestações por umidade podem gerar, ainda, desconforto estético devido às manchas escuras, bolhas e descascamento da pintura e tornar o ambiente insalubre, devido à proliferação de fungos.

Esses problemas, entre outros, evidenciam a relevância de um projeto de impermeabilização, que inclua detalhes executivos e uma seleção adequada de produtos. Existem normas detalhadas para a realização destes projetos, porém, no Brasil, o principal problema está relacionado à informalidade no planejamento e execução das obras, atrelado a ausência de fiscalização, criando um cenário propício ao surgimento de patologia.

Quando não se contrata profissionais adequados desde a primeira vez, os projetos se apresentam deficientes, incompletos ou inexistentes, a obra não é executada corretamente e não é elaborado um plano de manutenção periódica. Sem contar que, quando se predomina a manutenção corretiva sem uma visão sistemática da edificação, a patologia poderá ressurgir, agravando a situação e causando prejuízos ainda maiores. Com isso, para que a patologia seja evitada, a realização e a constância das manutenções preventivas são de extrema importância.

Ao analisar o mercado, percebe-se uma predominância de algumas marcas principais e consagradas, nas quais nos baseamos para a realização do presente trabalho. As especificações e funcionalidades que os fabricantes disponibilizam de seus produtos são no geral bem detalhadas, com fotos, descrições, precauções, aplicações e características. Entretanto, apesar de essas marcas disponibilizarem linhas a preços relativamente “acessíveis”, a informalidade ainda prevalece. Diversas soluções paliativas e improvisadas estão disponibilizadas de forma disseminada nas redes sociais, a exemplo da mistura de cimento com cola branca para criar um “impermeabilizante caseiro”, o que acaba muitas vezes gerando um novo ciclo de problemas ao invés de resolvê-los. Isso acontece porque a população não tem consciência da importância de se usar produtos com garantia de fabricação e falta uma análise de durabilidade e custos a longo prazo.

4. CONCLUSÕES

Poucas construções brasileiras possuem um projeto de impermeabilização eficiente, projetos compatibilizados, execução correta, produtos de qualidade e cronograma frequente de manutenção. Portanto, é comum que patologia relacionada à umidade se manifeste afetando diretamente os usuários. Diante disso, a população normalmente adota métodos paliativos para reparar suas edificações e manter padrões mínimos de desempenho e habitabilidade.

Nesse cenário, o presente trabalho consistiu em investigar e selecionar métodos práticos para solucionar patologia existentes e guiar a população para realizar os reparos. Foram abordados os principais tipos de umidade, como a ascendente, de infiltração, acidental e de condensação, e seus respectivos reparos foram agrupados em um Guia de Reparos, disponibilizado gratuitamente. Devido à frequência da patologia de umidade na construção civil brasileira, é de extrema importância esse guia que seja prático, didático, claro e de fácil acesso para a população.

Durante a elaboração do Guia de Reparos, foi notado que o mercado brasileiro possui marcas de qualidade, que oferecem bons serviços e que dão assistência aos seus consumidores, além de

fornecer materiais para suporte técnico. Os reparos selecionados para o guia, se executados corretamente com produtos de qualidade, serão relativamente duráveis. Porém, a vida útil dessas medidas pós-obra normalmente não se compara com aquela derivada de um projeto desenvolvido sistematicamente e holisticamente, compatibilizado e bem executado. Assim, a melhor opção é investir em profissionais qualificados para desenvolver projetos e realizar a execução com qualidade.

Atualmente, existem várias soluções informais disponíveis na internet, que por possuírem um custo inicial menor acabam convencendo o consumidor. Entretanto, o consumidor leigo, por não ter a projeção a longo prazo, não percebe a problemática que isso implica, não só no âmbito financeiro, mas também em relação ao desempenho e durabilidade dos sistemas de sua edificação. Isso é apenas mais um reflexo da realidade do nosso país, onde a informalidade e a autoconstrução são práticas correntes. Este cenário precisa se modificar, pois o ato de construir não deve ser feito sem supervisão profissional, tanto pela segurança quanto pela qualidade das edificações.

Por último, é preciso mudar a cultura sobre manutenção e incentivar investimentos em projetos e execuções de qualidade no Brasil. A população deve compreender a necessidade de se manter o desempenho e segurança de uma edificação, e que a longo prazo só se é possível com as devidas manutenções preventivas. Além disso, cabe ressaltar que quanto mais uma manutenção é adiada, mais cara ela se torna a longo prazo. Por isso, a mudança de mentalidade da população é fundamental para tornar essa cultura de manutenções preventivas mais presentes nas edificações brasileiras.

5. AGRADECIMIENTOS

Os autores agradecem à UFOP e UFJF pelo apoio para a realização e apresentação dessa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. (2013). *NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais*. Rio de Janeiro.

Bauermann, C. (2018). *Patologias provocadas por umidade em edificações*. Trabalho de Conclusão de Curso, Anápolis. Acesso em 3 de Julho de 2019, disponível em <https://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/23086/1/2%20CRISTIANO%20VIEIRA%20BAUERMANN%20-%20TCC.pdf>

Brucke. (2018). *Dica de como se prevenir da umidade no inverno*. Acesso em 23 de Junho de 2019, disponível em Brucke: <https://www.brucke.com.br/dica-de-como-se-prevenir-da-umidade-no-inverno/>

França, Marcondes, et al. (Setembro de 2011). Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. *Téchne*, 174. Acesso em 3 de Julho de 2019, disponível em <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/174/patologia-das-construcoes-uma-especialidade-na-engenharia-civil-285892-1.aspx>

Garrafoli, N. (2010). *Qualidade na construção civil*. Acesso em 15 de Junho de 2019, disponível em Portal VGV: <https://www.portalvgv.com.br/site/qualidade-na-construcao-civil-por-natal-jose-garrafoli>

Kauffman, R. (2017). *Manifestações patológicas: análise e tratamento de combate a infiltrações por capilaridade em edificações*. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário Anhanguera, Leme.

- Klein, D. (1999). Apostila do Curso de Patologia das Construções. *10º Congresso Brasileiro de Avaliações e Perícias*. Porto Alegre.
- Martins, P. (2019). *Estudo dos principais desafios do desempenho térmico das edificações no Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Nakamura, J. (2018). *Programa de manutenção preventiva garante vida longa aos edifícios*. Acesso em 15 de Junho de 2019, disponível em Arquitetura, Construção e Engenharia : https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/programa-de-manutencao-preventiva-garante-vida-longa-aos-edificios_17916_10_0
- Oliveira, V. S. (2017). *Análise e tratamento das manifestações patológicas causadas por infiltração em edificações*. Trabalho de Conclusão de Curso , Faculdade Pitágoras, Londrina.
- Peres, R. (2001). *Levantamento e identificação de manifestações patológicas em prédio histórico: um estudo de caso*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Perez, A. (1985). *Umidade nas Edificações: recomendações para a prevenção de penetração de água pelas fachadas*. São Paulo: 1985.
- PFLIMPEZA. (2016). *Telhado com bolor e mofo*. Acesso em 3 de Julho de 2019, disponível em Habitissimo: https://fotos.habitissimo.com.br/foto/teilhado-com-bolor-e-mofo_698922
- Prado Condomínios . (2016). *Infiltração com origem no meu terraço*. Acesso em 4 de Julho de 2019, disponível em Prado Condomínios: <https://www.pradocondominios.com/infiltracao-com-origem-no-meu-terraço-o-que-fazer/>
- Ramos , F. (2015). *Como identificar uma infiltração* . Acesso em 28 de Novembro de 2019, disponível em GaúchaZ: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/mercado-imobiliario/noticia/2015/04/como-identificar-uma-infiltracao-4740577.html>
- Rendelucci, F. (2005). *Capilaridade - A passagem natural do líquido por um tubo muito fino*. Acesso em 03 de Julho de 2015, disponível em Educação UOL: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/capilaridade-a-passagem-natural-do-liquido-por-um-tubo-muito-fino.htm>
- Ripper, T., & Souza, C. (1998). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: PINI.
- Santos, Ribeiro, et al. (2012/2013). *A Humidade na Construção - Formas, causas e prevenção*. Acesso em 03 de Julho de 2019, disponível em https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2012_13/files/REL_12MC06_01.PDF
- Souza, M. (2008). *Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações*. Trabalho de Conclusão de Curso , Universidade Federal de Minas Gerais , Belo Horizonte .
- Tebaldi, R. (2015). *Sinais que você precisa de calhas novas*. Acesso em 3 de Julho de 2019, disponível em Vai com tudo: <https://www.vaicomtudo.com/6-sinais-que-voce-precisa-de-calhas-novas.html>

Tintas e Pintura. (2017). *Humidade por Condensação - Causas e Soluções*. Acesso em 25 de Junho de 2019, disponível em Tintas e Pintura: <https://www.tintasepintura.pt/humidade-por-condensacao-causas-e-solucoes/>

Verçosa, E. (1991). *Patologia das Edificações*. Porto Alegre: Sagra.

Yazigi, W. (2009). *A Técnica de Edificar* (10ª ed.). São Paulo: PINI.

Avaliação de manifestações patológicas em pilares de edificação multifamiliar localizado em ambiente agressivo.

L. Onghero^{1,2*}, J. Stocco³

*Autor de Contato: lucasjba@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

² Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Contestado, Concórdia, Brasil.

³ Stocco Engenheiros Associados, Florianópolis, Brasil.

RESUMO

As estruturas de concreto armado eram consideradas intrinsecamente duráveis, imunes à degradação, mesmo que sua execução seja realizada sem o devido cuidado e estejam expostas a ambientes agressivos. Nesse contexto, é apresentado a avaliação dos Pilares de uma edificação construídas em concreto armado, apresentando os efeitos da ação do ambiente agressivo, juntamente com a falta de manutenção periódica. A edificação objeto do estudo localiza-se na cidade de Florianópolis -SC. O condomínio encontra-se a na proximidade do mar, condomínio residencial multifamiliar, construído com sistema de elementos estruturais em concreto armado e alvenaria de vedação para a sua construção, possuindo 27 anos a contar do início da edificação. Após as análises, percebe-se que mais da metade dos elementos vistoriados apresentam degradação da estrutura em virtude da corrosão da armadura, de forma já visível através da sua fissuração. A classificação GUT mostrou que cerca de 15 % dos pilares são classificados como GUT 4 e 5, apresentando estado de degradação grave/gravíssimo. Verificou-se que as manifestações são resultantes em falha de detalhamento ou existência de projeto, falta de cuidados durante a escolha dos materiais e técnica construtiva aplicada, além da inexistência de manuais indicando o devido procedimento para a realização da manutenção da edificação.

Palabras clave: Patologia; Corrosão de armadura; Manutenção predial; GUT; Agressividade ambiental.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado eram consideradas intrinsecamente duráveis, imunes à degradação, mesmo que sua execução seja realizada sem o devido cuidado e estejam expostas a ambientes agressivos. A partir dos anos 80, o crescente número de estruturas degradadas, apresentando riscos de segurança e elevados custos de manutenção mudou a perspectiva, passando a compreender a importância de prevenir a degradação do concreto e principalmente, a corrosão das armaduras. (Bertolini, 2000)

Um estudo realizado pelo IBAPE-SP (2015), apontou que 66% das prováveis causas e origens dos acidentes provocados pela presença de manifestações patológicas estão relacionados à deficiência e inexistência de manutenção predial. A prática da realização de inspeções periódicas nas edificações e da manutenção preventiva, reduz a ocorrência de acidentes e é indispensável para garantir que se atinja a vida útil mínima das edificações (ALVES, 2009).

Segundo Oliveira (2013), as inspeções devem ser realizadas por profissionais habilitados, sendo capazes de transmitir as informações técnicas necessárias para cada caso e realizar as inspeções de forma segura, minimizando os riscos de acidentes de trabalho. Em contrapartida, as inspeções físicas geralmente não são realizadas por profissionais habilitados na área de Patologia, transformando a inspeção em uma avaliação e resultando em diagnósticos imprecisos.

A ação do ambiente nas estruturas de concreto armado pode determinar um dano progressivo no elemento estrutural, tanto no concreto quanto nas armaduras. Essa ação pode ser de tipo Físico, químico, biológico ou mecânico. Dependendo o tipo de degradação que ocorre, é possível determinar qual dos materiais (pasta de cimento ou armadura) apresentam primeiramente a degradação, e como efeito secundário, afeta os demais constituintes do elemento. (Bertolini, 2010).

Ressalta-se que os mecanismos de degradação podem atuar de maneira sinérgica e, não há uma única causa para a ocorrência da degradação do concreto. Dentro dessa perspectiva, pode-se destacar que com exceção das causas mecânicas, todas as outras formas de degradação envolvem transporte de fluidos. (Neville, 2016)

A prevenção de degradação de estruturas de concreto armado podem dever-se iniciar no momento de projeto da obra, onde segundo as diretrizes da NBR 6118, onde há requisitos para garantir a durabilidade mínima da edificação de acordo com a localização em que vai ser construída, de maneira que sua vida útil seja garantida.

2. ESTUDO DE CASO

A edificação objeto do estudo localiza-se na cidade de Florianópolis -SC. A escolha do empreendimento ocorreu devido à demanda de parte do condomínio por uma avaliação mais criteriosa a respeito da degradação que os elementos vêm sofrendo ao longo do tempo.

O condomínio encontra-se a na proximidade do mar, conforme pode ser observado na Figura 1. Trata-se de um condomínio residencial multifamiliar, apresentando 15.299 m² de área construída e 17.581 m² de área total, sendo utilizado sistema de elementos estruturais em concreto armado e alvenaria de vedação para a sua construção.

Figura 1 - Localização das edificações avaliadas.



De acordo com os dados levantados, as edificações começaram a ser construídas em 1994, sendo assim, possuem na presente data possuem 27 anos do início da construção e o início da ocupação se deu a partir de janeiro de 2000. Trata-se de um condomínio multifamiliar onde o sistema construtivo utilizado é de elementos estruturais em concreto armado e alvenaria de vedação, contendo: 05 (cinco) Blocos (A,B,C,D,E), cada bloco possui 03 (três) andares e 19 (dezenove) apartamentos por bloco.

3. PROCEDIMENTO

A degradação do concreto armado é um processo que ocorre ao longo da vida útil da edificação. Portanto é nítido a necessidade de um plano e gerenciamento de manutenção da estrutura, prevenindo assim que a degradação atinja níveis críticos, não colocando em riscos os usuários e resultando em menor custo para o reparo. Nesse aspecto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta um conjunto de normas destinado à manutenção predial: NBR 15575 – Norma de desempenho da edificação; NBR 14037 – Manual de uso, operação e manutenção; NBR 5674 – Gestão da manutenção; NBR 16280 – Gestão das reformas; CE-02 – Inspeção predial. Na realização dos trabalhos foram seguidas as recomendações normativas da NBR 16747 Inspeção Predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento (ABNT, 2020). Realizou-se uma vistoria no local, utilizando os sentidos humanos e instrumentos, em conjunto da anamnese para a obtenção de informações orais e formalizadas. A metodologia utilizada foi baseada na sequência exposta no quadro 1.

Quadro 1. Sequência de procedimento metodológico utilizado.

1	Vistoria	Constatação no local, predominantemente sensorial.
2	Anamnese	Entrevista realizada com os envolvidos, para coleta de dados e obtenção de informações sobre o histórico
3	Exames Complementares	Ensaio no local (destrutivos e não destrutivos)
4	Pesquisa	Bibliográfica, tecnológica ou científica.

5	Diagnóstico	Origens, causas e mecanismos de ocorrência.
6	Definição de conduta	Orientação de serviços e materiais para a recuperação do sistema.

Fonte: NBR 16747, 2020

De acordo com a norma de inspeção predial disponibilizada pelo IBAPE, a inspeção pode ser classificada de acordo com a complexidade e elaboração do laudo, levando em consideração as características técnicas da edificação, manutenção e operação existentes, sendo a inspeção classificada em nível 1, nível 2 ou nível 3. A classificação da inspeção é realizada pelo inspetor predial, após análises das características dela.

Dentro desse contexto, a edificação avaliada nessa ocasião pode ser classificada como **Inspeção de Nível 02**, uma vez que essa se caracteriza como edificações de média complexidade técnica, de manutenção e operação de seus elementos e sistemas construtivos, de padrões médios e com sistemas convencionais. Além de apresentar como característica possuir vários pavimentos, sem plano de manutenção.

As manifestações encontradas recebem sua classificação quanto as anomalias apresentadas e a origem de suas falhas. A metodologia utilizada é embasado no trabalho desenvolvido por Boes (2017), onde faz uma integração entre as diretrizes de avaliação e organiza as anomalias quanto a priorização de reparo a ser desenvolvido na estrutura. As classificações empregadas na metodologia está resumida no quadro 02.

Quadro 2. Classificação das anomalias e falhas.

	Classificação	Descrição
Anomalias	Endógena	Originárias da própria edificação, geralmente causada por erros de projetos, defeitos de construção ou fabricação ou emprego de materiais não especificados
	Exógena	Oriundos de fatores externos a edificação, causadas pela ação de terceiros
	Natural	Ocorrem por fenômenos da natureza
	Funcional	Originadas da degradação de sistemas construtivos pelo envelhecimento natural e, conseqüentemente, térmico da vida útil e por falhas de uso e/ou manutenção
Falhas	Planejamento	Falhas de procedimentos e especificações inadequados do plano de manutenção, sem aderência a questões técnicas, de uso de operação, de exposição ambiental e, principalmente, de confiabilidade e disponibilidade das instalações, consoante a estratégia de manutenção. Além dos aspectos de concepção do plano, há falhas relacionadas as periodicidades de execução.
	Execução	Associada à manutenção proveniente de falhas causadas pela execução inadequada de procedimentos e atividades do plano de manutenção, incluindo o uso inadequado dos materiais
	Operacional	São relativas aos procedimentos inadequados de registros, controles rondas e demais atividades pertinentes

	Deriva da falta de controle de qualidade de qualidade dos serviços de manutenção, bem como a a falta de acompanhamento dela
Gerencial	

Fonte: Boes, 2017.

Tendo em conta as recomendações apresentadas pelo inspetor predial, deve haver a organização das prioridades em patamares de urgência. Na avaliação do Grau de Risco foi utilizado o método GUT (Gravidade/Urgência/Tendência). O quadro 03 apresenta o método GUT aplicado a inspeção predial.

Quadro 3. Método GUT de inspeção predial

Valor	Gravidade	Urgência	Tendência	GUT
1	Nenhum risco à saúde, integridade física dos usuários, ao meio ambiente ou ao edifício. Mínima depreciação do patrimônio. Eventuais trocas de componentes, sem comprometimento imobiliário	Não tem pressa	Não vai piorar	Baixo
2	Sem risco à integridade física dos usuários, sem risco ao meio ambiente, pequenos incômodos estéticos ou de utilização, pequenas substituições de componentes ou sistemas, reparos de manutenção planejada para recuperação ou prolongamento de vida útil. Prejuízo financeiro pequeno.	Pode Esperar um pouco	Vai piorar a longo prazo	Baixo
3	Risco à saúde dos usuários, desconfortos na utilização dos sistemas, deterioração passível de restauração/reparo, podendo provocar perda de funcionalidade com prejuízo à operação direta de sistemas ou componentes. Danos ao meio ambiente passíveis de reparo. Prejuízo financeiro médio.	O mais cedo possível	Vai piorar a médio prazo	Médio
4	Risco de ferimentos aos usuários, danos reversíveis ao meio ambiente ou ao edifício. Impacto recuperável com o comprometimento parcial do desempenho e funcionalidade (vida útil) do sistema que afeta parcialmente a saúde dos usuários ou o meio ambiente. Prejuízo financeiro alto.	Urgente	Vai piorar em pouco tempo	Crítico
5	Risco de morte, risco de desabamento/colapso pontual ou generalizado, iminência de Incêndio, impacto irreversível com perda excessiva do desempenho e funcionalidade, comprometimento irreversível da vida útil do sistema causando danos grave à saúde dos usuários ou ao meio ambiente. Prejuízo financeiro muito alto.	Ação Imediata	Vai piorar imediatamente	Crítico

Fonte: Boes, 2017.

3.1. Equipamentos utilizados

A câmera termográfica utilizada na realização dos ensaios não destrutivos foi a FLIR C2 número I5-44820, com aprimoramentos de imagem MSX através da adição de detalhes da câmera de luz visível a imagem de infravermelho em tempo real.

As imagens termográficas receberam tratamento para melhor visualização e emissão de relatório através de software com interface digital disponibilizado pela FLIR Systems, Inc.

A Pacometria é um ensaio não destrutivo usado para determinar a posição das armaduras e, dependendo do equipamento utilizado para o ensaio, pode ser possível descobrir o cobrimento de concreto em peças de concreto armado. Este permite estimar sua dimensão, cobrimento e orientação, sendo útil na realização de vistorias em elementos estruturais e edifício, principalmente quando não há documentação disponível.

Basicamente, o ensaio tem por finalidade detectar materiais construtivos não visíveis, que estão no interior de paredes e elementos estruturais. Usualmente é utilizado para detectar barras de aço, no entanto, alguns modelos podem detectar: tubulações hidráulicas de PVC, fiações elétricas, madeira e tubos de cobre.

O ensaio de pacometria é fundamental para a realização de outros ensaios, tais como: profundidade de carbonatação, extração de testemunho e potencial de corrosão.

Para o ensaio de pacometria, utiliza-se um equipamento eletrônico chamado pacômetro, que funciona por indução magnética. Primeiramente, deve-se posicionar o equipamento no elemento estrutural ou na parede a ser avaliada e movimentá-lo no sentido horizontal e vertical, observando sempre as informações presentes na tela do equipamento.

O ensaio de esclerometria é um tipo de ensaio não destrutivo, e consiste em um método utilizado para determinar a dureza superficial do concreto endurecido, assim como é possível determinar a uniformidade do concreto utilizado em uma mesma edificação.

A realização do ensaio de esclerometria é feita com uma massa martelo que se choca com a área que está sendo submetida ao teste. Para isso, essa massa martelo recebe o impulso de uma mola. Dessa forma, quanto maior for a dureza da superfície, menor será a deformação permanente, assim como também será menor a reflexão da massa martelo, ou o seu recuo.

É necessário esclarecer que esta técnica não determina a resistência do concreto, apesar de muitos profissionais a utilizarem para esse fim. Caso queira determinar a resistência do concreto através da esclerometria, é necessário, para todo local a ser analisado, construir uma curva de correlação entre as leituras obtidas no esclerômetro e a resistência do concreto encontrado no local da análise. Portanto, torna-se mais confiável e menos custoso realizar a extração para esse fim, utilizando a esclerometria como teste para definição dos pontos a serem extraídos.

Figura 2. Modelo dos equipamentos utilizados durante a inspeção, câmera termográfica (a), Pacômetro (b) e esclerômetro (c).



4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Previamente foi requisitado ao síndico uma lista de documentos para serem organizados e se possível disponibilizados, facilitando a organização do plano de ação a ser executado, além de obter maiores informações da edificação, como materiais, técnicas e processo construtivo utilizado. No quadro 04 é apresentado a relação de documentos solicitados, avaliando-os em disponível ou não, assim como mostrando algumas observações a respeito da solicitação.

Quadro 4. Relação de documentos.

Documentação Solicitada	Disponível	Observações
Habite-se	Sim	Apta a partir de 15/06/2011
Memorial Descritivo	Não	Não localizado
Manual de uso, operação e manutenção (ABNT NBR 14037:2011 versão corrigida 2014)	Não	Não existe
Programa de Gestão de Manutenção (ABNT NBR 5674:2012)	Não	Não existe
Projeto Arquitetônico	Não	Localizado apenas uma planta de um pavimento tipo 03/10. Localizado 08 folhas 3ª versão.
Projeto Estrutural	Não	Entregue somente uma planta de formas
Projeto Elétrico	Não	O projeto elétrico disponibilizado corresponde somente a piscina, quadras e salão de festas
Projeto Hidrossanitário	Não	Somente da parte comum executada mais recentemente
Projeto Preventivo Incêndio	Não	Não apresentado
Projeto Cobertura	Não	Não apresentado
Projeto Impermeabilização	Não	Não apresentado

Durante a anamnese várias informações foram obtidas destacando-se:

- ✓ O projeto do empreendimento teve se início em 1994, após o início das obras a construtora

faliu e a continuidade dos trabalhos ocorreu através da organização de um grupo de compradores.

- ✓ A ocupação do condomínio teve início em janeiro de 2000 com o Habite-se expedido em junho de 2011. Por várias circunstâncias, teve-se que refazer os projetos arquitetônico, preventivo contra incêndio e hidrossanitário, além de adequar a construção às exigências da legislação atual para a obtenção do Habite-se.
- ✓ A primeira intervenção estrutural ocorreu em 2016 num total de 110 pilares do pavimento térreo que apresentavam deterioração visível. A execução foi feita pela Fênix Engenharia não tendo sido documentada. Outros 70 pilares tiveram intervenção com mão de obra própria do condomínio. Nas vigas aparentes foram feitos paliativos com a aplicação da argamassa.
- ✓ Através de informação não documental inicialmente foi informado que todo o concreto utilizado na estrutura havia sido feito na própria obra. Posteriormente foi informado que o concreto havia sido fornecido por concreteira, então solicitou-se documentação comprobatória tal como notas fiscais ou laudos de resistência de corpos de prova, até momento da redação desse parecer não havia sido localizada ainda a documentação.

Em seguida realizou-se uma visita aos pavimentos garagem de todos os blocos observando-se trincas e fissuras em pilares e vigas, características de expansão de armadura por corrosão (Figura 2).

Figura 3. Pilares com indicações de corrosão de armadura.



Nota-se que durante o levantamento dos dados, poucos documentos foram obtidos, tornando assim mais lento o avanço dos trabalhos, provocando atraso considerável no processo de inspeção. Inicialmente foi realizado a avaliação dos projetos de forma (ano de 1994) e arquitetônico (ano de 2008) disponibilizados. Durante essa avaliação foi percebido que eles não convergiam. Dessa forma foi necessário realizar o levantamento dos elementos estruturais dos edifícios para saber qual dos projetos condizia com o encontrado *in loco*. Essa verificação ocorreu no dia 22/12/2020. Após a realização da verificação, foi possível desenvolver o croqui dos blocos do condomínio com a locação de cada pilar e viga existente. Tendo em vista o elevado número de elementos a serem analisados iniciou-se a verificação visual dos mesmo e, dessa maneira podendo realizar uma seleção dos elementos estruturais a serem analisados com prioridade. O nível de prioridade se deu de acordo com a integridade estrutural apresentada.

Devido à falta de projetos estruturais, durante essa primeira etapa foi realizado teste de pacometria para definir a posição das armaduras longitudinais e transversais dos elementos. Durante os ensaios foi possível verificar uma distância significativa entre a armadura e a face dos pilares.

Após análise constatou-se a presença de revestimento argamassado de grande espessura, com acabamento em pintura texturizada. Na parte inferior dos pilares existia revestimento cerâmico, que foram retirados, sendo aplicado nesses locais uma pequena camada de argamassa regularizadora executado com mão de obra própria do condomínio.

Apesar de não ser considerado normativamente para efeitos de cálculo estrutural, o revestimento argamassado, o revestimento cerâmico e a pintura fornecem proteção extra à armadura. Como descrito anteriormente, existe uma camada de espessura considerável de argamassa com pintura texturizada e, até recentemente, existia revestimento cerâmico na base dos pilares.

Foram abertas janelas de inspeção em dois pilares, um íntegro e outro com fissura, para verificação da integridade do concreto. No pilar sem a presença de fissura, com argamassa com IE alto e dificuldade de remoção da textura o concreto não apresentava sinais de deterioração. No outro pilar o concreto apresentava fissuras características de expansão de armadura por corrosão. Observou-se durante as vistorias que os pilares que apresentavam textura perfeita e o revestimento argamassado íntegro dificilmente apresentavam fissuras aparentes visíveis. Numa avaliação expedita utilizou-se o esclerômetro de reflexão na análise do revestimento de argamassa dos pilares, SALIENTA-SE QUE O ESCLERÔMETRO UTILIZADO NÃO É O PRÓPRIO PARA ARGAMASSA E OS RESULTADOS SÃO MERAMENTE COMPARATIVOS.

Nesse ensaio foi retirado somente a camada de textura e feito os testes na argamassa. Após os testes foi verificado que nos pilares sem fissuras aparente a remoção da textura foi muito difícil mesmo com a utilização de esmerilhadeira elétrica e o índice esclerométrico (IE) foi relativamente alto em níveis de IE de concreto (IE-30). Possivelmente esse alto IE seja decorrente do processo de carbonatação que colabora com o endurecimento da argamassa de cimento Portland, em especial na sua superfície. Nos pilares com fissuras a textura soltava facilmente e o IE foi consideravelmente mais baixo (IE<20), além disso visivelmente se percebia esfarelamento na argamassa ou presença de umidade.

Figura 4. Janela de inspeção aberta em pilar íntegro (esquerda) e em pilar apresentando fissuras (direita).



Dessa forma, no dia 30/12/2020 foram os elementos que já apresentam fissuras aparentes devido a expansão das armaduras foram selecionados para serem avaliados primeiramente e, nesses locais

foram marcados os pontos para a abertura de janelas para vistorias, onde se torna possível acessar as armaduras e avaliar o nível de degradação em que se encontram, além de conseguir complementar as informações construtivas faltantes.

Durante a marcação dos pontos o ensaio à percussão se fez necessário devido a constatação de que muitos pilares tinham incorporado mochetas para passagem de tubulações.

Após a abertura das janelas de inspeções, foi realizada a visita para verificação dos pilares com as janelas de inspeção já executadas e constatou-se que:

- ✓ Diversas fissuras eram decorrentes da ligação entre pilar-mocheta, ou também devido a maior dimensão da própria tubulação dentro da mocheta.
- ✓ Muitas fissuras são decorrentes da expansão de armadura devido à corrosão.
- ✓ Em diversos pilares a corrosão já está em estado avançado, inclusive com perda de seção do aço e deslocamento do concreto. (Figura 05 a)

Figura 5. Corrosão de armadura em estado avançado, apresentando deslocamento do concreto (a) e perda de seção transversal do aço (b) .



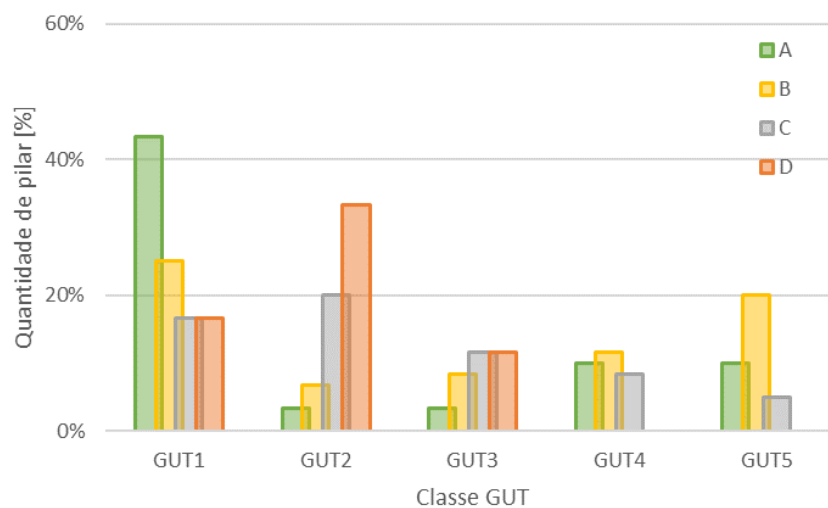
- ✓ Foram detectadas falhas de execução na recuperação feita em 2016, sendo que diversos pilares que haviam sido recuperados apresentam processo avançado de corrosão da armadura, na região que havia sido recuperada. (Figura 06^a e 06b)

Figura 6. Degradação da área recuperada em 2016, com aplicação de técnicas e materiais não eficiente.



De acordo com o levantamento realizado, constatou-se que os blocos A e B são os que apresentam maior quantidade de pilares em níveis de degradação avançada e, que exigem reparos urgentes. A Figura 07 apresenta o percentual de cada GUT em cada bloco, de acordo com os dados de levantamento. Ressalta-se que no bloco E apenas um dos pilares apresentou fissuração, porém não apresentando nível avançado, não sendo incluído nesta análise.

Figura 7. Quantidade de GUT em cada bloco vistoriado.



Após o levantamento, é possível verificar que os primeiros blocos que mais de 50% dos pilares presentes no residencial apresentam alguma manifestação de fissura e, por mais que apenas 7% se concentre em GUT 5, esses elementos apresentam características de situações que torna o seu tratamento de extrema urgência, considerando toda a problemática envolvida.

Quadro 5. Avaliação global dos GUTs encontrados.

GUT	Qtd.	Percentual total
GUT1	61	20,3%
GUT2	38	12,7%
GUT3	21	7,0%
GUT4	18	6,0%
GUT5	21	7,0%
Sem fissuração	141	47,0%

5. DIAGNÓSTICO

Através dos estudos realizados pode-se considerar que a origem das manifestações patológicas observadas nos pilares expostos do pavimento térreo tem sua origem na corrosão das armaduras. Os mecanismos de ocorrência são derivados da penetração de agentes agressivos, em especial o íon cloreto devido a proximidade do mar e ao vento predominante na região que faz com que a estrutura esteja mais tempo exposta a agressividade ambiental.

Aliado a isso cabe salientar que o cobrimento da armadura observado é mínimo, sendo que em alguns pontos não chega a 01 cm, enquanto, por parâmetros atuais o cobrimento nominal da armadura em pilares de concreto armado deve ser de 04 cm de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) onde a classificação geral do tipo de ambiente da edificação é marinha com Classe de agressividade ambiental III, que corresponde a grande risco de deterioração da estrutura.

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015) a classe de concreto utilizada em ambientes com classe de agressividade III deve ser maior ou igual a C30 com relação água/cimento menor ou igual a 0,55. Não foram localizadas maiores informações sobre o concreto que possam atestar a sua qualidade, porém, é fato que o concreto feito em obra dificilmente chegaria a esses parâmetros e no caso de ter sido adquirido concreto em central, historicamente a classe de concreto utilizada na época da construção dos edifícios não passava de C25 que resulta num concreto mais poroso.

Pode-se afirmar que, o cobrimento inadequado ou inexistente da armadura aliado a porosidade do concreto num ambiente marinho de forte agressividade ambiental são os fatores que tem colaborado com o surgimento das manifestações patológicas nos elementos estruturais avaliados. Juntamente com os todos esses efeitos de projeto/execução, a ausência de um plano de manutenção predial adequado corroborou para que a estrutura atingisse um grau de degradação tão elevado.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro.

ALVES, S. M. A. WWW.PATORREB.COM - Um contributo para a sistematização do conhecimento da patologia da construção. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008

Bertolini, L.; elsener, B.; pedferri, P.; Polder, R. (2004), Corrosion of steel in concrete – Prevention, Diagnosis, Repair. Weinhei,, Alemanha: Wiley-VCH.

Bertolini, L. (2010), Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo, Brasil, p.129.

INSITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. (2012), Norma de Inspeção Predial. São Paulo, Disponível em <<http://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/12/Norma-de-Inspe%C3%A7%C3%A3o-Predial-IBAPE-Nacional.pdf>>. Acesso em 29 de Mai 2021.

Neville, A.M. (2016), Propriedades de concreto, 5ed., Porto Alegre, Brasil, p.502.

OLIVEIRA, C. S. P. (2013), Análise Crítica de Experiências e Discussão de Estratégias para Implantação de Leis de Inspeção de Elementos de Fachadas. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Identificação e análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto dos terminais de ônibus na cidade de Manaus

A. R. M. Colares^{1*}, H. M. Murchie¹, R. P. Vasconcelos¹

*Autor de Contacto: eng.albertocolares@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil.

RESUMO

O trabalho objetivou identificar e analisar as possíveis manifestações patológicas presentes nos terminais de ônibus da cidade de Manaus, especificamente nas estruturas de concreto e alvenaria de vedação, buscando na literatura técnica soluções adequadas para cada caso. Das visitas aos terminais, observou-se que as manifestações mais frequentes foram trincas, deslocamento de camada de concreto, oxidação de armaduras expostas, empoçamento de água em laje e avarias por choque mecânico. Mostrou-se que, em geral, esses problemas se originaram em falhas executivas e de uso, contato de água intermitente com a estrutura, vibração pelo tráfego de veículos pesados e em carbonatação do concreto por conta da elevada concentração de gás carbônico no local. Isso posto, tratamentos recomendados variaram conforme o grau de risco.

Palavras chave: Terminais; Ônibus; Patologia; Concreto; Manaus.

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo identificar y analizar las posibles manifestaciones patológicas presentes en las terminales de autobuses de Manaus, específicamente en estructuras de sellado de hormigón y mampostería, buscando en la literatura técnica soluciones para cada caso. Se observó que las manifestaciones más frecuentes fueron grietas, desprendimiento de la capa de concreto, oxidación de armaduras expuestas, charcos de agua de losa y daños por choque mecánico. Se demostró que, por lo general, estos problemas se originaban en fallas ejecutivas y de uso, contacto intermitente del agua con la estructura, vibraciones ocasionadas por el tránsito de vehículos pesados y la carbonatación del concreto por la alta concentración de dióxido de carbono. Los tratamientos recomendados variaron según el grado de riesgo.

Palabras clave: Terminales; Autobuses; Patología; Hormigón; Manaus.

ABSTRACT

The research purposed to identify and to analyze possible pathological manifestations present in bus terminals at Manaus city, specifically in reinforced concrete structures and sealing masonry, searching in technical literature the correct solution to each problem. Was observed that most frequent manifestations were fissures, fall of the protective layer of reinforced bars, steel oxidation, water accumulation on slabs and damage by mechanical crash. Generally, these problems have origin on executive and utilization fails, on excessive contact with water, on vibration by big vehicle traffic and on carbonation of the concrete by the local high rate of carbon dioxide. The recommendation of treatment depends on the degree of risk.

Keywords: Terminals; Bus; Pathology; Concrete; Manaus.

1. INTRODUÇÃO

O processo de crescimento urbano demanda do poder público a promoção da cidadania daqueles que moram em território de sua jurisdição. Nesse contexto, o sistema transporte coletivo urbano exerce protagonismo no exercício da cidadania, pois garante o exercício do direito de ir e vir, previsto no artigo 6º da Constituição Federal (Brasil, 1988). Além disso, como atividade-meio, o transporte coletivo é um dos elementos essenciais na movimentação econômica de um lugar, já que, como explicam Junior e Rangel (2017), é ele que possibilita o deslocamento dos trabalhadores para o exercício de suas atividades cotidianas.

No caso da cidade de Manaus, o sistema de transporte coletivo é feito por meio de ônibus e, para algumas regiões, micro-ônibus executivos. Para os ônibus, conforme o portal da Superintendência Municipal de Transportes Urbanos (SMTU, 2018), o sistema é do tipo tronco-alimentado: as linhas se deslocam dos bairros em direção a terminais de integração ou conexão em um ponto intermediário entre origem e destino, nos quais as pessoas podem embarcar em outros ônibus para finalização da viagem. Há na cidade seis terminais de integração espalhados nas diferentes zonas, além de terminais de conexão com grande movimento de pessoas, como o Terminal da Matriz e a Estação de Transferência São Jorge.

O sistema em si tem atendido regularmente a dinâmica da cidade, no entanto as condições de infraestrutura dos terminais, resultantes da manutenção deficiente, causam grande incômodo aos seus usuários, como mostrou Benoliel (2018). Isto é um problema que deve ser encarado continuamente, pois as condições de conforto interferem diretamente na qualidade de vida e produtividade do trabalhador.

Partindo disto, a pesquisa teve como objetivo analisar as manifestações patológicas nas estruturas de concreto e alvenaria de vedação dos cinco primeiros terminais de integração de ônibus da cidade de Manaus, indicando as possíveis soluções para o problema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fatores de ocorrência de anomalias nas estruturas de concreto

Para Vieira (2016), as manifestações patológicas podem se originar nas etapas de concepção, execução e utilização da estrutura. Quando se originam da concepção, tendem a ter soluções mais complexas e, por consequência, mais onerosas. Na fase de execução, é importante o cuidado com a correta interpretação dos projetos pelos executores, bem como a qualidade da mão-de-obra, pois o desconhecimento dos trabalhadores quanto ao manuseio dos materiais pode fazer com que, por exemplo, um pilar seja preenchido de forma incompleta e, ainda, segregada. Já na fase de utilização, os problemas surgem da utilização inadequada por parte dos usuários, bem como da ausência ou deficiência nas ações de manutenção.

Estruturas de concreto armado podem apresentar problemas que decorrem de agentes agressivos diversos. Bolina et. al. (2019) afirmam que no passado acreditava-se que o concreto armado era eterno, dado seu desempenho satisfatório em uma variedade de ambientes, no entanto essa visão foi mudando ao longo do tempo, à medida que se conheceu mais sobre o material. Para Souza e Ripper (1998), fatores como qualidade dos materiais, manutenção inadequada ou ausente, mau uso da estrutura e intemperismo físico e químico levam ao aparecimento de manifestações patológicas como infiltrações, manchas de fungo, fissuras, rachaduras, recalque diferencial, carbonatação e eflorescência, sendo essas duas últimas próprias do concreto.

De origem química e física combinada, a carbonatação do concreto, segundo Pauletti (2009), não é um fator prejudicial para o concreto em si, mas um ponto de atenção importante para o concreto armado, pois facilita a corrosão das armaduras. Na verdade, Souza e Ripper (1998) afirmam que, se não alcançasse o nível da armadura, a carbonatação favoreceria a estrutura, garantindo melhoria tanto em resistência mecânica como em resistência química. Ribeiro e Cunha (2014, apud Barbosa Filha et. al., 2016) explica que ela ocorre quando o gás carbônico presente na atmosfera reage com o hidróxido de cálcio do concreto, formando o carbonato de cálcio. O fenômeno é favorecido quando há grande quantidade de poros e umidade elevada. Poggiali (2009) explica que em ambientes urbanos e industriais, o ar pode estar contaminado com níveis elevados de agentes agressivos ao concreto, como o dióxido de carbono, gás sulfídrico, gás de amônia, entre outros. Esclarece ainda que “a carbonatação ocorre de forma mais acelerada em concretos de baixa qualidade e em ambientes com umidade relativa variando entre 50% e 70%” (Poggiali, 2009). No caso de Manaus, que, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), costuma ter valores de umidade relativa do ar acima de 70%, cria-se um ambiente favorável à carbonatação, principalmente em locais dentro da área urbana onde há grande concentração e circulação de veículos, com consequente emissão maior de dióxido de carbono. Esse é o caso dos terminais de ônibus, objeto deste estudo, apesar de, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a classe de agressividade de projeto de ambiente urbano ser moderada, com risco pequeno de deterioração da estrutura.

A eflorescência também é comum no concreto. Uemoto (1988) explica que, constituída principalmente de sais de metais alcalinos e alcalino-terrosos, ocorre quando, pela ação da água intermitente, por exemplo da chuva, o elemento estrutural fica saturado e os sais presentes nele são dissolvidos e transportados para a superfície. Daí, por evaporação da solução, forma-se uma camada branca pulverulenta de sais depositados. De modo geral, causa apenas danos estéticos, mas serve para indicar um problema muito maior: umidade excessiva.

Bolina et. al. (2019) reforçam que “a deterioração das estruturas de concreto dificilmente é relacionada a uma única origem”, e que, em geral, manifestações patológicas se dão pela ação de diversos agentes, cuja atuação é simultânea. Daí a necessidade de a investigação das causas ser cuidadosa, pois essa sobreposição de mecanismos pode acrescentar dificuldades ao diagnóstico, e o erro na correta identificação da origem do problema pode levar a prejuízos tanto econômicos como estruturais e, no caso de edificações de interesse público, sociais.

2.2 Impacto das manifestações patológicas no transporte coletivo

Para relacionar de forma satisfatória os aspectos construtivos dos terminais de ônibus com o bem-estar dos usuários, é necessário levar em consideração a ergonomia ambiental, que, segundo Alves et. al. (2010, apud Nasta, 2014):

“Atua em planejamentos e projetos do objeto ao ambiente construído de um modo geral, com abrangência no espaço urbano, áreas de convívio, de lazer e áreas verdes, na busca de soluções para promover o conforto, segurança e bem-estar aos indivíduos.”

Seguindo essa ideia, infere-se que a simples existência de manifestações patológicas quebra, no local em que estão inseridas, a harmonização dos três pilares fundamentais da ergonomia ambiental: compromete, primeiramente, o bem-estar do usuário que percebe que algo está errado, aponta falhas de segurança estrutural e, por consequência, diminui o conforto de quem está inserido em um local com visíveis anomalias estruturais.

Considerar isso é importante para evitar o estresse do usuário pois, segundo Leite et. al. (2015) “existe uma grande relação entre o estresse vivido pelo trabalhador e seu nível de produtividade”, o que impacta diretamente no ciclo de desenvolvimento urbano.

3. MÉTODOS UTILIZADOS

O terminais de integração de ônibus de Manaus estão distribuídos pela cidade conforme ilustrado pela Figura 1. Todos eles são dotados de estruturas metálicas e de concreto, sendo este último tipo o escopo do presente trabalho. Na época em que esta pesquisa foi realizada, a construção do Terminal 6 estava em processo de concepção, motivo pelo qual ele não foi objeto de estudo.

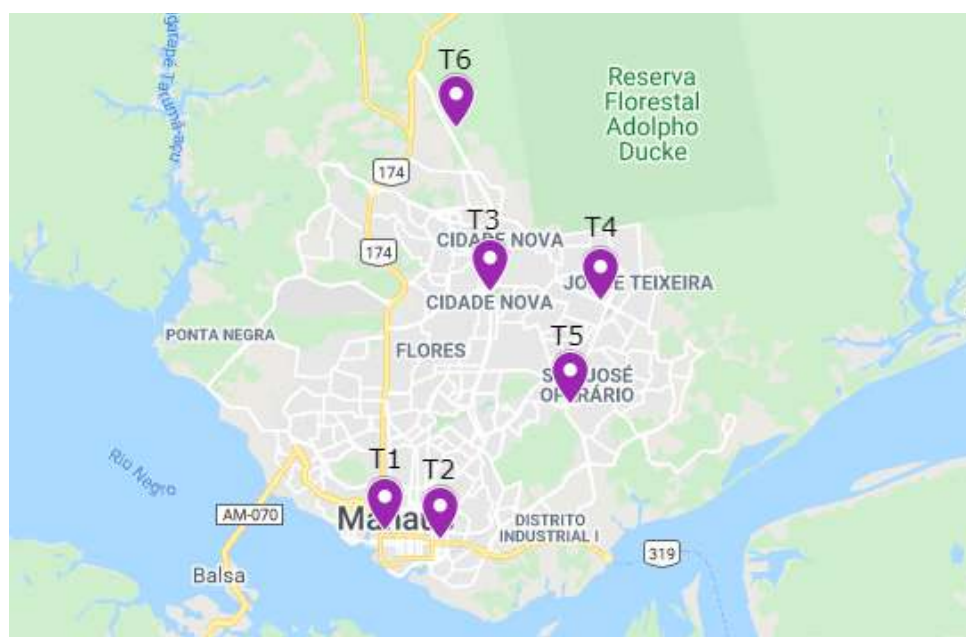


Figura 1. Distribuição dos terminais de ônibus na cidade de Manaus. Fonte: Google Maps, adaptado pelos autores (2021).

Foi feito levantamento do estado da arte relativa ao tema da pesquisa, através de revisão bibliográfica por meio de pesquisa em artigos, revistas, teses, dissertações e livros didáticos relacionados à área de patologia e materiais de construção civil. Fez-se também a análise dos projetos e especificações dos cinco terminais de integração de ônibus da cidade de Manaus, o que é exemplificado na Figura 2, que mostra parte do *layout* do Terminal de Integração 1. Essa documentação foi cedida pela Secretaria Municipal de Infraestrutura de Manaus, que também autorizou a execução de visitas técnicas aos terminais de ônibus e disponibilizou pessoal para acompanhamento.

Na etapa de campo, fez-se estudos de caso por meio de inspeção predial para detecção de anomalias com uso de instrumentos como fissurômetro, paquímetro, trena e lupa, seguindo as recomendações da Norma de Inspeção Predial Nacional do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2012).

A partir disso, foi feita a identificação das manifestações patológicas encontradas, estudo de causas e efeitos a partir da análise do histórico dos problemas identificados, diagnóstico e listagem das manifestações patológicas e anomalias encontradas, finalizando com relatório das causas, classificação das anomalias e do estado geral dos terminais quanto ao grau de risco e sugestão de reparos e medidas preventivas.

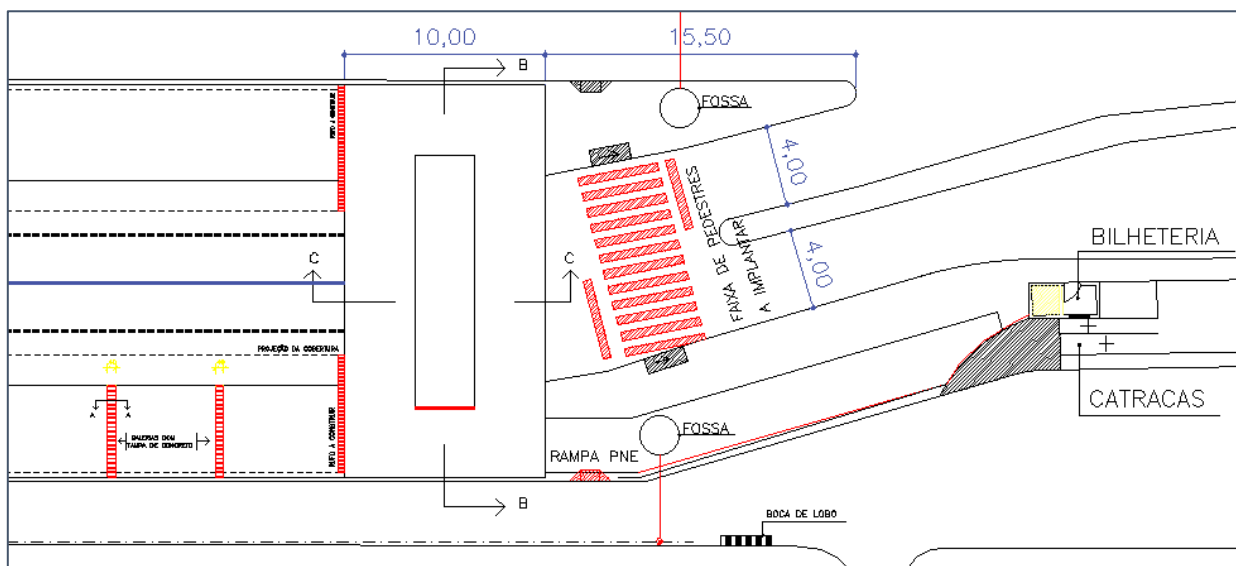


Figura 2. Parte do *layout* do Terminal de Integração 1. Fonte: EMTU (2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após pesquisa de campo, fez-se o levantamento das manifestações patológicas encontradas e a quantificação das ocorrências absoluta, isto é, o número de terminais em que a anomalia foi detectada, e percentual, a razão vezes cem entre a ocorrência absoluta e o número total de terminais analisados (Tabela 1 e Figura 3). Em todos os terminais vistoriados foram detectados casos de trincas na alvenaria e em 80% deles foram detectados casos de perda de material por choque mecânico, empoçamento de água em pano de laje, deslocamento do cobrimento de concreto e oxidação de armadura. Em 60% dos casos encontrou-se rachaduras, mancha de fungo ou lodo devido a contato intermitente de água na estrutura. Dois terminais apresentaram ninhos de concretagem e um, eflorescência.

Tabela 1. Ocorrência das manifestações patológicas por terminal de integração e quantificação absoluta e percentual.

Manifestação patológica	Terminal					Ocorrência	
	T1	T2	T3	T4	T5	Absoluta	Percentual
Oxidação e corrosão de armadura	x		x	x	x	4	80%
Ninhos de concretagem	x		x			2	40%
Manchas de fungo/lodo	x	x			x	3	60%
Eflorescência		x				1	20%
Empoçamento de água em pano de laje	x		x	x	x	4	80%
Desplacamento de concreto	x		x	x	x	4	80%
Avaria por choque mecânico	x		x	x	x	4	80%
Trincas	x	x	x	x	x	5	100%
Rachadura	x		x		x	3	60%

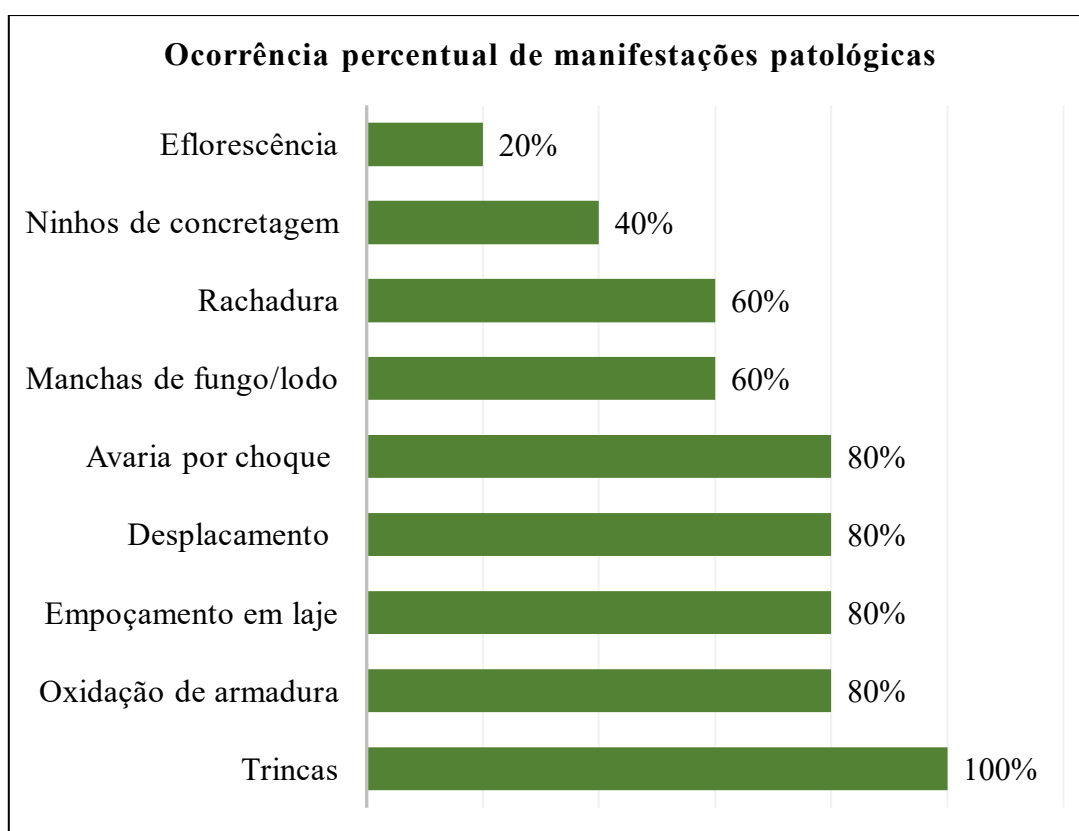


Figura 3. Ocorrência percentual das manifestações patológicas.

4.1 Oxidação e corrosão de armadura e ninhos de concretagem

O T2 foi o único terminal onde não se encontrou casos de armadura exposta e, por consequência disso, também foi o único sem casos de oxidação de armadura. Leva-se em conta o fato de este, à época da realização do estudo em campo, ser o terminal de integração com estrutura mais nova de Manaus (reforma inaugurada em 2016). Dos demais terminais, todos apresentaram casos de oxidação de armaduras expostas (Figura 4-A), em maior ou menor grau. Chamou a atenção o fato de que as bases dos pilares são os locais com maior ocorrência de armaduras expostas, principalmente nos Terminais 3, 4 e 5. No T4, em particular, despertou curiosidade um pilar da passarela, que apresentava armadura exposta em sua base com aproximadamente um metro de

altura (Figura 4-B). Funcionários relataram que aquele local é frequentemente utilizado por motoristas de ônibus como mictório. O contato da urina com o concreto acelera o processo de deterioração, o que explica o agravamento do problema. Pode-se supor também que boa parte dos demais problemas semelhantes estejam relacionados ao mesmo agravante, pois verificou-se a presença de cachorros usando os pilares para o mesmo fim. Além disso, foram encontrados também assentos de concreto com armaduras expostas e concreto deslocado (Figura 4-C).

Os Terminais 1 e 3 apresentaram casos de ninho de concretagem (Figura 4-D), que, apesar de serem falhas de execução comprometedoras da estética estrutural, podem ter seus efeitos contornados pela rápida ação de tratamento, já que existem de forma localizada e em pequenas quantidades em relação ao elemento estrutural e ao tamanho total das edificações.



Figura 4. A: No T4, base de pilar com armadura exposta em estágio avançado de oxidação; B: No T4, base de pilar de passarela com armadura exposta em alto grau de corrosão; C: Base de assento de concreto deslocada e com armadura exposta no T4; D: Viga no T3 apresentando ninhos de concretagem gerados na execução do elemento estrutural.

4.2 Manifestações patológicas relacionadas à presença de água

Todos os terminais apresentaram problemas relacionados à presença de água. Diz o dito popular que “água mole em pedra dura, tanto bate até que fura”. A frase serve para destacar que o cuidado com as manifestações patológicas geradas pela presença indevida de água deve ser de especial importância, pois é comum que a falta de tratamento leve a problemas mais graves, que se acumulam ao longo do tempo.

Foi constatado empoçamento de laje (Figura 5-A) em quatro dos cinco terminais, ou, observando de outro ângulo, na totalidade das possibilidades, já que o único a não apresentar esse problema, o T2, tem salas internas com paredes em alvenaria e lajes de cobertura, protegidas de água de chuva pela cobertura metálica. O empoçamento favorece a infiltração porque a água presente nele entra nos poros do concreto e pode promover o fenômeno de eflorescência. Apesar disso, o T2 foi o

único a apresentar eflorescência, ainda em estágio inicial (Figura 5-B/C), em parede de alvenaria da plataforma no sentido bairro, cuja face externa não possui acabamento de argamassa. Em três casos foi constatada presença de manchas de fungo e/ou lodo, ocasionados por infiltração e água intermitente combinadas. Há casos também em que isso ocorre em pontos abaixo de onde há falha na cobertura da edificação e abaixo de tubulações avariadas (Figura 5-D).



Figura 5. A: Ponto de empoçamento na laje do mezanino do T1; B: Eflorescência na parede do T2 (1/2); C: Eflorescência na parede do T2 (2/2); D: Pilar de concreto com formação de lodo abaixo de tubulação avariada no T5.

4.3 Deslocamento de concreto, trincas, rachaduras e avarias por choque mecânico

Há três fenômenos que notadamente ocorrem em todos os terminais e viabilizam problemas no concreto: vibração por conta do fluxo de veículos pesados, carbonatação pela presença massiva de emissores de gás carbônico em um único local e choques mecânicos acidentais ou intencionais por vandalismo. Considerando essas condições a que estão expostas as edificações, as anomalias encontradas condizem com os fenômenos que as precedem. Rachaduras foram vistas em três dos cinco casos, aparentemente causadas por sobrecarga estrutural (Figura 6-A). Quatro terminais apresentaram elementos estruturais com deslocamento de camadas de concreto, sendo que os casos do T3, T4 e T5 isso acontece majoritariamente nas bases de pilares (Figura 6-B/C). Pode-se adicionar aqui também a presença de urina humana e de animais como agravante, segundo o que já foi comentado em 4.1. No T1, esse deslocamento foi verificado na superfície inferior da laje do mezanino. Os mesmos quatro terminais também apresentaram avarias por choque mecânico (Figura 6-D), que podem ocorrer de forma acidental ou intencional por vandalismo.

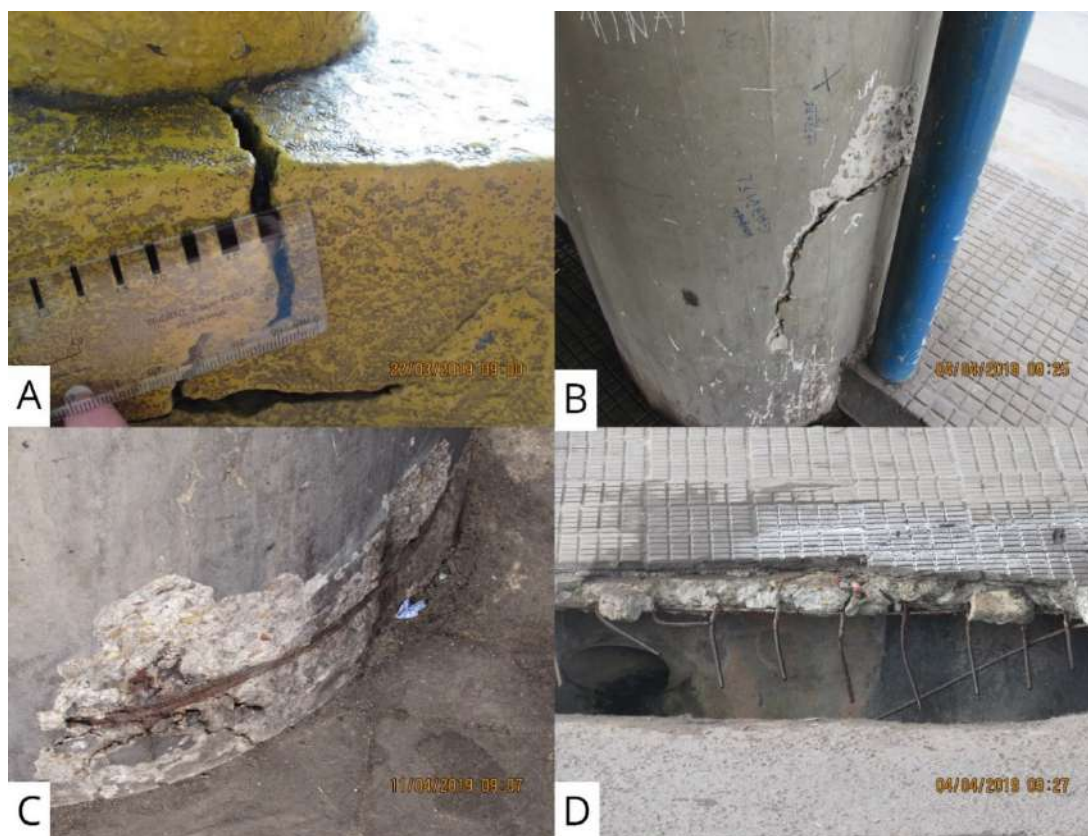


Figura 6. A: Rachadura em base de pilar do T1; B: Desplacamento de concreto em base de pilar no T3; C: Desplacamento de concreto em base de pilar no T4; D: Estrutura do sistema de drenagem pluvial avariada por choque mecânico no T3.

4.4 Classificação das anomalias quanto ao grau de risco e tratamento

As manifestações patológicas tiveram seu risco avaliado e classificado (Tabela 2) conforme a Norma de Inspeção Predial Nacional (IBAPE, 2012), em Crítico (1), com recomendação de intervenção e tratamento imediato por comprometer a segurança e a saúde das pessoas e do meio ambiente; Médio (2), podendo a intervenção ser programada a curto prazo pelo fato de o dano comprometer o a funcionalidade e desempenho da edificação, mas sem prejudicar a operação de sistemas; Mínimo (3), podendo a intervenção ser feita a médio prazo pelo fato de os danos estarem mais relacionados à estética que à funcionalidade da edificação.

Tabela 2. Classificação das manifestações patológicas encontradas quanto ao grau de risco.

Manifestação patológica	Terminal				
	T1	T2	T3	T4	T5
Oxidação e corrosão de armadura	2	0	2	1	2
Ninhos de concretagem	2	0	2	0	0
Manchas de fungo/lodo	3	2	0	0	2
Eflorescência	0	2	0	0	0
Empoçamento de água em pano de laje	1	0	2	2	2
Desplacamento de concreto	3	0	2	1	2
Avaria por choque mecânico	3	0	3	3	3
Trincas	3	3	3	3	3
Rachadura	2	0	2	0	2

Na análise do estado geral de conservação, pode-se dizer que os terminais de integração apresentam risco médio, porque as anomalias predominantemente encontradas não comprometem a operação dos sistemas, mas o fazem com a funcionalidade e desempenho. Os terminais 2, 3 e 5 são os que melhor se enquadram nessa classificação, já que os problemas encontrados variam de grau médio a mínimo, observando-se o T2 como o que apresentou menor variedade de manifestações patológicas. O T1 e o T4 apresentaram situações isoladas de risco crítico, com possibilidade danos à operação dos sistemas e à segurança e à saúde dos usuários, especialmente em se falando de deslocamento de camadas de concreto associada a oxidação e corrosão de armadura. Logo, sugere-se a seguinte ordem de intervenção: T4, T1, T3, T5, T2.

Para oxidação e corrosão de armadura, recomenda-se a recuperação utilizando a metodologia proposta por Helene (1986), com aplicação de anticorrosivo para prevenir novas ocorrências. Para os ninhos de concretagem decorrentes de falhas executivas e deslocamento de concreto devido à carbonatação, o preenchimento com graute é uma boa alternativa para manter uniformidade em relação à estrutura e recuperar a camada passivadora das armaduras expostas. Para os casos de manchas de fungo, lodo e eflorescência decorrentes de infiltrações, além da limpeza local com hipoclorito, impermeabilização e aplicação de argamassa nas paredes externas, uma solução interessante é a correção das infiltrações por meio da injeção de líquido elástico polivinílico. Nas regiões de empoçamento sobre pano de laje, é necessário fazer o nivelamento do piso, mantendo inclinação razoável, de modo a garantir escoamento da água. No caso de trincas e fissuras passivas decorrentes de vibrações, a aplicação de selante devolve a harmonia visual. As rachaduras, no entanto, devem continuar a ser monitoradas, a fim de avaliar seu desenvolvimento ao longo do tempo e impacto na segurança estrutural.

5. CONCLUSÕES

Verificou-se que as manifestações patológicas em estruturas de concreto encontradas têm efeito negativo sobre a ergonomia ambiental dos terminais de integração de Manaus, impactando a experiência do usuário de transporte coletivo.

Dentre as manifestações patológicas encontradas, destacam-se as trincas, deslocamento de concreto e corrosão de armaduras em vigas e pilares. Estes problemas são causados pela qualidade dos materiais utilizados na execução das obras e agravados pelas condições a que são expostos durante sua utilização, o que significa, nos casos verificados, presença eventual de urina humana e animal nos locais, alta concentração de gás carbônico (CO₂) emitido pelos motores dos ônibus, que favorece a carbonatação do concreto, vibração por longos períodos de tempo, devido à massiva circulação de veículos pesados. Há também de se destacar a presença de empoçamento de lajes em quase todos os casos, causados por drenagem inadequada ou ausente, que pode gerar infiltrações; e avarias por choque mecânico, especialmente causadas por atos de vandalismo.

Em mais de uma ocasião, permissionários reclamaram sobre anomalias estruturais visíveis em alguns elementos e como isso afeta sua rotina de trabalho, especialmente quando em ocasiões de chuva produtos são molhados e o espaço de circulação é limitado por conta de alguma falha de projeto ou executiva que favorece a entrada de água na parte interna da edificação. Além disso, usuários também comentaram o fato de alguns assentos de concreto estarem danificados e com armaduras expostas, diminuindo o conforto no espaço de espera pelo ônibus. Outro ponto negativo comum a todos os terminais de ônibus é o estado de conservação dos banheiros, que apresentam significativos problemas causados pela depredação de tetos, vasos sanitários e divisórias, agravados por empoçamento do piso da laje. Desta forma, recomendou-se que fosse programada manutenção, baseando-se no grau de risco das manifestações patológicas apresentados na Tabela 2, seguindo o proposto no subitem 4.4 deste trabalho.

Os resultados deste estudo foram entregues à Secretaria Municipal de Infraestrutura em junho de 2019. Em outubro de 2019, o relatório final da pesquisa foi apresentado, como atividade obrigatória do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e sem gerar publicação de resumo ou artigo em anais, no Congresso de Iniciação Científica (XXVIII CONIC-UFAM), evento interno da Universidade Federal do Amazonas. Em maio de 2020 foram anunciadas obras para a estrutura viária da cidade de Manaus. Entre elas, destaca-se a demolição do Terminal 1 para construção de um novo, com arquitetura modificada e adequações ergonômicas. O novo T1 foi entregue aos cidadãos manauaras em 17 de maio de 2021. Nesse meio tempo, os demais terminais de ônibus também receberam obras de reparo em alguns dos locais de atenção apontados neste trabalho.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria Municipal de Infraestrutura de Manaus pelo apoio prestado durante as visitas técnicas e consulta aos projetos, também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsas, e à Universidade Federal do Amazonas pelo incentivo às atividades de pesquisa por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica.

7. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.

BARBOSA FILHA, L. D. et al. (2016). “*Metodologia para a recuperação de pilares submetidos à carbonatação: apresentação de caso de um prédio residencial multifamiliar de térreo em pilotis de Manaus/AM*” in: B. Tutikian et. al. (org.), *Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções CBPAT 2016. 6ª conferência sobre patologia e reabilitação de edifícios*, Belém: PA.

BOLINA, F. L. et. al. (2019), “*Patologia de estruturas*”. Oficina de Textos, São Paulo: SP.

BRASIL. Constituição (1988), “*Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*”. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 10 ago. 2021.

Empresa Municipal de Transportes Urbanos (2012), “*Planta Baixa – Terminal 1*”. Prefeitura de Manaus, Manaus: AM.

Google Maps (2021), “*Mapa da cidade de Manaus*”. Disponível em: <maps.google.com>. Acesso em 31 de maio de 2021.

HELENE, P. R. L. (1986), “*Corrosão em armaduras para concreto armado*”. Pini, São Paulo:SP.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, (2012), “*Norma De Inspeção Predial Nacional*”. Ibape, São Paulo: SP. Disponível em: <<http://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/12/Norma-de-Inspe%C3%A7%C3%A3o-Predial-IBAPE-Nacional.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

Instituto Nacional de Meteorologia, “*Gráficos climatológicos*”. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

JUNIOR, I. G. S.; RANGEL, T. L. V. (2017), “*O direito social ao transporte: mobilidade urbana e meio de promoção de direitos fundamentais*”. *Âmbito Jurídico*. Rio Grande, Ano 20, n. 163. Disponível em: <<https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-constitucional/o-direito-social-ao-transporte-mobilidade-urbana-e-meio-de-promocao-de-direitos-fundamentais/>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

LEITE, C. E.; LOPES, G. S.; BARREIRO, J. H. L. C. D. (2015), “*A influência do transporte na qualidade de vida e motivação no trabalho*”. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 11., 2015, Rio de Janeiro. Anais. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro: RJ. Disponível em: <<http://www.inovarse.org/node/4089>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

MANAUS. Superintendência Municipal de Transportes Urbanos (2018), “*O que é Integração Temporal*”. Disponível em: <<https://immutransporte.manaus.am.gov.br/o-que-e-integracao-temporal/>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

NASTA, A. P. S. (2014), “*Design, ergonomia e sustentabilidade ambiental em sistemas de abrigos de ônibus em Belo Horizonte*”. 185 f. Tese (Mestrado) - Curso de Mestrado em Design, Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte:MG. Disponível em: <http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2014/12/Disserta%C3%A7%C3%A3o_AnaPaulaNasta.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

“*Passageiros criticam situação de banheiros em terminais de ônibus em Manaus*”. Produção de Samira Benoliel (2018). Manaus: Rede Amazônica. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/6594845/>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

PAULETTI, C. (2009), “*Estimativa da carbonatação natural de materiais cimentícios a partir de ensaios acelerados e de modelos de predição*”. 285 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: RS. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30120/000778056.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

POGGIALI, F. S. J. (2009), “*Durabilidade de estruturas de concreto em usinas siderúrgicas*”. 81 f. Monografia (Especialização) – Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: MG.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, V. (1998), “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto armado*”. Pini, São Paulo:SP.

UEMOTO, K. L. (1988), “*Patologia: danos causados por eflorescência*”. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Org.). Tecnologia de Edificações. Pini, São Paulo: SP.

VIEIRA, M. A. (2016), “*Patologias Construtivas: Conceito, Origens e Método de Tratamento*”. Especialize, v. 01/2016, n. 12, p. 1-15, Goiânia: GO. Mensal. ISSN 2179-5568.

9Aplicação do método de gravidade, urgência e tendência (GUT) no levantamento de manifestações patológicas: estudo de caso no edifício Duque de Caxias.

P. R. A. R. Santos^{1*}, A. M. A. da Silva¹, L. L. B. da Silva¹, M. S. de Almada¹, C. Vidrih Ferreira²

*Autor de Contacto: pauloricardo.ars@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, UniFacema, Caxias, Maranhão, Brasil.

² Instituto Vidrih, Bauru, São Paulo, Brasil.

RESUMO

Os edifícios ou monumentos históricos possuem valor inestimável além da transcendência artística, cultural, religiosa, documental ou estética para a sociedade. Por se tratar de construções, estas estruturas estão sujeitas a muitas situações de degradação. Inserida nesse contexto, na cidade de Caxias – Maranhão, o Edifício Duque de Caxias, foi aplicado a Matriz de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) para avaliar o grau de risco das manifestações patológicas através de suas respectivas gravidades. Os resultados apontam uma lista de prioridades em ordem crescente, para as devidas prioridades em relação as manifestações patológicas de acordo com seu risco, demonstrando assim, que a Matriz GUT é uma ferramenta extremamente eficaz no auxílio à priorização da resolução de problemas patológicos nas construções.

Palavras-chave: Método GUT; Patrimônio Histórico; Edifício Duque de Caxias.

Application of the gravity, urgency and tendency (GUT) method in the survey of pathological manifestations: a case study in the Duque de Caxias building.

ABSTRACT

Historical buildings or monuments are invaluable in addition to artistic, cultural, religious, documentary or aesthetic transcendence for society. As well as because they are constructions, these structures are subject to many degradation situations. Inserted in this context, in the city of Caxias - Maranhão, the Duque de Caxias Building, the Gravity, Urgency and Trend Matrix (GUT) was applied to assess the degree of risk of pathological manifestations through their respective severities. The results point to a list of priorities in ascending order, for the proper priorities in relation to pathological manifestations according to their risk, thus demonstrating that the GUT Matrix is an extremely effective tool in helping to prioritize the resolution of pathological problems in constructions.

Keywords: GUT method; Historical Heritage; Duque de Caxias Building.

Aplicación del método de gravedad, urgencia y tendencia (GUT) en el levantamiento de manifestaciones patológicas: estudio de caso en el edificio Duque de Caxias.

RESUMEN

Los edificios o monumentos históricos tienen un valor incalculable además de la trascendencia artística, cultural, religiosa, documental o estética para la sociedad. Además de ser construcciones, estas estructuras están sujetas a muchas situaciones de degradación. Insertado en este contexto, en la ciudad de Caxias - Maranhão, el Edificio Duque de Caxias, se aplicó la Matriz de Gravedad, Urgencia y Tendencia (GUT) para evaluar el grado de riesgo de manifestaciones patológicas a través de sus respectivas severidades. Los resultados apuntan a una lista de prioridades en orden ascendente, para las prioridades adecuadas en relación a las manifestaciones patológicas según su riesgo, demostrando así que la Matriz GUT es una herramienta sumamente eficaz para ayudar a priorizar la resolución de problemas patológicos en edificios.

Palabras clave: método GUT; Patrimonio Histórico; Edificio Duque de Caxias.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade que, desde os primórdios da humanidade, se manifesta como um processo de satisfazer a necessidade do ser humano. Dessa forma, construir tornou-se uma ação de realização e ao mesmo tempo de progresso para a sociedade. Essas construções foram sendo modificadas ao longo dos anos, evoluindo de edificações com estruturas robustas para estruturas cada vez mais esbeltas a partir dos avanços tecnológicos e da engenharia.

Nessa perspectiva, observa-se que os prédios históricos foram construídos a partir de uma visão mais robusta, onde as paredes possuíam dimensões duas ou até três vezes maiores em sua largura que nos dias atuais.

No entanto, no decorrer dos anos, com o desgaste natural da estrutura, tornou-se necessário analisar a vulnerabilidade estrutural e o estado de conservação, do prédio histórico aqui estudado, como ferramenta de apoio à tomada de ações em relação à segurança estrutural dessa edificação, a fim de preservar o patrimônio edificado para as gerações posteriores.

Diante da não realização de manutenções nos edifícios históricos, pretendeu-se com esta pesquisa, elencar os problemas patológicos mais comuns no edifício Duque de Caxias por meio da análise das manifestações patológicas contribuindo com informações que levem a um panorama do estado de conservação dessa edificação histórica além de estabelecer uma ordem de priorização de intervenção através do método GUT.

1.1. Patrimônio Histórico

O conceito de patrimônio cultural de um povo envolve as obras tanto de artistas, como, arquitetos, músicos, escritores e sábios, assim como as criações anônimas surgidas da alma popular e o conjunto de valores que dão sentido à vida.

Outro conceito importante é que a preservação do patrimônio “têm por objetivo fazer com que os bens sejam usufruídos no presente e transmitidos ao futuro da melhor maneira possível (KÜHL, 2008). A forma de se preservar o patrimônio cultural é mediante um conjunto de ações que garantam a sua permanência com os seus diversos valores e significados artísticos, paisagísticos, científicos, históricos e/ou simbólicos na vida de uma comunidade de um determinado lugar (BESSA, 2004).

A Constituição Federal Brasileira, no artigo 216, no primeiro e segundo parágrafo, afirma que o poder Público, com a colaboração da comunidade, deve promover e proteger o patrimônio cultural brasileiro, por meio de inventários, registros, vigilância, tombamento e desapropriação, e de outras formas de acautelamento e preservação.

Essas medidas tomadas pelo Governo Federal por meio da legalização que regulamenta a conservação do Patrimônio Cultural do Brasil, outro importante meio de resguardar os bens é através da educação patrimonial, que se baseia numa ação educativa que visa difundir o conhecimento sobre o patrimônio em conjunto com a comunidade, a fim de fomentar sua valorização e preservação.

Porém, mesmo com toda essa legalização que promove e protege o patrimônio histórico, muitos desses prédios históricos encontram-se com presença de manifestações patológicas e é necessário que haja um estudo específico apontando os tipos, causas e possíveis soluções para o tratamento das anomalias presentes na edificação e além disso a preservação do patrimônio histórico e o resgate da história, pois traz a memória o sentido pertencimento de uma cidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local do estudo

A cidade onde foi desenvolvida a pesquisa foi Caxias-MA, a quinta mais populosa cidade do estado com população de 164.880 habitantes, área de 5.150, 667km², o que a torna a terceira maior cidade do Maranhão. (IBGE, 2019).

A edificação em análise foi Edifício Duque de Caxias que se trata de um patrimônio histórico não tombado localizado na Praça Gonçalves Dias na cidade de Caxias-MA. O edifício trata-se de um casarão em estilo colonial, construído por volta do século XIX, o qual, segundo historiadores, teria sido onde o até então coronel Luiz Alves de Lima e Silva ficou hospedado e leu a ata de pacificação da Guerra da Balaiada. Assim, o prédio possui grande relevância histórica para a cidade. As Figuras 1 e 2 mostram a localização e a fachada do Edifício Duque de Caxias, respectivamente.



Figura 1. Imagem via satélite do Edifício Duque de Caxias. (Google Earth, 2021).



Figura 2. Fachada do Edifício Duque de Caxias da cidade de Caxias–MA (Autor, 2021).

2.2. Tipo e abordagem da pesquisa

O presente trabalho realizou um estudo preliminar quantitativo e qualitativo, utilizando o método GUT, fazendo análise dos tipos de patologias encontradas no local e coletados durante o estudo de caso, propondo métodos para possíveis intervenções e resoluções de problemas para cada caso específico.

2.3. Forma de obtenção dos dados

2.3.1. Método GUT

O Método GUT tem por objetivo responder perguntas como: O que fazer primeiro? Ou por onde começar? Meireles (2001) afirma que a finalidade de responder esse tipo de pergunta é a tomada de decisão após ser analisada a proporção dos danos. Os danos serão analisados dentro de três aspectos principais que serão Gravidade, Urgência e Tendência.

O método GUT aplicado a inspeção predial possui notas que variam em escala decrescente: nota 5 para os maiores valores e 1 para os menores valores. Ao final da atribuição de notas para os problemas, seguindo os aspectos GUT, faz-se necessário produzir um número que será o resultado de toda a análise e que definirá qual o grau de prioridade daquele problema (VERZOLA et al. 2014). O cálculo é realizado conforme a eq.1 (KEPNER; TREGOE, 1991):

$$P = G \times U \times T \quad (1)$$

Após definir e listar os problemas e dar uma nota à cada um deles, é necessário somar os valores de cada um dos aspectos: Gravidade (G), Urgência(U) e Tendência(T), para então obtermos aqueles problemas que serão nossas prioridades.

O método GUT aplicado a inspeção predial fica como o demonstrado na Tabela 1:

VALOR	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
1	Nenhum risco à saúde, à integridade física dos usuários, ao meio ambiente ou ao edifício. Mínima depreciação do patrimônio. Eventuais trocas de componentes, nenhum comprometimento do valor imobiliário.	Não tem pressa	Não vai piorar

2	Sem risco à integridade física dos usuários, sem risco ao meio ambiente, pequenos incômodos estéticos ou de utilização, pequenas substituições de componentes ou sistemas, reparos de manutenção planejada para recuperação ou prolongamento de vida útil. Prejuízo financeiro pequeno.	Pode esperar um pouco	Vai piorar a longo prazo
3	Risco à saúde dos usuários, desconfortos na utilização dos sistemas, deterioração passível de restauração/reparo, podendo provocar perda de funcionalidade com prejuízo à operação direta de sistemas ou componentes. Danos ao meio ambiente passíveis de reparo. Prejuízo financeiro médio.	O mais cedo possível	Vai piorar a médio prazo
4	Risco de ferimentos aos usuários, danos reversíveis ao meio ambiente ou ao edifício. Impacto recuperável com o comprometimento parcial do desempenho e funcionalidade (vida útil) do sistema que afeta parcialmente a saúde dos usuários ou o meio ambiente. Prejuízo financeiro alto	Urgente	Vai piorar em Pouco tempo
5	Risco de morte, risco de desabamento/colapso pontual ou generalizado, iminência de Incêndio, impacto irrecuperável com perda excessiva do desempenho e funcionalidade, comprometimento irrecuperável da vida útil do sistema causando danos grave à saúde dos usuários ou ao meio ambiente. Prejuízo financeiro muito alto.	Ação imediata	Vai piorar rapidamente

Tabela 1. O método GUT aplicado a inspeção predial (Adaptado de Verzola *et al.*,2014).

2.4 Equipamentos utilizados

Para se obter dados que quantificaram a pesquisa, se faz necessária a utilização de alguns equipamentos básicos que auxiliem neste processo. Para efetuar o levantamento desses dados foram utilizados:

- 01 Câmera fotográfica;
- 01 Trena;
- 01 Prancheta;
- 01 Régua e escalímetro;
- 02 Canetas esferográficas.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados a seguir foram agrupados de acordo com as manifestações patológicas encontradas, como: descascamento de pintura; deslocamento; fissura, trinca e rachadura; mofo, bolor e fungos; das instalações hidrossanitária e elétrica e corrosão.

A Tabela 2 apresenta o resultado do levantamento realizado, que fora possível encontrar anomalias em 189 pontos distintos. Na mesma tabela também é apresentada a quantidade de cada manifestação patológica assim como sua porcentagem. A contagem foi realizada através de inspeção visual.

TIPO	QUANTIDADE	PORCENTAGEM
Descascamento da pintura	37	19.58%
Deslocamento	45	23.81%
Fissuras, trincas e rachaduras	23	12.17%
Mofo, bolor e fungos	13	6.88%
Hidrossanitária	8	4,23%
Corrosão	24	12,70%
Elétrica	18	9,52%
Infiltração	21	11,11%
Total	189	100%

Tabela 2. Frequência por tipo de manifestação patológica (Autor, 2021).

Desta forma, é possível observar que as manifestações que apareceram com mais frequência na edificação estudada foram o descascamento da pintura, e com destaque também para: deslocamento, corrosão, fissuras, trincas e rachaduras.

A seguir serão expostos os registros fotográficos realizados durante o levantamento, apresentando os variados tipos de manifestações patológicas encontradas.

3.1 Deslocamento

No revestimento cerâmico e no piso do Edifício Duque de Caxias foram encontradas a maioria das manifestações patológicas, o deslocamento foi identificado em 45 locais diferentes como no revestimento cerâmico do piso, na fachada e alvenaria, ocupando assim a primeira posição, correspondendo a 23,81%. A Figura 3 retrata essa situação.



Figura 3. Deslocamento de: emboço em alvenaria (A), emboço em revestimento cerâmico da escada (B), revestimento cerâmico do piso (C) (Autor, 2021).

De acordo com Bauer (1994), as placas do revestimento de argamassa que se deslocam englobam geralmente o reboco e o emboço e a ruptura ocorrem na ligação entre essas camadas e a base. Segundo a Comunidade da Construção esses destacamentos ocorrem pela perda de aderência das placas cerâmicas do substrato, ou da argamassa colante, quando as tensões ultrapassam a capacidade de aderência das ligações entre a placa cerâmica e argamassa colante e/ou emboço. Ou seja, neste caso esse determinado tipo de patologia pode ter ocorrido por uma falha na execução do assentamento das placas cerâmicas e ainda pode ser citado o emboço com pouca resistência além de material pulverulento entre as camadas o que gera a minoração da aderência entre as mesmas.

3.2 Descascamento de pintura

Logo em seguida, aparece o descascamento de pintura que pode ser identificado em 37 pontos diferentes da edificação, principalmente nas alvenarias internas além de fachada e sacada, correspondendo a um total de 19,51%. As patologias foram identificadas na alvenaria, sacada e portais das portas. A Figura 4 mostra essas situações.



Figura 4. Descascamento em: (A) e (C) Portais das portas e (B) Sacada (Autor, 2021).

Segundo Lima Júnior (2017), esse tipo de manifestação patológica é caracterizado pela destruição da pintura, que pode ser esfregar e se destacar da superfície juntamente com partes do reboco. Além disso, o tempo em que a pintura foi feita sem passar por nenhum tipo de manutenção.

3.3 Corrosão

Adiante, aparece a corrosão foi identificado em 24 locais diferentes, correspondendo a 12,70%. As anomalias foram detectadas no piso da escada, guarda-corpo e no pilar apresentam esse tipo de anomalia. A Figura 5 demonstra a situação.



Figura 5. Corrosão em: (A) Piso da escada e (B) Pilar e (C) Guarda-corpo (Autor, 2021).

Zuthechi (2015) afirma que dentre os principais agentes que causam este tipo de patologia, se pode destacar a falta de qualidade das matérias primas utilizadas na execução, além de não haver o controle na produção do concreto. Além disso Thomaz (1989) acrescenta que as reações de corrosão, independentemente de sua natureza, produzem óxido de ferro, cujo volume é muitas vezes maior do que o original do metal. Essa expansão provoca o fissuramento e o deslocamento do concreto nas regiões próximas às armaduras. Em outros elementos metálicos a exposição excessiva ao sol bem como a umidade, agentes agressivos, tempo, e os demais possivelmente geram esse tipo de patologia.

3.4 Infiltração

Em seguida aparece na edificação a parte infiltração em 21 locais distintos, principalmente na fachada, correspondendo a 11,11%. As patologias referentes a infiltração aparecem na alvenaria da fachada a Figura 6 demonstra a situação.



Figura 6. Infiltração em: (A) Alvenaria da Fachada (Autor, 2019).

Segundo Nappi (1995) muitas vezes, apenas a observação visual poderá acarretar incertezas sobre a patologia, devido ao fato de vários destes sintomas não serem específicos de um dado tipo de infiltração. Pode-se afirmar que a umidade em uma edificação se manifesta de várias formas diferentes, dentre as quais podem se destacar: a umidade por capilaridade, umidade de precipitação dentre outros tipos.

Ferreira (2010) destaca que um dos maiores problemas na durabilidade dos edifícios é a umidade podendo ela ser interna ou externa. A absorção e a penetração da água da chuva nas edificações estão associadas não só à ação da chuva, mais também da combinação desta com o vento.

3.5 Elétrica

Logo depois, se destaca a parte elétrica que aparece em 18 locais diferentes, correspondendo a 9,52% das patologias. A Figura 7 demonstra a situação.



Figura 7. Deterioração em: (A) Fiação elétrica (B) Tomada (C) Caixa de distribuição. e (D) Fiação telefônica (Autor, 2021).

Segundo Nascimento (2014), procurando economizar na etapa da execução do projeto elétrico, as construtoras tem desfeito de um profissional qualificado para ter o controle da execução das instalações elétricas, sendo o caso da emenda de fiações elétricas. Pelo estado observado, além desses fatores a falta de manutenção contribui ainda mais para o estado degradado das instalações.

3.6 Fissuras, trincas e rachaduras

Adiante, aparecem as fissuras, trincas e rachaduras que foram identificadas em 23 locais diferentes, correspondendo a 12,17% das anomalias. Sendo que as mesmas aparecem na alvenaria interna e fachada, a Figura 8 demonstra a situação.



Figura 8. Fissuras, trincas e rachaduras em: (A) Alvenaria interna e (B) e (C) Alvenaria da fachada (Autor, 2021).

Thomaz (1989), destaca que dentre os vários problemas que podem revelar-se na edificação o mais importante é o problema das fissuras e trincas, devido a três aspectos: o aviso de um possível estado de perigo para a estrutura, o comprometimento do desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica, dentre outros) e o constrangimento psicológico que a fissuração transmite sobre os seus usuários.

Bauer (1994) afirma que, as fissuras ocorrem devidos a fatores relativos à execução do revestimento argamassado, solicitações causadas pelas ações da umidade e da temperatura (tração e retração), e principalmente por retração hidráulica da argamassa.

Observando o que foi dito nesse caso esse tipo de patologia deve ter se ocasionado pela ação da temperatura e da umidade pois todas essas fissuras ocorrem no emboço.

3.7 Mofo, bolor e fungos

Em penúltimo lugar aparece mofo, bolor e fungos que foi identificado em 13 locais diferentes, podendo ser destacado na alvenaria interna, na sacada e nos portais das portas correspondendo a 6,88%. Alvenaria da sacada, alvenaria interna e a sacada, a Figura 9 demonstra a situação.



Figura 9. Bolor e fungo em: (A) Bolor em alvenaria, (B) Fungo e (C) Bolor na sacada (Autor, 2021).

Shirakawa et al (2009) justifica que, a umidade elevada no material favorece o crescimento de fungos, uma vez que eles crescem em diferentes faixas de temperatura, necessitam de diferentes teores de umidade nos materiais. Ainda segundo os autores, a umidade do ambiente pode favorecer o aumento de umidade do material, mas somente a água absorvida por este pode ser utilizada para o desenvolvimento dos fungos.

O desenvolvimento de fungos em revestimentos, internos ou de fachada, causam o aparecimento de manchas escuras na superfície com o favorecimento da deterioração de argamassas de revestimentos e pinturas, como ilustrado na Figura 26. Além do prejuízo estético, o maior problema associado ao crescimento de fungos em ambientes internos é o desenvolvimento de alergias em indivíduos atópicos que frequentam estes ambientes (SHIRAKAWA et al, 1995).

3.8 Hidrossanitária

Em último lugar aparece a parte hidrossanitária que foi identificada em 9 pontos diferentes, correspondendo a 4,23%. As patologias aparecem no vaso sanitário bem como nas tubulações do vaso sanitário e chuveiro. A Figura 10 mostra esta situação.



Figura 10: Na parte hidrossanitária em: (A) vaso sanitário, (B) Tubulação do Vaso sanitário e (C) Tubulação de chuveiro (Autor, 2021).

Esse determinado tipo de anomalia na parte hidrossanitária acontece pela degradação nas instalações e falta de manutenções nas mesmas. Além do mais Amorim (1989) ressalta que, depois de colocada em uso uma edificação, os sistemas prediais hidráulicos e sanitários entram em equilíbrio com os seus usuários, sendo um dos subsistemas do edifício que com eles mais se relaciona, razão pela qual o seu mau funcionamento costuma causar-lhes problemas sérios ao bem estar físico e psicológico. Esta é a etapa onde menos pesquisas acontecem, mas cujos dados são de fundamental utilidade para a melhoria da qualidade (AMORIM e FUGAZZA, 1997).

Através da Tabela 3 apresentada anteriormente, foram classificadas as manifestações patológicas identificadas no estudo de caso de acordo com as variáveis do método GUT. Os produtos obtidos através da aplicação do método expressam a análise da problemática de cada manifestação, resultando na seguinte ordem de priorização, de acordo com a Tabela 3.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	G.	U.	T.	G.U.T.	GRAU DE PRIORIDADE
Descascamento de pintura	2	2	3	12	5°
Desplacamento (piso cerâmico e emboço)	3	2	3	18	4°
Fissuras, trincas e rachaduras	2	3	4	24	3°
Mofa, bolor e fungos	2	2	2	8	6°
Hidrossanitária	3	2	2	12	5°
Corrosão	3	3	4	36	1°
Elétrica	3	3	3	27	2°
Infiltração	2	3	3	18	4°

Tabela 3. Matriz de Aplicação pelo método G.U.T. (Autor, 2021).

Os resultados obtidos após aplicação do método de forma a esclarecer, foram dispostos na Tabela 4 de forma crescente o grau de prioridade em suas resoluções, juntando as manifestações que apresentam a mesma pontuação final.

GRAU DE PRIORIZAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA
1°	Corrosão
2°	Elétrica
3°	Fissuras, trincas e rachaduras
4°	Infiltração
	Desplacamento
5°	Hidrossanitária
	Descascamento de Pintura
6°	Mofa, Bolor e fungos

Tabela 4. Disposição da prioridade para reparo das patologias existentes (Autor, 2021).

Em referência a aplicação do método GUT percebe-se que a corrosão, que na maioria das vezes são provocadas por causa da oxidação da armadura, estão próximas no grau de prioridade, fazendo com que o método tenha significância exata. Nota-se também que o deslocamento, mesmo aparecendo em maior quantidade, não é prioridade para ser solucionado tão logo.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho proporcionou identificar as principais manifestações patológicas presentes no Edifício Duque de Caxias em Caxias-MA, patrimônio histórico com cerca de 100 anos. As ocorrências que mais se destacaram foram: deslocamento com 23,81%, descascamento de pintura com 19,58%, fissuras, trincas e rachaduras com 12,70%, e mofo, bolor e fungos com 12,17%.

Diante de tudo que foi exposto, é notório que o principal motivo para a ocorrência de degradação em um prédio é o fator de manutenção, o que gera uma série de manifestações patológicas, como por outros, que estão ligados a construção e alterações no edifício realizadas no decorrer dos anos. É importante frisar que uma reforma do local se faz necessária, devido a condição para preservação e condições de uso, principalmente pela importância da história do local para a cidade de Caxias. No tocante, a aplicação do Método GUT se fez eficiente pelo fato da priorização realizada, guiar a realização de manutenção no edifício inspecionado, de acordo com as manifestações patológicas localizadas no topo da lista. Tendo em vista as observações feitas, a ferramenta GUT pôde ser aplicada como facilitadora no planejamento das atividades de manutenção da edificação com base nos resultados e na avaliação proposta.

Ademais, o presente trabalho pretende agregar para um plano de manutenção e além disso um plano de conservação das edificações, por meio da proposição de um método de inspeção predial, tomando como base as normas e instruções técnicas, e métodos presentes na bibliografia.

5. REFERÊNCIAS

AMORIM, S. V. *Instalações prediais hidráulico-sanitárias: desempenho e normalização*. São Carlos, 1989. 168 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1989.

AMORIM, S. V.; FUGAZZA, A. E. (colaborador). *Incidência de falhas em sistemas prediais: estudo de caso*. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, IV; CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE, VI, 21-24 out. 1997. Porto Alegre. Anais. 7 p.

BAUER, L. A. F. *Materiais de construção*. 5^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v.2.

BESSA, A. S. M. *Preservação do Patrimônio Cultural: nossas casas e cidades, uma herança para o futuro*. Belo Horizonte: Crea – MG, 2004.

FERREIRA, B. B. D. *Tipificação de patologias em revestimentos argamassados*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2010.

GOMIDE, T. L. F. NETO, J. C. P. F. GULLO, M. A. *Engenharia Diagnóstica em edificações*. PINI: São Paulo, 2009.

GOOGLE EARTH. *Edifício Duque de Caxias de Caxias-MA, Brasil*. Disponível em: <<https://earth.app.goo.gl/?apn=com.google.earth&isi=293622097&ius=googleearth&link=https%3a%2f%2fearth.google.com%2fweb%2f%40-4.86292038,-43.3610336,70.99411008a,107.7805189d,35y,-154.0920578h,23.80237102t,-0r%2fdata%3dChYaFAoML2cvMXEydzdkYnFjGAEgASgC>>. Acesso em: 07 de julho de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2019*.

KEPNER, C., & TREGOE, B. (1991). *O Novo Administrador Racional*. São Paulo: Makron Books.

KÜHL, Beatriz Mugayar. *Arquitetura do Ferro e Arquitetura Ferroviária em São Paulo*. São Paulo: Ateliê Editorial/Fapesp/Secretaria da Cultura, 1998.

- LIMA JÚNIOR, W. J. *Análise das manifestações patológicas comumente encontradas nos revestimentos da Universidade Federal de Alagoas, Campus do Sertão*. 2017. Trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia civil), UFAL, Delmiro Gouveia.
- MEIRELES, M. *Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas*. 1. ed. São Paulo: Art & Ciência, 2001.
- NAPPI, Sérgio C. B. *Umidade em paredes*. In: “Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil”. Anais. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 1995. v 4.
- NASCIMENTO, Rogério Edison. *Patologia das construções devido ao tempo de uso: ênfase em instalações*. Disponível em: Acesso em: 22 ago. 2019. Curitiba, 2014.
- SHIRAKAWA, M., A.; CINCOTTO, M. A.; GAMBALE, V. *Influência do crescimento de fungos na carbonatação de argamassas*. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VIII, In: Anais, ANTAC, Curitiba, 2009.
- THOMAZ, E. *Trincas em Edifícios – Causas, prevenção e recuperação*. São Paulo: Pini, 1989.
- VERZOLA, S. N.; MARCHIORI, F.F.; ARAGON, J.O. *Proposta de lista de verificação para inspeção predial x urgência das manutenções*. XV Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente Construído – ENTAC. Maceió, 2014.
- ZUCHETTI, P. A. B. *Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari/RS*. 2015. Trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia civil), UNIVATES, João Batista Gravina.

Utilização do método GUT para avaliação de manifestações patológicas em edificações escolares do Oeste do Rio Grande do Norte

R. Santos^{1*}, A. Queiroz¹, G. Albuquerque¹, C. Cruz²

*Autor de Contato: rodrigorodrigues9798@hotmail.com

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar, Brasil.

² Doutora em Física da Matéria Condensada e Docente da Universidade Potiguar, Brasil.

RESUMO

A incidência de manifestações patológicas em edificações então presentes nas mais diversas fases e tipos de construções. O objetivo desse artigo é analisar as principais manifestações patológicas em três edificações escolares do Oeste do Rio Grande do Norte, utilizando o método GUT para priorização dessas anomalias. Foi realizada uma revisão bibliográfica na literatura, visitas in loco com inspeção visual, registros fotográficos e, em seguida, foram analisados os dados quantitativos através da metodologia da matriz GUT - Gravidade, Urgência e Tendência. Verificou-se a presença de diversas manifestações patológicas nos objetos em estudo. Concluiu-se também que utilização da ferramenta matriz GUT foi satisfatória no auxílio à tomada de decisão quanto às atividades de manutenção e recuperação.

Palavras chave: Manifestações patológicas, métodos de avaliação, recuperação, GUT.

ABSTRACT

The incidence of pathological manifestations in buildings then present in the most

diverse phases and types of constructions. The objective of this article is to analyze the main pathological manifestations in three school buildings in the west of Rio Grande do Norte State, using the GUT method to prioritize these anomalies. It was performed a literature review, site visits with visual inspection, photographic records and then the quantitative data were analyzed through the GUT matrix methodology - Gravity, Urgency and Tendency. It was verified the presence of several pathological manifestations in the objects under study. It was also concluded that the use of the GUT matrix tool was satisfactory in helping the decision making process regarding maintenance and repair activities.

Keywords: pathological manifestations, assessment methods, recovery, GUT.

RESUMEN

La incidencia de las manifestaciones patológicas en los edificios se presenta entonces en las más diversas fases y tipos de construcciones. El objetivo de este artículo es analizar las principales manifestaciones patológicas en tres edificios escolares del oeste de Rio Grande do Norte, utilizando el método GUT para priorizar estas anomalías. Se realizó una revisión bibliográfica, visitas in situ con inspección visual, registros fotográficos y luego se analizaron los datos cuantitativos a través de la metodología de la matriz GUT - Gravedad, Urgencia y Tendencia. Se comprobó la presencia de varias manifestaciones patológicas en los objetos estudiados. También se llegó a la conclusión de que el uso de la herramienta de la matriz GUT era satisfactorio para ayudar a la toma de decisiones sobre las actividades de mantenimiento y recuperación.

Palabras clave: manifestaciones patológicas, métodos de evaluación, recuperación, GUT.

1. INTRODUÇÃO

A incidência de manifestações patológicas em edificações então presentes nas mais diversas fases e tipos de construções. Segundo Santos et. al (2014), a deterioração é um processo que tem surgimento não somente com a conclusão e entrega da obra ao cliente, mas pode ter aparição antes

da conclusão também. O seu surgimento se dá de forma variada e é de conhecimento e ocorrência em todo o mundo, variando os tipos de acordo com o ambiente, com a forma de execução e materiais utilizados. De acordo com Queiroz et. al (2020), as principais causas da ocorrência das manifestações patológicas nas edificações são devido a dois pontos, sendo eles a falta de um devido plano de manutenção ou até mesmo dessas manutenções serem realizadas de maneira inadequada.

É habitual que as manifestações patológicas tenham sua intensificação com o tempo, com isso é necessária sua identificação e classificação para que rapidamente sejam corretam tratadas, pois caso não ocorra a devida correção pode ocasionar danos variando de magnitude baixas e graves, podendo ocorrer até o colapso das estruturas (BRAGA el.al, 2019).

De acordo com cada método construtivo, material e forma de execução os tipos e causas das manifestações patológicas podem variar, como por exemplo, fissuras, trincas, deslocamento, desagregação e pulverulência, eflorescência, morfo e bolor, entre outros, nos quais possuem suas possíveis causas e correções adequadas (FRANÇA et. al, 2011; JONOV et. al, 2013).

As manifestações patológicas das construções não acontecem de forma independente e sem razão, geralmente tem motivo relacionado a algum erro cometido ainda no processo de concepção, sendo valioso o conhecimento da origem do problema e o retrato da construção para que se possa descobrir o que aconteceu para gerar determinado problema patológico (HELENE, 2003).

Dessa forma, metodologias são estudadas e desenvolvidas para auxiliarem na identificação das anomalias e possíveis correções. Um deles é o método de Matriz GUT - Gravidade, Urgência e Tendência, que possui variantes de gravidade (G) que representa a potência da manifestação patológica, urgência (U) define o nível do problema a ser resolvido e tendência (T) a evolução em que o problema está tendo, com ele é possível obter informações importantes para definições de decisões a serem tomadas, as avaliações são obtidas por meio de números (FÁVERI e SILVA, 2016; BRAGA el.al, 2019).

Dada a importância do tema, a presente pesquisa tem o objetivo identificar, classificar e analisar os principais dados das manifestações patológicas presentes em três edificações escolares utilizando a metodologia da matriz GUT.

2. METODOLOGIA

No presente artigo foram identificadas e analisadas manifestações patológicas de três escolas do estado do Rio Grande do Norte. A primeira está localizada no município de Ipanguaçu e que para o presente estudo foi nomeada de A, já a segunda e a terceira estão localizadas no município de Mossoró e foram nomeadas de B e C, respectivamente. Para tanto a metodologia foi dividida em 4 etapas, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Metodologia utilizada no estudo



Foi realizada a revisão da literatura acerca do tema. Na sequência, foram realizadas visitas in loco nas escolas A, B e C para identificar visualmente, registrar e catalogar as principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas.

Tabela 1: Matriz GUT

Pontos	Gravidade	Urgência	Tendência	G x U x T
	Prejuízos de nenhuma decisão ser tomada	Necessidade de tomada de decisão	Evolução do problema caso nenhuma decisão seja tomada	
5	Extremamente graves	Imediatamente	Agravamento imediato	$5 \times 5 \times 5 = 125$
4	Muito Graves	Urgentemente	Agravamento a curto prazo	$4 \times 4 \times 4 = 64$
3	Graves	O quanto antes possível	Agravamento em médio prazo	$3 \times 3 \times 3 = 27$
2	Pouco Graves	Mediana	Agravamento em longo prazo	$2 \times 2 \times 2 = 8$
1	Sem gravidade	Pouca	Não há indícios de que irá se agravar	$1 \times 1 \times 1 = 1$

Fonte: Autores

A terceira etapa consistiu na aplicação da metodologia da matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) para classificação das manifestações patológicas, como visto Tabela 1.

A metodologia da Matriz GUT - Gravidade, Urgência e Tendência, também é conhecida como Matriz de Prioridades, a qual auxilia na priorização de resolução de problemas. De acordo com Daychoum (2012) no critério Gravidade são classificados os efeitos em caso de nenhuma providência ser tomada acerca do problema; já no quesito Urgência avalia-se o quão necessário se faz tomar uma decisão para resolver o problema encontrado, e no critério Tendência pode ser avaliada a evolução que pode acontecer com o problema encontrado. Cada critério para avaliação da matriz GUT recebe uma pontuação de 1 a 5, onde 1 é menos grave e 5 mais grave, sendo o resultado a multiplicação da pontuação atribuída a cada um dos critérios. Segundo Braga et al. (2019) a metodologia GUT é de extrema importância e utilidade para resolução de problemas, visto que é possível classificar os problemas encontrados de acordo com sua gravidade e assim traçar as melhores estratégias para solução.

3. RESULTADOS

3.1. Escola A

3.1.1 Levantamento das manifestações patológicas

Para a escola intitulada como A, situada na cidade de Ipanguaçu, foram encontradas manifestações patológicas em sua maioria na parte externa da edificação, em específico nos revestimentos e pinturas, possivelmente ocasionados por má execução e/ou emprego de materiais de baixa qualidade. Na Figura 2 é possível perceber que o reboco tem uma aparência arenosa e encontra-se parcialmente exposto e, que pode ter sido uma das causas para acontecimento da manifestação patológica em questão.

Figura 2: Reboco exposto



Fonte: Autores, 2021

Na Figura 3 nota-se um agravamento da situação anteriormente encontrada, na qual a exposição vai além do reboco, atingindo os blocos cerâmicos, possivelmente ocasionados pelos mesmos motivos.

Figura 3: Blocos cerâmicos expostos



Fonte: Autores, 2021

Na Figura 4 percebe-se a degradação da pintura, possivelmente ocasionado pela presença de agente biológicos decorrente de infiltrações, visto que a presença das tubulações sugere que seja uma área da edificação em constante contato com umidade e/ou água.

Figura 4: Degradação da pintura



Na Figura 5 nota-se uma degradação parcial da pintura das paredes, possivelmente ocasionada pela ausência de destinação de águas pluviais, na qual provavelmente entram em contato com as paredes em períodos chuvosos, causando assim as manifestações patológicas encontradas.

Figura 5: Degradação das paredes



Fonte: Autores, 2021

3.1.2 Avaliação utilizando o método GUT

Tabela 2 – Matriz GUT

Escola	Foto	Descrição	G	U	T	GUT
A	2	Desagregação da pintura	3	4	3	36
A	3	Desagregação da pintura e do reboco com exposição dos blocos cerâmicos	5	4	4	80
A	4	Desagregação da pintura e com presença de agentes biológicos causando mofo/bolor	5	4	4	80
A	5	Presença de agentes biológicos causando mofo/bolor e início da desagregação da pintura	2	3	3	18

Conforme ilustrado na Tabela 2, foi realizada a avaliação e classificação das manifestações patológicas utilizando a metodologia da matriz GUT, sendo as anomalias das Figuras 3 e 4 as que somaram mais pontos (80) e que necessitam de uma tomada de decisão e/ou intervenção para reparo da região afetada. As demais manifestações patológicas avaliadas necessitam de reparos de caráter preventivo, de modo a corrigir os problemas encontrados e impedir sua evolução, evitando assim maiores danos e prejuízos de ordem financeira.

3.2 Escola B

3.2.1 Levantamento das manifestações patológicas

Para a escola intitulada como B, situada na cidade de Mossoró, foram encontradas manifestações patológicas de diversos tipos e em vários ambientes da edificação, em mais evidência nos revestimentos, pinturas e exposição da armadura, podendo ter a ocorrência devido à má execução e/ou emprego de materiais de baixa qualidade, além de uma possível não realização de manutenções necessárias antes do surgimento de tais anomalias. Na Figura 6 é possível perceber o deslocamento do revestimento do pilar, que pode trazer diversos problemas a estruturas e comprometer a estabilidade.

Figura 6: Deslocamento do pilar



Fonte: Autores, 2021

Nas Figuras 7 e 8 é possível observar o surgimento de mofo e bolor, além da degradação da pintura presente do teto e parede, sendo possivelmente causados por infiltrações e surgimento de agentes biológicos.

Figura 7: Mofo e degradação da pintura no teto



Figura 8: Mofo/ bolor no teto e parede



Na Figura 9 é possível observar armaduras expostas devido a degradação do revestimento, além de degradação da pintura, sendo possivelmente causado por má execução do cobrimento das armaduras.

Figura 9: Armaduras expostas no teto



Fonte: Autores, 2021

3.2.2 Avaliação utilizando o método GUT

Na Tabela 3, foi realizada a avaliação e classificação das manifestações patológicas utilizando a metodologia da matriz GUT, sendo as manifestações patológicas das Figuras 6 e 9 as que somaram uma pontuação mais alta (125) e que necessitam de uma tomada de decisão imediatamente para reparo da região afetada, por apresentar grandes riscos a estabilidade da estrutura. A anomalia das Figuras 7 e 8 foi a segunda com maior pontuação de acordo com a metodologia utilizada (36), se fazendo necessária uma intervenção urgentemente, visto que se encontra em estágio de degradação bem acentuada, podendo provocar até outras manifestações patológicas, e sua evolução pode ser rápida e trazer riscos a estabilidade da estrutura e a segurança dos usuários.

Tabela 3: Análise das manifestações patológicas

Escola	Foto	Descrição	G	U	T	GUT
B	6	Deslocamento do revestimento do pilar	5	5	5	125
B	7	Desagregação da pintura/mofa e bolor	3	4	3	36
B	8	Desagregação da pintura/mofa e bolor	3	4	3	36

B	9	Exposição da armadura	5	5	5	125
---	---	-----------------------	---	---	---	-----

Fonte: Autores, 2021.

3.3 Escola C

3.3.1 Levantamento das manifestações patológicas

Na escola intitulada como C, situada na cidade de Mossoró, foram encontradas manifestações patológicas em sua maioria na parte interna da edificação, em específico nas estruturas, possivelmente ocasionados por má execução e/ou emprego de materiais de baixa qualidade.

Nas Figuras 10 e 11 nota-se uma degradação da pintura das paredes e o reboco e armadura encontra-se exposto do pilar, devido provavelmente a infiltração da umidade.

Figura 10: Reboco e armação exposta



Fonte: Autores, 2021

Figura 11: Degradação da parede



Fonte: Autores, 2021

Na Figura 12 é possível observar a degradação da estrutura de concreto do poste em questão, deixando a armadura exposta, passível de oxidação.

Figura 12: Degradação do poste



3.3.2 Avaliação utilizando o método GUT

Tabela 4: Análise das manifestações patológicas

Escola	Foto	Descrição	G	U	T	GUT
C	10	Degradação da pintura das paredes e o reboco, com armadura do pilar exposta.	4	3	2	24
C	11	Degradação da pintura das paredes e o reboco	4	3	2	24
C	12	Degradação da armadura	5	5	4	100

Fonte: Autores, 2021.

Como visto Tabela 4, foi realizada a avaliação e classificação das manifestações patológicas utilizando a matriz GUT, sendo as manifestações patológicas da figura 16 a que soma mais pontos (100) e que necessita de uma tomada de decisão e/ou intervenção para reparo da região afetada. As demais manifestações patológicas avaliadas necessitam de reparos de caráter preventivo, de modo a corrigir os problemas encontrados e impedir sua evolução, evitando assim maiores danos e prejuízos de ordem financeira.

4. CONCLUSÕES

Com a importância do tema em questão e com a observação do grande número de manifestações patológicas encontrada na região, conclui-se que as manifestações mais comuns e presentes nas 3 (três) escolas é a degradação da pintura causadas possivelmente pela presença de mofo/bolor. Além disso, foram encontradas manifestações patológicas de extrema gravidade e reparo imediato como apresentado na escola B e C.

Na escola A, foram encontradas manifestações patológicas em sua maioria na parte externa da edificação, em específico nos revestimentos e pinturas. Na escola B foram encontradas a presença dessas manifestações patológicas e em mais evidência nos revestimentos, pinturas e exposição da armadura. Já, na escola C, a maioria das manifestações patológicas estava presente na parte interna da edificação, com presença de fissuras, mofo/bolor e exposição da armadura.

Concluimos que a aplicação da metodologia da matriz GUT para fins de gerenciamento possibilitou uma avaliação quantitativa dos problemas patológicos encontrados nas edificações educacionais e permitiu a mensuração da gravidade desses, bem como, o grau de priorização das ações corretivas e preventivas para possível correção dos problemas.

5. REFERÊNCIAS

Braga, I. C., Brandão, F. S., Ribeiro, F. R. C., Diógenes, A. G. (2019), “Aplicação da Matriz GUT na análise de manifestações patológicas em construções históricas”, **Revista ALCONPAT**, 9(3), pp. 320 – 335, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.400>.

Daychoum, Merhi. 40+ 20 ferramentas e técnicas de gerenciamento. **Brasport**, 2018.

Fáveri, Rafael; Silva, Alexandre. Método GUT aplicado à gestão de risco de desastres: uma ferramenta de auxílio para hierarquização de riscos. **Revista Ordem Pública**, v. 9, n. 1, p. 93-107, 2016.

França, A. A., Marcondes, C. G. N., Rocha, F. C. D., Medeiros, M. H. F. D. e Helene, P. R. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **Téchne, São Paulo**, v. 19, n. 174, p. 72-77, 2011.

Helene, Paulo R. Do Lago. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. São Paulo, **Red Rehabilitar**, 2003.

Jonov, Cristiane Machado Parisi; Nascimento, Nilo De Oliveira; Silva, Adriano de Paula. Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 1, p. 75-94, 2013.

Nazario, Daniel. Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde. 2012.

Queiroz, A. B. R., Marques, M. V. D., Santos, K. F., Cruz, C. P. T., Santos, R. R. e Lucena, M. D. (2020). Análise de manifestações patológicas na balaustrada da av. Getúlio Vargas em natal/rn: um estudo de caso. **Congresso brasileiro de patologia das construções – CBPAT**. Fortaleza- CE, p. 1724-1730.

Santos, W. J. D., Dardengo, C. F. R., Carvalho, C. C., Alvarenga, R. D. C. S. S., Silva, R. C. D. Prescrições para construções de edificações residenciais multifamiliares com base nas patologias identificadas na cidade de Viçosa-MG. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p. Páginas 104-123, 2014.

Inspeção Rotineira na Ponte Sobre o Córrego Mutuca no Município de Gurupi - TO

F. M. David¹, M. M. de Souza¹, F. A. S. Fernandes¹, D. F. A. dos Santos^{1*}

*Autor de Contacto: douglasasantos@unirg.edu.br

¹ Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Gurupi, Gurupi, Brasil

RESUMO

As estruturas em concreto armado são suscetíveis ao aparecimento de anomalias ao longo de sua vida útil. Objetiva-se com este trabalho a verificação de manifestações patológicas através de inspeção visual, tendente para a ponte de Gurupi-Tocantins, situada sobre o córrego Mutuca na BR 153, km 671, no Brasil. A ponte apresentou problemáticas como, fissura no pavimento, trinca na face inferior da laje, reação álcali agregado, etc. As inspeções seguiram as diretrizes da NBR 9452 (2019) e o manual de inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT – 2004). Verificou-se que a ponte apresenta boas condições, entretanto, devido recebe uma nota 3, precisa ser monitorada para não diminuir sua vida útil.

Palavras chaves: Inspeção; Pontes; Concreto Armado.

RESUMEN

Las estructuras de hormigón armado son susceptibles a la aparición de anomalías a lo largo de su vida útil. El objetivo de este trabajo es verificar las manifestaciones patológicas mediante inspección visual, tendiendo hacia el puente Gurupi-Tocantins, ubicado sobre el arroyo Mutuca en la BR 153, km 671, en Brasil. El puente presentó problemas como grietas en el pavimento, grietas en la parte inferior de la losa, reacción alcalina agregada, etc. Las inspecciones siguieron las pautas de NBR 9452 (2019) y el manual de inspección de puentes de carretera (DNIT - 2004). Se encontró que el puente está en buenas condiciones, sin embargo, como recibe una calificación de 3, es necesario monitorearlo para no reducir su vida útil.

Palabras clave: Inspección; Puentes; Hormigón Armado.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures are susceptible to the appearance of pathologies throughout their useful life. The aim of this work is to study its pathologies through research in the literature and visual inspection, tending towards the Gurupi-Tocantins bridge, located over the Mutuca stream on BR 153, Km 671. It presents the problems such as, fissure on the pavement, cracking on the underside of the slab, aggregated alkali reaction, etc. The inspections followed the guidelines of NBR 9452: 2019 and the inspection manual for Highway Bridges (DNIT - 2004). It was found that the bridge is in good condition, however, as it receives a grade of 3, it needs to be monitored so as not to reduce its useful life.

Keywords: Inspection; Bridges; Reinforced Concrete.

1. INTRODUÇÃO

Os principais requisitos ao projetar uma ponte e atender um bom desempenho são: funcionalidade, segurança, estética, economia e durabilidade. E suas principais problemáticas estão ligadas erros de projeto e execução, falta de inspeção, gestão e manutenção.

Muitas pontes foram projetadas com base em normativas vigentes da época que consideravam cargas móveis diferentes das atuais, além de fatores de impacto, tipos de ações, etc. Outro ponto a ser levado em consideração é a falta de gestão dessas Obras de Artes Especiais (OAEs) durante sua vida útil. As inspeções devem ser conduzidas de forma organizada e sistemática, além de ser feito por profissionais competentes e habilitados.

Portanto, este trabalho tem por objetivo identificar as manifestações patológicas presentes na ponte sobre o córrego Mutuca. Ela passou a ser um viaduto por questões de ampliação de faixas e crescimento da população em seu entorno. A inspeção visual e registros fotográficos seguiram as diretrizes da (ABNT NBR 9452, 2019) e o manual de inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004).

2. METODOLOGIA

O trabalho trata-se de um estudo qualitativo, utilizando critérios baseados em recomendações e normativas, sendo estas, a (ABNT NBR 9452, 2019) e o manual de inspeções rodoviárias do (DNIT, 2004). Foram verificados pequenos danos a OAE através de inspeções visuais realizadas

nos dias 20, 24 e 28 de abril de 2021, na ponte localizada na BR 153, sobre o antigo córrego Mutuca da cidade de Gurupi – TO (ver Figura 1 e 2). Esta ponte possui uma extensão de 36,00 metros, seu sistema estrutural é de pontes em vigas. O fluxo de trânsito é considerável, devido ser uma via de acesso ao centro da cidade e saída de uma BR.



Figura 1. Localização da ponte e cursor d'água (Google Earth, 2021)



Figura 2. Vista Lateral da Ponte.

Para o levantamento da situação da ponte foi utilizado os modelos de ficha de inspeção rotineira da (ABNT NBR 9452, 2019). Este modelo é dividido em 3 partes, sendo a parte 1 dados cadastrais, como, identificação e localização, históricos das inspeções, descrição das intervenções executadas ou em andamento. Na parte 2, registros destas manifestações patológicas, de forma descritiva. E por fim, na parte 3 determinações da classificação da OAE e os registros fotográficos realizados na inspeção.

Diante da inspeção visual e levantamento de dados histórico da ponte, notou-se que a ponte de Gurupi localizada na BR 153, km 671 apresenta algumas manifestações patológicas e reparos preventivos. Os dados obtidos na ficha de inspeção e registro fotográfico estão descritos nos tópicos abaixo e em anexo.

2.1 Notas de Classificação

A classificação de uma obra de arte consiste na atribuição de uma nota de avaliação, variando de 1 a 5, correlacionada à sua condição, podendo ser excelente (5), boa (4), regular (3), ruim (2) ou crítica (1) (ABNT NBR 9452, 2019). A classificação deve seguir o estabelecido na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da condição da obra de arte segundo os parâmetros estrutural, funcional e durabilidade (ABNT NBR 9452, 2019).

Nota de Classificação	Condição	Caracterização Estrutural	Caracterização Funcional	Caracterização de Durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A obra de arte apresenta segurança e conforto aos usuários.	A obra de arte está em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas isoladas, sem comprometer a segurança estrutural.	A obra de arte apresenta pequenos danos que não chegam a causar perda significativa de desempenho, desconforto ou insegurança ao usuário.	A obra de arte apresenta pequenas e poucas anomalias que comprometam sua vida útil. Estrutura em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A obra de arte apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A obra de arte apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometam sua vida útil, em regiões de moderada a alta agressividade ambiental ou apresenta moderadas a muitas anomalias, mas a estrutura está em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança da estrutura, porém, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A obra de arte necessita de intervenções significativa a curto prazo.	A obra de arte com funcionalidade visivelmente comprometida, com risco de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A obra de arte apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em regiões de alta agressividade ambiental.

1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A obra de arte necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição parcial ou total ao tráfego e escoramento provisório, associada a monitoramento por instrumentalização, ou não.	A obra de arte não apresenta condições funcionais de utilização.	A obra de arte encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.
---	---------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.2 Ficha de Inspeção Rotineira

Como descrito anteriormente a ficha de inspeção é dividida em 3 partes, sendo a parte 1 composta por dados cadastrais, conforme apresentado na Tabela 2. Nesta tabela pode-se notar que são necessários informações de dados históricos da inspeção.

Tabela 2. Modelo de ficha de inspeção rotineira parte 1 (ABNT NBR 9452, 2019).

Nº	Ficha de Inspeção Rotineira	
1	Inspeção Rotineira(ano):2021	Código da obra de arte: 0020201
2	Jurisdição (Órgão, Concessão ou outro): Federal	Data de Inspeção: 28 de abril
Parte I - Cadastro		
A - Identificação e localização		
3	Via e Município: BR 153	Sentido: Palmas
4	Obra: Ponte sobre o córrego Mutuca	Localização (km e coordenadas geográficas): Km671
B - Histórico das Inspeções		
5	Inicial: Nada consta	Última Rotineira: Nada consta
6	Especial: Nada consta	
C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento		
7	Reparos: Nada consta	Material: Nada consta
8	Alargamentos: Nada consta	
9	Reforços: Nada consta	

A Tabela 3 apresenta o registro de manifestações patológicas encontradas nos componentes da ponte. Dentre os apresentados pode-se verificar problemas na superestrutura, especificamente no tabuleiro, como, problemas de degradação, acúmulo de pontos de umidade devido a ineficiência da drenagem.

Os pilares com problemas de calcinação, ocasionado por erro na concretagem. Da mesma forma, pode-se encontrar problemas em outros componentes da ponte que foram descritos melhor na tabela 3.

Tabela 3. Modelo de ficha de inspeção rotineira parte 2 (ABNT NBR 9452, 2019).

Nº	Parte II - Registro de manifestações patológicas
	A - Elementos Estruturais
10	Superestrutura:
11	Mesoestrutura:
12	Infraestrutura: Calcinação do Concreto
13	Aparelhos de Apoio:
14	Juntas de Dilatação: Trincas no encontro do pavimento
15	Encontros:
16	Outros elementos:
	B - Elementos da pista ou funcionais
17	Pavimento: Fissuras no encontro da ponte com o pavimento
18	Acostamento e Refúgio:
19	Drenagem:
20	Impermeabilização:
21	Guarda-corpos:
22	Barreira de Concreto/ Defesa Metálica:
	C - Outros Elementos
23	Taludes:
24	Iluminação:
25	Sinalização:
26	Gabarito:
27	Proteção de Pilares:
	D - Informações Complementares
28	
	E - Recomendações de Terapia
29	Necessário limpeza/roçagem.

A parte 3 trata-se do registro fotográfico e a classificação dada pelo inspetor a obra vistoriada, a Tabela 4 se encontra em anexo e suas manifestações patológicas são descritas nos tópicos abaixo. Esta ponte, devido a problemas apresentados a alguns elementos estruturais, obteve classificação igual a 4, sendo considerada pela (ABNT NBR 9452, 2019), como uma ponte de classificação boa. A classificação sempre será a menor nota obtida entre os elementos e parâmetros.

3 RESULTADOS

3.1 Fissuras

Segundo a norma do (DNIT 090, 2006) as fissuras são classificadas como causas físicas da deterioração do concreto. Foram observadas trincas e fissuras em praticamente toda a estrutura da ponte; essas fissuras podem ocorrer em consequência da fragilidade do concreto que continuamente está relacionado a fatores ambientais, como chuva causando excesso de umidade, insolação causando retração no concreto; por este motivo o concreto recebe uma tensão superior a tensão de tração que ele suporta motivando o aparecimento de fissuras na estrutura. A Figura 3 demonstra as fissuras no tabuleiro ocasionadas por retração.



Figura 3. Fissuras no encontro com o pavimento.

3.2 Inexistência de Aparelho de apoio

O uso de EPS como apoio das longarinas pode ser observado na Figura 4. Essa prática comumente adota da na época que a ponte foi construída, entretanto, este aparelho de apoio deveria ter sido trocado para Neoprene a tempos, e desta forma evitar problemas, por ser um aparelho de apoio mais adequado para cargas maiores e durabilidade. Não foi realizado as devidas manutenções no material, com elevada presença de mofo, acúmulo de dejetos, sendo necessário a substituição.



Figura 4. Não há utilização de Neoprene.

3.3 Pilares

Desagregação do concreto consiste na desintegração do concreto, com este perdendo sua propriedade de aglomerante. (Souza e Ripper, 1998) entendem a desagregação do concreto, como a separação física do mesmo em fatias, de modo que a estrutura acaba por perder a capacidade resistente a esforços na região desagregada.

(Cánovas, 1988) afirma que os componentes do concreto perdem sua coesão, reduzindo significativamente a resistência mecânica. Vários são os fatores que podem ser causadores da desagregação: fissuração, movimentação das formas, corrosão do concreto, ataques biológicos e o fenômeno da calcinação que consiste na perda de resistência e mudança de cor do concreto, que ocorre quando ele se encontra na presença de fogo e começa a se desintegrar em uma temperatura próxima à 600° C.



Figura 5. Pilares Calcinação do concreto.

4 CONCLUSIONES

Foi verificado que a ponte estudada, através de inspeções visuais apresentou manifestações patológicas comuns quando se tem a falta de manutenção e inspeção. As inspeções são fundamentais, pois elas permitem compreender o estado em que a estruturas se encontra e desta forma propor manutenções, reparos ou até mesmo reforço. Entretanto, devido esta pesquisa ter realizado apenas inspeção visual não se pode chegar a dados conclusivos e propor adequações a ponte.

O ideal é com base nesses resultados realizar uma inspeção especial e assim realizar estudos mais detalhados, uso de equipamentos, ensaios não destrutivos e destrutivos, que poderão apresentar o nível de degradação, oxidação das armaduras e resistência do concreto atual. As manifestações patológicas se não forem tratadas poderão ocasionar danos maiores a ponte, comprometendo ainda mais a sua vida útil a longo prazo.

5 REFERENCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**, 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.



FELIX, E. F. et al. **Análise da vida útil de serviço de estruturas de concreto armado sujeitas à corrosão: uma abordagem mecânico-probabilística**. In: Congresso CONPAT 2019, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 2019.

FÉLIX, Emerson Felipe et al. **Avaliação da durabilidade de uma viga de concreto armado sujeita à reação álcali-agregado**. In: XIV CONGRESO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN Y XVI CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN. Anais, 2017.

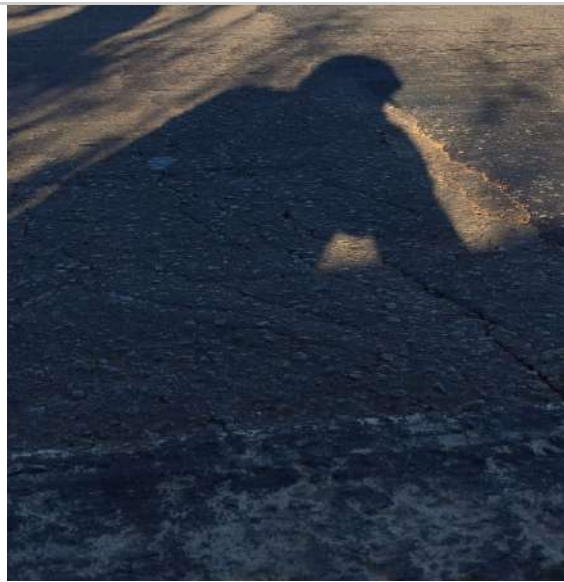
CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1 Ed. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo: Ed. Pini, 1988. 522 p.

ANEXO I

Modelo de ficha de inspeção rotineira parte 3

Nº	Parte III - Classificação da obra de arte		
	Estrutural: 4	Funcional: 4	Durabilidade: 4
	Justificativa: Diante do detectado na inspeção visual, a ponte apresentou uma classificação boa, ou seja, nota 4. A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas isoladas, sem comprometer a segurança estrutural.		
01			
	Identificação: Realizar a retirada de vegetação		
			
	Identificação: Trinca na face inferior da laje.		

03



04



05



Identificação: Ausência de Neoprene

Avaliação de manifestações patológicas de escolas públicas do Leste potiguar aplicando a matriz GUT

R. Rodrigues dos Santos^{1*}, J. L. da Silva Sabino¹, J. S. de Oliveira Neto¹, M. V. Dias Marques¹,
C. Patrícia Torres Cruz²

*Autor de Contacto: rodrigorodrigues9798@hotmail.com

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar, Brasil.

² Doutora em Física da Matéria Condensada e Docente da Universidade Potiguar, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste artigo é analisar as manifestações patológicas das escolas públicas da região Leste do estado do Rio Grande do Norte e apresentar possíveis correções e soluções para tais problemas. Foi realizada uma revisão bibliográfica na literatura, visitas in loco com inspeção visual e registros fotográficos e, em seguida, foram analisados os dados quantitativos através da metodologia da matriz GUT - Gravidade, Urgência e Tendência. Diante dos resultados obtidos, constatou-se a presença de diversas manifestações patológicas nos objetos de estudo. Foi possível concluir que a utilização da metodologia da matriz GUT é uma ferramenta satisfatória para o auxílio à tomada de decisão quanto às atividades de manutenção e reabilitação.

Palavras-chave: Edificações, manifestações patológicas, metodologia GUT.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es analizar las manifestaciones patológicas de las escuelas públicas de la región oriental del estado de Rio Grande do Norte y presentar posibles correcciones y soluciones a dichos problemas. Se realizó una revisión bibliográfica, visitas in situ con inspección visual y registros fotográficos, y luego se analizaron los datos cuantitativos a través de la metodología de la matriz GUT - Gravedad, Urgencia y Tendencia. Ante los resultados obtenidos, se constató la presencia de varias manifestaciones patológicas en los objetos de estudio. Se puede concluir que la utilización de la metodología de la matriz GUT es una herramienta satisfactoria para ayudar a la toma de decisiones en las actividades de mantenimiento y rehabilitación.

Palabras clave: Edificios, manifestaciones patológicas, metodología GUT.

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze the pathological manifestations of public schools in the eastern region of the state of Rio Grande do Norte and present possible corrections and solutions for such problems. It was performed a literature review, on-site visits with visual inspection and photographic records, and then the quantitative data were analyzed through the GUT matrix methodology - Gravity, Urgency and Tendency. In view of the results obtained, the presence of several pathological manifestations in the study objects was verified. Foi possível concluir que a utilização da metodologia da matriz GUT é uma ferramenta satisfatória para o auxílio à tomada de decisão quanto às atividades de manutenção e reabilitação.

Keywords: Buildings, pathological manifestations, GUT methodology.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia do Paraná – IBAPE/PR (2016), aponta que os sistemas e subsistemas de um edifício interagem com o meio ambiente e o ser humano, ocasionando o desgaste deles, tornando assim a manutenção um fator importante para garantia do funcionamento de todo o conjunto. A partir dessa interação, pode vir a acontecer problemas nos sistemas do edifício caso os sistemas não apresentem a qualidade como desejada. Tais problemas são classificados em anomalias ou falhas conforme o Instituto Brasileiro de Auditoria de Engenharia IBRAENG (2015).

De acordo com o IBRAENG (2015) as anomalias são provenientes de vícios ou defeitos construtivos e podem ser classificadas em: Endógenas, exógenas, naturais e funcionais. É recomendado que as anomalias sejam classificadas quanto às características de acordo com o tipo de ocorrência, sendo alguns tipos de tipos de anomalias encontradas nas edificações: fissuras, manchas, oxidações, corrosões, deslocamentos, umidades, vazamentos, infiltrações, descascamentos e outros. As falhas são originadas a partir da ausência de manutenção, sendo classificadas em: de planejamento, de execução, operacionais e gerenciais.

Segundo Martins e Fioriti (2016) as manifestações patológicas podem apresentar sua origem devido a problemas na fase de execução, na fase de uso ou na fase de projeto. Para os autores, o surgimento de fissuras influencia diretamente no comportamento de usuários leigos já que estes concluem que esse tipo de ocorrência não é normal. Felten et al. (2013) aponta que a manutenção preventiva, que apresenta baixo custo, é uma das formas de evitar o aparecimento de manifestações patológicas.

De acordo com Helene (1997), as manifestações patológicas são oriundas da ação de agentes causadores como variação da umidade, cargas, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas ao concreto, por componentes biológicos entre outros. Arivabene (2015), aponta que as causas dos problemas patológicos podem ser evitadas e que as estas são provenientes de uma má execução.

Para Silva et al. (2016), fatores como a utilização de materiais inadequados, métodos construtivos não condizentes e erros relativos à técnica e operação contribuem para o surgimento e presença de manifestações patológicas. Dessa forma, todos os sistemas e subsistemas que compõe o conjunto do edifício estão sujeitos ao surgimento de manifestações patológicas, uma vez que os mecanismos causadores agem quando existe uma possível anomalia ou falha.

Os sistemas de acabamento das edificações apresentam maior ocorrência de manifestações patológicas, visto que estas estão expostas constantemente a mecanismos agressivos, tais como umidade, variações de temperatura, vento, insolação e agentes biológicos conforme aponta Silva et al. (2016). Ainda segundo os autores, as fachadas tornam-se um dos sistemas mais afetados devido receberem maior incidência de intempéries. Schardong e Pagnussat (2011) verificaram que tanto em lajes quanto em paredes, as manifestações patológicas mais recorrentes são fissuras, umidades, recalques do piso e descolamento de pintura.

Silva et al. (2016) verificou que 31,5% dos casos estudados apresentaram relação com o desempenho entre revestimento e substrato de fachadas, sendo a principal manifestação patológica presente. Em seguida, manifestações oriundas de deformações, percolação de líquidos e manifestações na pintura, apresentaram 29,4%, 21,8% e 17,3% respectivamente.

GALLETTO e ANDRELLO (2013) em seus estudos, encontraram que as principais manifestações patológicas em fachadas com revestimentos cerâmicos são manchas e som cavo, descolamento das placas cerâmicas e falhas no rejuntamento. Martins e Fioriti (2016) apontam que as manifestações mais encontradas foram fissuras, nichos, irregularidades geométricas, manchas escuras, exposição e corrosão da armadura, eflorescências e lixiviação. Problemas como deslocamento de materiais e som cavo foram detectados em revestimentos que foram aplicados sobre estruturas de concreto, uma vez que a camada de revestimento descolava na interface entre estrutura e chapisco, conforme CARASEK e CASCUDO (2007). Ainda segundo os autores, em algumas situações em que mesmo

sem o descolamento do revestimento, tais locais apresentavam som cavo. Constatou-se também fissuras mapeadas, formando ângulos próximos a 90° sem orientação.

CARASEK e CASCUDO (2007) realizaram estudos sobre a resistência de aderência entre as camadas de revestimentos e o substrato (estrutura de concreto). Foi constatado que nas regiões onde não se tinham fissuras presentes e nem som cavo, as rupturas aconteceram em maior parte na interface entre chapisco e estrutura apresentando resultados altos com média 0,32 MPa. Nas regiões onde havia a presença de fissuras e próximas onde o som cavo era observado, o resultado médio foi de 0,11 MPa em relação a região que não apresentava fissuras e som cavo. Quanto a resistência de arrancamento do revestimento aplicado sobre a alvenaria, os resultados apresentaram média de 0,29 MPa, onde o rompimento acontecia principalmente entre o chapisco e a base.

Os autores, CARASEK e CASCUDO (2007), concluíram que, a partir dos resultados do ensaio de aderência foram notados dois principais problemas em fachadas com revestimento cerâmico: a baixa aderência entre a camada de chapisco e substrato (estrutura de concreto) que pode ter sido causada na ausência de limpeza do substrato, e a fissuração no revestimento encontrada de forma mapeada ou sem orientação com fissuras em ângulos próximos de 90°, demonstrando que a argamassa sofreu retração.

Felten et al. (2013) analisaram problemas presentes em marquises de concreto armado e verificaram que 90% das amostras analisadas apresentaram algum tipo de manifestação patológica. Os autores ressaltam que, das análises em que foram respondidos os questionários aplicados sobre a realização de manutenção preventiva, constatou-se que em nenhuma das marquises analisadas foram realizadas algum tipo de manutenção preventiva. Os autores ainda verificaram que a manifestação patológica de maior ocorrência foi a infiltração com percentual de 30%. Outras manifestações como mofo e bolor, fissuras e trincas, deterioração do concreto, deterioração da camada de revestimento e corrosão da armadura apresentaram 26%, 22%, 9%, 9% e 4% respectivamente. Com isso, Felten et al. (2013) constataram que a partir das manifestações patológicas analisadas, 39% dos casos apresentaram gravidade média.

Nos estudos de Schardong e Pagnussat (2011) em que foram analisadas as lajes que constituíam o edifício, entre 18% e 30% desses elementos estruturais apresentavam algum tipo de degradação visível. Os autores realizaram o mapeamento das causas das manifestações patológicas e verificaram que para as lajes, a sua deformabilidade relacionada à espessura de concreto, juntamente com o embutimento de tubulações elétricas influenciaram no surgimento de fissuras. Também foi constatado que a incorreta execução do sistema de impermeabilização das vigas de fundação gerou a percolação de umidade nas paredes, bem como a ausência de vergas e contra vergas resultou na ocorrência de fissuras junto às esquadrias.

De acordo com BÖES (2017) os riscos das anomalias e falhas das edificações podem ser avaliados por inspetores a partir de metodologias que identifiquem tais riscos. Segundo o autor, o método GUT (gravidade, urgência e tendência) é utilizado uma escala de notas para atribuir a gravidade ao problemas, sendo de 1 a 5 em ordem crescente de menos grave para mais grave. Com essa atribuição, é definido assim a prioridade da anomalia ou falha. Nos estudos de Soares *et al.* (2019) em que foi aplicada a metodologia da matriz GUT, os elementos relacionados à instalação elétrica apresentaram maior prioridade devido problemas como fiação exposta que poderia provocar curtos-circuitos e choques.

O objetivo do presente trabalho é analisar as manifestações patológicas das escolas públicas da região Leste do estado do Rio Grande do Norte e apresentar possíveis correções e soluções para tais problemas utilizando a metodologia da matriz GUT - Gravidade, Urgência e Tendência.

2. METODOLOGIA

Para realização do presente estudo foram avaliadas 3 escolas públicas do estado do Rio Grande do Norte. A primeira foi intitulada de X e está situada no município de Parnamirim, a segunda foi intitulada de Y e está localizada no município de São Miguel do Gostoso, e a terceira foi intitulada de Z e está localizada no município de Natal. A metodologia do estudo foi dividida em quatro etapas (04) apresentadas na Figura 1.



Figura 1: Metodologia utilizada no estudo.
Fonte: Autores, 2021.

Iniciou-se uma revisão sistemática sobre o tema manifestações patológicas na literatura, onde foram lidos alguns trabalhos científicos pesquisados nas bases de pesquisa Scielo, Research Gate e Google acadêmico. Após a leitura, os estudos foram catalogados de forma sistemática em uma planilha de Excel para auxiliar na etapa de escrita.

Na segunda etapa, foi realizada uma visita *in loco*, onde o objetivo era identificar, de maneira prévia, as manifestações patológicas presentes nas edificações através de registros fotográficos.

Na terceira etapa, a partir dos registros fotográficos coletados, classificados e analisados, fez-se um levantamento das anomalias presentes nas estruturas e, em seguida, foi aplicada a ferramenta da matriz GUT.

A matriz divide-se em Gravidade, Urgência e Tendência - GUT. No quesito gravidade, é avaliado o quão grave o problema em questão pode se tornar caso nenhuma decisão seja tomada. No quesito urgência é avaliado o quão urgente é tomar uma decisão para resolver o problema em questão. No quesito tendência é avaliada a tendência de evolução do problema em questão caso nenhuma providência seja tomada.

Segundo De Azevedo Pereira et al (2014) e Braga et al (2019) a metodologia GUT é de extrema importância e utilidade para resolução de problemas, visto que é possível classificar os problemas encontrados de acordo com sua gravidade e assim traçar as melhores estratégias para solução.

Na Tabela 1, temos a ilustração da metodologia da matriz GUT utilizada no presente estudo, com as devidas classificações de Gravidade, Urgência e Tendência. Na última fase esta do estudo, após realizada a classificação através da matriz GUT, foram levantadas possíveis soluções para as manifestações patológicas encontradas nas pesquisas *in loco*, objetivando tratar e prevenir a evolução dessas manifestações, evitando danos maiores na estrutura.

3. RESULTADOS

3.1. Escola X

3.1.1 Levantamento das manifestações patológicas

Fator	G - Gravidade	U – Urgência	T - Tendência	G x U x T
	Gravidade das consequências caso nenhuma decisão seja tomada	Quão urgente é tomar uma decisão	Tendência do problema em se agravar caso nada seja feito	
1	Sem Gravidade	Pouco	Não há tendencia de agravamento	$1 \times 1 \times 1 = 1$
2	Levemente	Levemente	Longo prazo	$2 \times 2 \times 2 = 8$
3	Mediana	O mais breve possível	Médio prazo	$3 \times 3 \times 3 = 37$
4	Muito	Muito	Curto prazo	$4 \times 4 \times 4 = 64$
5	Extremamente	Extremamente	Imediatamente	$5 \times 5 \times 5 = 125$

Tabela 1: Matriz GUT utilizada para avaliação.

Fonte: Autores, 2021.

É possível observar nas Figuras 2 e 3 que as seções de todos os pilares da área externa da escola se encontram em degradação, com o agravante da exposição das armaduras. Se faz necessária uma inspeção específica para determinar a causa exata do problema, mas pressupõe-se que a degradação tenha começado com a abertura fissuração e trincas que evoluíram até chegar na situação atual. Na Figura 4 observa-se que após o deslocamento do revestimento cerâmico, o elemento estrutural ficou vulnerável, ocasionando assim a exposição da armadura. Observa-se na Figura 5 a exposição da armadura, bem como trincas e fissurações ao longo da peça estrutural, e nota-se também que o espaçamento entre as armaduras não foi adequado.



Figura 2: Manifestações patológicas.
Fonte: Autores, 2021.



Figura 3: Manifestações patológicas.
Fonte: Autores, 2021.

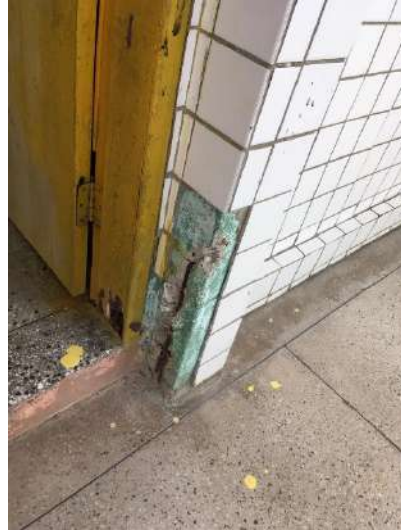


Figura 4: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.



Figura 5: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

Na Figura 6 há ocorrência de manifestações patológicas no revestimento da parede interna do muro lateral da escola que pôde ter sido ocasionada por emprego de materiais de baixa qualidade e/ou falhas no processo executivo, visto que é possível perceber uma desagregação da camada de pintura e reboco do muro, além de sujeidade na camada de pintura existente. Já na Figura 7 observa-se sujeidade na parede externa na qual pode ser justificada pelo contato constante com a água e/ou umidade do ar-condicionado instalado na parte superior da parede, causando assim infiltrações.



Figura 6: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.



Figura 7: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

Verifica-se na a Figura 8 o deslocamento cerâmico na parede externa de uma das salas de aula da escola. Sugere-se que seja realizado uma investigação mais detalhada para assim explicar a causa do surgimento da manifestação patológica.



Figura 8: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

3.1.2 Análise das manifestações patológicas utilizando o método GUT

Escola	Foto	Descrição	G	U	T	GUT
X	2	Trincas, fissuras e exposição da armadura	5	5	5	125
X	3	Trincas, fissuras e exposição da armadura	5	5	5	125
X	4	Trincas, fissuras e exposição da armadura	5	5	5	125
X	5	Trincas, fissuras e exposição da armadura	5	5	5	125
X	6	Desagregação das camadas de revestimento	3	2	2	18
X	7	Sujidade e infiltração na pintura	2	2	2	8
X	8	Desplacamento cerâmico	2	3	3	18

Tabela 2: Análise das manifestações patológicas.
Fonte: Autores, 2021.

Para aplicação da metodologia da matriz GUT, as manifestações patológicas encontradas na visita *in loco* foram divididas em grupo: Trincas, fissuras e exposição da armadura; Desagregação das camadas de revestimento; sujidade e infiltração da pintura e; Desplacamento cerâmico. Cada grupo representa o tipo de manifestação patológica observada durante a inspeção visual *in loco*. Como apresentado na Tabela 2, as manifestações patológicas foram analisadas e avaliadas de acordo com os critérios adotados, sendo em maioria as manifestações das Figuras 2, 3, 4 e 5 as que necessitam de uma tomada de decisão mais urgente, devido a gravidade das mesmas e tendência de agravamento. As manifestações referentes a revestimentos foram consideradas não tão urgentes, mas que podem se agravar em longo e médio prazo.

3.2 Escola Y

3.2.1 Levantamento das manifestações patológicas

No levantamento dos principais problemas encontrados na escola Y, podemos observar nas Figuras 9, 10, 11 e 12, fissuras e degradação do concreto que levam a exposição das armaduras. Neste caso, uma possível causa pode que estrutura tenha sofrido choques mecânicos. Outra possível causa pode estar relacionada a uma área do pilar que sofre maiores ataques de umidade, fazendo que a estrutura esteja submetida a percolação de água e ocasionando processos corrosivos da armadura.



Figura 9: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.



Figura 10: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

Outros problemas encontrados foi o deslocamento cerâmico nas paredes (Figura 13). Nota-se uma execução inadequada da aplicação da argamassa de assentamento ou baixa qualidade do material utilizado. Na Figura 14 é possível observar patologias nas paredes que apresentam azulejos danificados, onde as possíveis causas podem ter sido de choques mecânicos.



Figura 11: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.



Figura 12: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

Observa-se nas Figuras 15 e 16 infiltrações nas paredes internas, que podem ter sido ocasionadas por falhas no processo executivo, como por exemplo, ausência de rufos, pingadeiras e impermeabilização. Ainda na Figura 15, pode-se observar que parte do forro de PVC encontra-se danificado.



Figura 15: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.



Figura 16: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

Na Figura 17 é possível observar pequenas fissuras na alvenaria de vedação. A possível causa dessa patologia pode ter sido ocasionada a partir de uma execução imprópria do dispositivo de ancoragem da grade de proteção, visto que é necessário embutir a ferragem diretamente na alvenaria de vedação.



Figura 17: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

3.2.2 Análise das manifestações patológicas utilizando o método GUT

Analogamente ao que foi realizado como metodologia para a Escola X, foi realizado na Escola Y e Z. As manifestações patológicas encontradas na visita *in loco* foram divididas em grupo: Fissuras e quebra do concreto; Deslocamento cerâmico; Revestimento cerâmico danificado; Infiltração e remoção do forro PVC; Infiltração e trincas e fissuras. Cada grupo representa o tipo de manifestação

patológica observada durante a inspeção visual *in loco*. Como apresentado na Tabela 4, as manifestações patológicas foram analisadas e avaliadas de acordo com os critérios adotados da metodologia matriz GUT. Vale ressaltar e dar ênfase nas manifestações de fissuras e quebra do concreto, onde estas foram avaliadas com os maiores níveis de gravidade, urgência e tendência.

Escola	Foto	Descrição	G	U	T	GUT
Y	9	Fisuras e quebra do concreto	5	5	5	125
Y	10	Fisuras e quebra do concreto	5	5	5	125
Y	11	Fisuras e quebra do concreto	5	5	5	125
Y	12	Fisuras e quebra do concreto	5	5	5	125
Y	13	Desplacamento cerâmico	2	3	3	18
Y	14	Revestimento cerâmico danificado	2	3	3	18
Y	15	Infiltração e remoção do forro PVC	4	4	4	64
Y	16	Infiltração	2	2	2	8
Y	17	Trincas e fissuras	3	2	2	18

Tabela 4: Análise das manifestações patológicas

Fonte: Autores, 2021.

3.3 Escola Z

3.3.1 Levantamento das manifestações patológicas

Para a Escola Z, destaca-se ocorrências de problemas patológicos conforme as Figuras 18 e 19. Nota-se possíveis infiltrações pela cobertura, resultando em uma especie de bolor junto ao material do forro.



Figura 18: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.



Figura 19: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

Verificou-se outros problemas como a queda de reboco da parede conforme Figuras 20 e 21, que pode ter sido causada pela ausência do esboço como elemento construtivo, ou seja, falta de aderência da e substrato.



Figura 20: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.



Figura 21: Manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

3.3.2 Análise das manifestações patológicas utilizando o método GUT

Escola	Foto	Descrição	G	U	T	GUT
Z	18	Infiltrações em paredes	5	5	5	125
Z	19	Infiltrações no teto	5	5	5	125
Z	20	Descolamento da pintura e reboco	3	3	3	27
Z	21	Descolamento da pintura	2	2	2	8

Tabela 6: Análise das manifestações patológicas
Fonte: Autores, 2021.

Na escola Z, o grupo das manifestações patológicas encontradas na visita *in loco* foram divididas em: Infiltrações em paredes; infiltrações em teto; Descolamento da pintura e reboco e; Descolamento da pintura. Como apresentado na Tabela 6, as manifestações patológicas foram analisadas e avaliadas de acordo com os critérios adotados da metodologia matriz GUT. Foi constatado a presença de infiltrações em paredes e tetos (Figuras 18 e 19), sendo estas avaliadas como extremamente grave e urgente. As manifestações relacionadas ao descolamento de pintura e reboco foram avaliadas com uma gravidade mediana e que a tomada de decisão deve ser mais breve possível dentro de um médio prazo. Quanto ao descolamento apenas da pintura (Figura 21), foi avaliada como uma gravidade leve devido a manifestação patológica apresentar pequena influência no comprometimento do desempenho do sistema como um todo.

4. CONCLUSÕES

Diante da avaliação das manifestações patológicas através da metodologia da matriz GUT, pode-se observar quais as ocorrências afetam o comprometimento do desempenho do sistema, conforme o grau de gravidade, urgência e tendência de cada tipo de manifestação.

Observou-se que em algumas situações, as ocorrências foram originadas devido a falhas de execução e de emprego de materiais, e que os avanços das manifestações ocorreram devido à ausência de uma manutenção corretiva logo após os indícios do surgimento da manifestação.

A matriz GUT foi imprescindível para que fosse possível mensurar a gravidade do problema patológico, bem como a urgência para se tomar uma decisão e verificar qual a tendência que a manifestação poderia apresentar em caso de que nenhuma medida seja realizada para conter a manifestação patológica. Isso possibilitou designar quais manifestações são mais graves e necessitam de maior atenção.

Com isso, o presente trabalho atingiu aos objetivos propostos quando as manifestações analisadas foram classificadas e identificadas através da metodologia da matriz GUT.

5. REFERÊNCIAS

Arivabene, A. C. **Patologias em Estruturas de Concreto Armado - Estudo de Caso**. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, v. 01, n. 10, 2015.

BÖES, Jeferson Spiering. **Inspeção Predial: uma metodologia integradora para identificação e priorização de manifestações patológicas em edificações**. XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Crato, 2017.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Descolamento de Revestimentos de Argamassa Aplicados sobre Estruturas de Concreto – Estudos de casos brasileiros**. 2º Congresso Nacional de Argamassa de Construção. Lisboa, 2007.

FELTEN, D.; GRAHL, K. F. S.; LONDERO, C. **Levantamento de manifestações patológicas em marquises de concreto armado**. Revista Thêma Et Scientia, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 69-78, 2013.

HELENE, Paulo Roberto Lago. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo, Pini, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DO PARANÁ. **Inspeção e Manutenção predial**. Paraná, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE ENGENHARIA. OT-003/2015-IBRAENG: **Inspeção Predial e Auditoria Técnica Predial**. Fortaleza, 2015.

Martins, J. F. A.; Fioriti, C. F. **Investigação de manifestações patológicas em sistemas estruturais de concreto armado: estudo de caso em edificação pública**. Revista Brasileira de Iniciação Científica, Itapetinga, v. 3, n. 4, p. 90-102, maio 2016.

SILVA, R. A.; OLIVEIRA, D. R.; VIEIRA, R. B.; BRAGA, B. S. de M.; **Levantamento quantitativo de manifestações patológicas de fachadas em edificações multipavimentos na área urbana central de Patos de Minas – MG**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Foz do Iguaçu, 2016.

Soares, C. S.; Albuquerque, T. P.; dos Santos, F. G.; Farias, B. G. S.; da Cunha, C. G. S.; Crispim, H. C. **Manifestações patológicas nas salas de aula da escola agrícola Assis Chateaubriand – UEPB**. Brazilian Applied Science Review. Curitiba, v. 3, n. 1, p. 145-155, jan./fev. 2019.

Modelagem Numérica dos Efeitos da RAA Conforme a Temperatura

Edmilson Lira. Madureira^{1*}

*Autor de Contacto: edmadurei@yahoo.com.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil

RESUMO

A Reação Álcali-Agregado, RAA, foi reportada por Stanton em 1940, e, seus efeitos repercutiram a partir da década de oitenta, em razão de danos provocados em estruturas de concreto, caracterizados pela fissuração localizada, ruína global e comprometimento da funcionalidade. Apesar do volume considerável de pesquisas realizadas a solução do problema permanece incipiente. A simulação numérica constitui recurso pertinente à avaliação dos defeitos decorrentes da RAA e à consequente recuperação estrutural. O desenvolvimento, extensão e cronologia das avarias decorrentes da reação, são influenciados por uma diversidade de fatores, a exemplo da umidade, da taxa de armadura do elemento estrutural, das tensões confinantes e da temperatura. O objetivo deste trabalho é a análise da influência da temperatura sobre o desempenho mecânico de vigas, afetadas pelo efeito deletério associado à RAA. Para o seu cumprimento é empregado “software” desenvolvido com base no método dos elementos finitos, relações constitutivas não lineares em estado plano de tensões para o concreto, e, um modelo termodinâmico para a avaliação de suas deformações por RAA. Os resultados obtidos indicaram que o declínio da resistência inicial do concreto, resultou na diminuição da margem de segurança ao colapso, que em alguns casos foi deflagrado, e, para as temperaturas mais elevadas foi substancialmente antecipado.

Palavras chave: Simulação; Vigas; Temperatura; Reação Álcali-Agregado

1. INTRODUÇÃO

A Reação Álcali-Agregado, RAA, transformação química envolvendo os álcalis do cimento e minerais dos agregados do concreto, foi reportada por Stanton em 1940 e despertou interesse no âmbito da Engenharia Civil a partir da década de oitenta, devido a danos estruturais decorrentes de seus efeitos então constatados. As deficiências decorrentes incluíam fissuração local, ruína generalizada e comprometimento da funcionalidade.

Apesar do volume considerável de pesquisas a efetiva solução do problema ainda requer o aperfeiçoamento da teoria envolvendo a descrição do fenômeno experimentalmente fundamentado. A simulação numérica constitui recurso fundamental para a estimativa das avarias provocadas pela RAA, podendo auxiliar a tomada de decisões quanto à recuperação estrutural, e, servir de base para modificações de critérios de dimensionamento.

O desenvolvimento, extensão e cronologia de danos do efeito expansivo da RAA são influenciados por extensa diversidade de fatores condicionantes, tais como o teor de umidade, a taxa de armadura do membro estrutural, as tensões confinantes e a temperatura.

O objetivo deste trabalho é a simulação numérica do desempenho mecânico de vigas de concreto armado, afetado pela ação deletéria da Reação Álcali-Agregado.

Com vistas ao atendimento de tal finalidade foi empregado “software” desenvolvido com base no método dos elementos finitos e relações constitutivas não lineares, e, um modelo termodinâmico de materiais porosos reativos, para a avaliação das deformações do concreto por RAA.

A análise foi realizada em estado plano de tensões sobre modelos diferenciados entre si pela taxa de armadura, pela intensidade do carregamento e pela temperatura.

2. MODELAGEM

Em problemas bidimensionais, a matriz constitutiva referente ao modelo ortotrópico não linear pode ser definida com base nas deformações equivalentes dadas por:

$$\varepsilon_{ei} = \varepsilon_i + D_{ij} \varepsilon_j / D_{ii} \quad (1)$$

Os índices “i” e “j” representam as direções principais, os “D_{ij}” os elementos da matriz constitutiva, e os parâmetros ε_i e ε_j são as deformações segundo as direções principais.

Para o concreto em compressão foram adotadas as relações de (Hognestad, 1951):

$$\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_p}{\varepsilon_p} \left(1 - \frac{\varepsilon}{2 \cdot \varepsilon_p} \right) \cdot \varepsilon \quad \text{para } \varepsilon_p < \varepsilon < 0 \quad (2)$$

$$\sigma = \sigma_p \left(1 - \frac{3}{20} \frac{\varepsilon - \varepsilon_p}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_p} \right) \quad \text{para } \varepsilon_{cu} < \varepsilon < \varepsilon_p$$

onde “ σ_p ” é a tensão de pico do concreto, “ ε_p ” a deformação a ela correspondente, e, “ ε_{cu} ” a deformação limite última de ruptura do material. Essas equações representam os trechos de endurecimento e de amolecimento, seguimentos **OA** e **AB**, respectivamente, da curva tensão-deformação para o concreto, figura 1.a.

Para o concreto em tração, trecho OCD da curva da figura 1.a, adotou-se um modelo de fissuras distribuídas, cujas vantagens são considerar a continuidade do campo de deslocamentos, e, dispensar modificações topológicas da malha de elementos finitos, no decorrer da análise.

As tensões limite são definidas a partir da envoltória de (Kupfer and Gerstle, 1973), figura 1.b. O comportamento do aço, por sua vez, foi considerado elástico perfeitamente plástico.

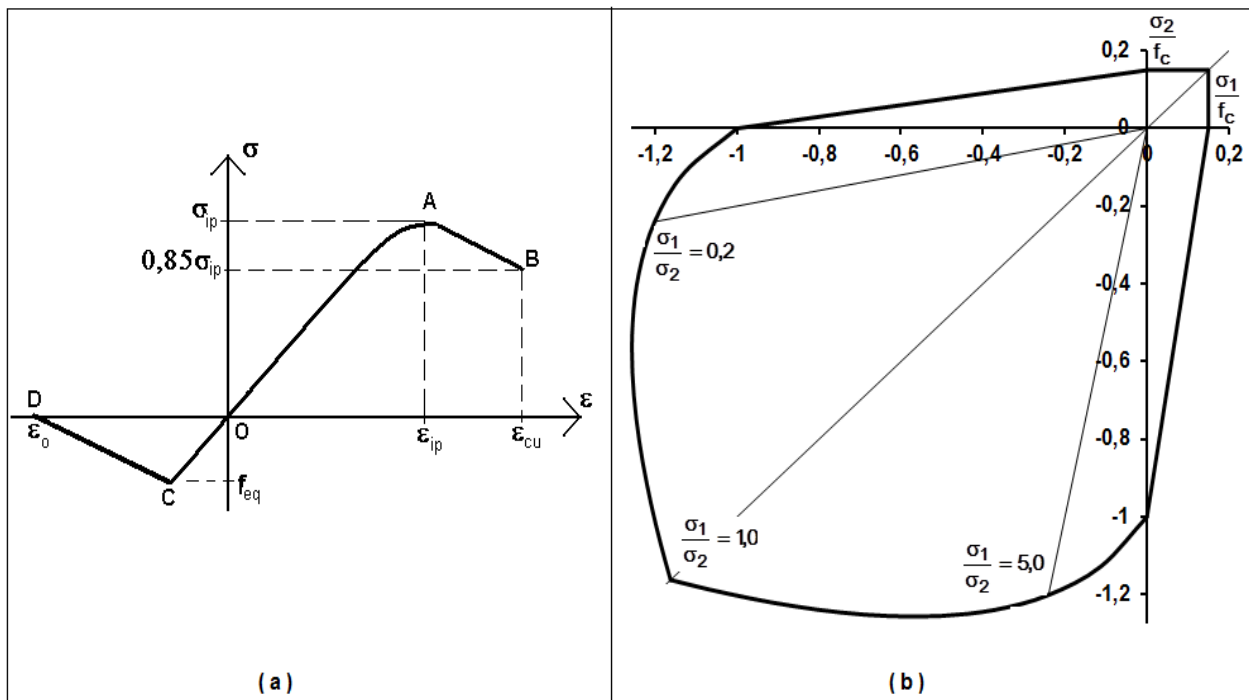


Figura 1. a) Curva tensão deformação para o concreto; b) Envoltória de ruptura do concreto

Para a simulação das expansões com o tempo, foi adotada formulação termodinâmica, assim denominada porque correlaciona as deformações por RAA com a cinética da reação química. (Capra and Sellier, 2002) propuseram para modelo termodinâmico a formulação:

$$\epsilon^{RAA} \approx 0 \text{ para } A < A_0 \quad (3)$$

$$\epsilon^{RAA} = \frac{\epsilon_0}{A_0} (A - A_0) \text{ para } A > A_0$$

onde “A” é o teor de álcalis consumido na reação; “A₀” é o valor de “A” ao início da expansão do concreto, e, “ ϵ_0 ” é a parcela a ser deduzida da deformação, para considerar a defasagem entre os inícios da reação e da expansão da matriz de concreto, figura 2.

Para a modelagem da cinética da reação (Capra and Bournazel, 1998), propuseram a equação:

$$\frac{dA}{dt} = k(T)(1 - A) \quad (4)$$

para a qual “k(T)” é a constante cinética associada à lei de Arrhenius, avaliada a partir de:

$$k(T) = k_0 e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (5)$$

onde “E_a” é a energia de ativação, “R” a constante do gás ideal, “T” a temperatura, e, “k₀” a constante cinética. A solução da equação 4 deve ser:

$$A = 1 - (1 - A_0)e^{-kt} \quad (6)$$

Resultando, para a equação 3 no intervalo $A > A_0$, a forma:

$$\varepsilon^{RAA}(t, T) = \frac{\varepsilon_0}{A_0} (1 - A_0) (1 - e^{-(k_0 e^{-E_a/RT})t}) \quad (7)$$

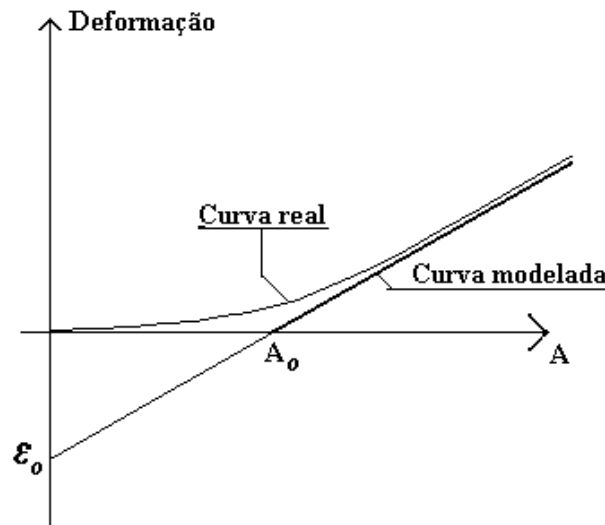


Figura 2. Esquema gráfico para definição dos parâmetros “ ε_0 ” e “ A_0 ”

A influência das tensões confinantes foi considerada mediante o critério proposto por (Charlwood, 1994), expresso na forma:,

$$0 \leq \sigma_i \leq \sigma_L \rightarrow \varepsilon_g = \varepsilon_u \quad (8)$$

$$\sigma_L \leq \sigma_i \leq \sigma_{\max} \rightarrow \varepsilon_g = \varepsilon_u - K \cdot \log_{10} \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_L} \right)$$

onde “ σ_i ” é a tensão principal na direção “i” em MPa, “ ε_g ” a deformação confinada, “ ε_u ” a deformação não confinada. O parâmetro “ σ_L ” é a tensão abaixo da qual a expansão é livre e deve ser avaliado em 0,30 MPa. O parâmetro “ σ_{\max} ” é a tensão para a qual a deformação por RAA é nula, cujo valor é da ordem de 8.0 MPa, e “K” é a Inclinação da reta $\varepsilon \times \log \sigma$.

A influência da umidade é expressa mediante a curva de (Poole, 1992):

$$F(H) = H^m \quad (9)$$

onde “m” é um parâmetro de ajuste, considerado igual a 8, e “H” é o teor de umidade.

A degradação do concreto por RAA foi modelada conforme (Pietruszczac, 1996), adaptada à taxa de variação das deformações por RAA do modelo de (Capra and Sellier, 2002), resultando:

$$E = E_o \left[1 - (1 - A_E) \left(1 - \frac{1}{1 - A_o} e^{-(k_o e^{-E_a / RT}) t} \right) \right] \quad (10)$$

e,

$$f_c = f_{co} \left[1 - (1 - A_f) \left(1 - \frac{1}{1 - A_o} e^{-(k_o e^{-E_a / RT}) t} \right) \right] \quad (11)$$

onde “E” e “E_o” são os módulos de deformação final e inicial do concreto, respectivamente, e, “f_c” e “f_{co}” suas resistências à compressão. Os parâmetros “A_E” e “A_f” são os fatores de intensidade da degradação do módulo de elasticidade e da resistência à compressão do concreto, respectivamente.

3. SUPORTE COMPUTACIONAL

Foi utilizado o “software” Análise Constitutiva Não Linear – ACNL, baseado no método dos elementos finitos (MEF) e escrito em linguagem FORTRAN. O referido código computacional inclui em sua pauta algorítmica a formulação dos elementos isoparamétricos de aproximação quadrática, lineares **L3**, figura 3.a, voltados para a simulação das barras de aço, e planos quadriláteros **Q8**, figura 3.b, destinados à discretização da região da massa de concreto.

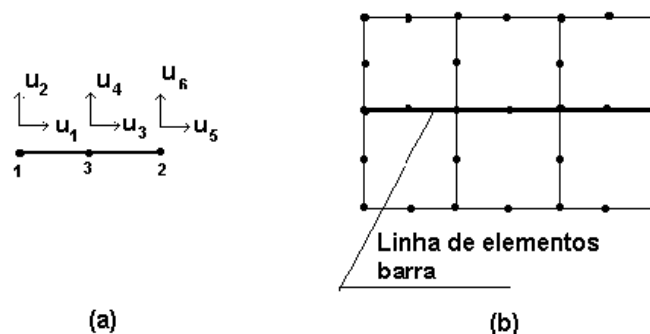


Figura 3. Elementos finitos: a -) Lineares L3; b -) Planos Q8

4. VALIDAÇÃO DO SOFTWARE

Um pilar de concreto de 3,00 m de comprimento e seção retangular com dimensões de 0,25 m x 0,40 m, armado com quatro barras de 10 mm de diâmetro foi analisado em estado plano de tensões utilizando-se o programa, e, mediante modelagem simplificada em estado de solicação uniaxial, pautada nos postulados da mecânica dos sólidos (Rodrigues, 2014), constatando-se boa concordância de resultados, tabela 1.

Tabela 1. Deslocamentos por RAA

Tempo (Dias)	Deslocamentos (10 ⁻³ mm)		
	Modelo teórico	Modelo numérico	Diferença(%)
75	5,27	5,24	0,6
150	9,90	9,80	1,0
600	28,30	28,10	0,7
1200	41,20	40,90	0,7
2500	54,00	53,60	0,7

5. MODELOS ANALISADOS

Foram analisadas vigas com as dimensões ilustradas na figura 4, manufaturadas em concreto C20, com módulo de deformação e coeficiente de Poisson de 21300 MPa e 0,17, respectivamente, armado com barras de aço CA-50, distribuídas conforme figura 4.

A energia de ativação foi avaliada em $8500 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-1}$, Ghanem *et al.*, (2010), e, para o número de Avogadro foi adotado o valor $6,02214129 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Os fatores de intensidade da degradação do módulo de elasticidade, e , da resistência à compressão do concreto foram fixados em $A_E = 0,3$ e $A_f = 0,4$, respectivamente.

Os escoramentos das vigas são retirados aos 30 dias de idade do concreto quando foram carregadas mediante ação uniformemente distribuída ao longo de toda a sua extensão longitudinal, figura 4.

A data limite para observação do fenômeno foi fixada em 8000 dias.

Aproveitando a simetria do problema, o seu domínio no plano “xy” pôde ser definido conforme figura 4 que, uma vez discretizado adotando-se dimensão igual a 0,10 m, resultou em malha de elementos finitos com 186 elementos planos e 62 elementos unidimensionais.

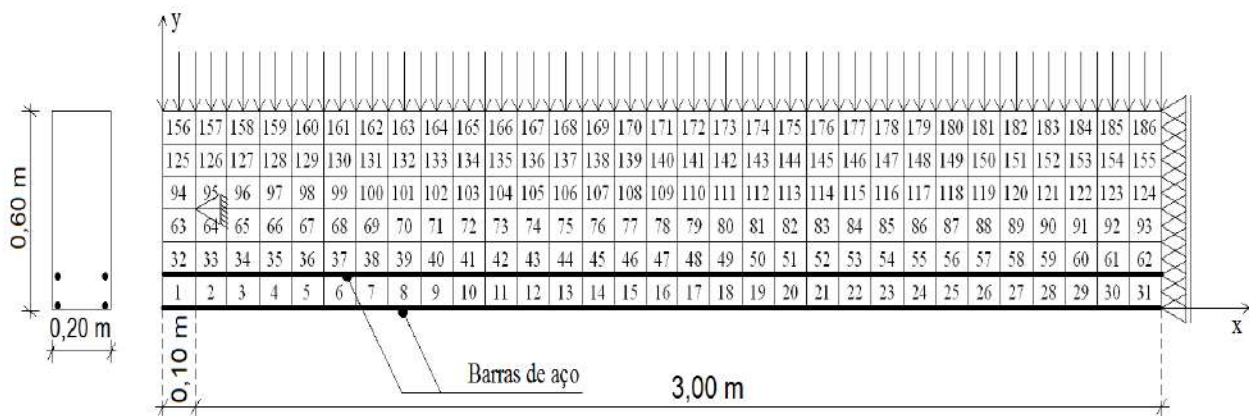


Figura 4. Domínio do problema e malha de elementos finitos

Tabela 2. Modelos estudados

Caso	T (°C)	As (cm ²)	σ (MPa)	Caso	T (°C)	As (cm ²)	σ (MPa)
1	20	3,20	1	15	50	5,00	9
2	20	3,20	5	16	50	8,00	1
3	20	3,20	9	17	50	8,00	5
4	20	5,00	1	18	50	8,00	9
5	20	5,00	5	19	100	3,20	1
6	20	5,00	1	20	100	3,20	5
7	20	8,00	1	21	100	3,20	8
8	20	8,00	5	22	100	5,00	1
9	20	8,00	9	23	100	5,00	5
10	50	3,20	1	24	100	5,00	9
11	50	3,20	5	25	100	8,00	1
12	50	3,20	9	26	100	8,00	5
13	50	5,00	1	27	100	8,00	9
14	50	5,00	5				

Foram analisados vinte e sete casos diferenciados entre si pela temperatura, pela taxa de armadura e pela intensidade estimada para a tensão solicitante, tabela 2.

A análise se refere a pontos da viga localizados nas proximidades do centro de seu vão.

Neste trabalho, a razão entre a tensão solicitante e a respectiva tensão resistente, aqui denominada Tensão Normalizada, foi adotada como parâmetro de referência indicativo da proximidade da ruína do concreto. A condição última referente à perda de capacidade do material em transmitir esforços é considerada iminente quando o valor de tal parâmetro se aproximar da unidade.

6. RESULTADOS

Para os casos “2”, “5”, “8”, “11”, “14”, “17”, “20”, “23” e “26”, que correspondem às vigas submetidas à tensão máxima de compressão no ponto de referência da ordem de 5 MPa, a configuração de equilíbrio para o carregamento solicitante pode ser representada, em termos de deslocamentos e tensões, pelos campos das Figuras 5 e 6. Constata-se, portanto, deslocamento vertical descendente no meio do vão do membro estrutural da ordem de 3,5 mm. Tal deslocamento foi de 7,0 mm, para os casos referentes à tensão de 9 MPa, e de 0,6 mm, para o caso no qual a viga é isenta de carregamento externo suportando assim, exclusivamente, seu peso próprio, Tabela 3.

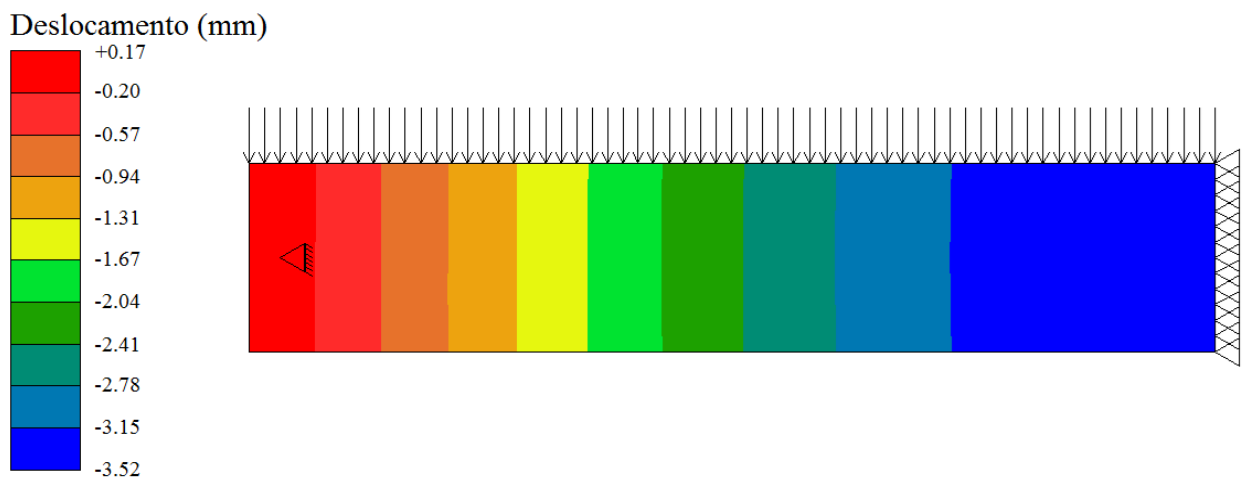


Figura 5. Deslocamento imediato ao carregamento para o caso "2"

Uma vez deflagrado o efeito expansivo da RAA na massa sólida de concreto, as vigas deformaram-se progressivamente e os deslocamentos verticais do ponto de referência processaram-se em sentido ascendente, tendendo, portanto a reverter os deslocamentos imediatos. Tais movimentações evoluíram conforme as curvas da Figura 7 e estabilizaram, em geral, após 6000 dias, quando assumiram a distribuição do campo ilustrado na Figura 8.

Para os casos “1”, “4” e “10”, referentes ao modelo na condição de viga descarregada, o acréscimo final de deslocamentos por RAA foi da ordem de 2,3 mm, Tabela 3, correspondendo a 3,6 vezes o valor constatado no instante imediato à remoção do escoramento do membro estrutural. Em se tratando dos casos “2”, “11” e “20”, para os quais o modelo é submetido à tensão solicitante de 5 MPa, os deslocamentos adicionais por RAA estabilizaram-se em torno de 1,8 mm, valor que representa 50% do deslocamento apresentado no instante imediato ao carregamento, Tabela 3. Para os casos “3”, “12” e “21” para os quais o modelo é solicitado mediante tensão da ordem de 8,0 MPa, por sua vez, os deslocamentos adicionais por RAA, atingiram valor em torno de 1,1 mm, e, portanto, com magnitudes inferiores a 15% do deslocamento imediato ao carregamento, Tabela 3. Para os demais casos estudados o desempenho da viga, em face do efeito expansivo decorrente da Reação álcali-Agregado, foi semelhante, diferindo, sobretudo, nos valores obtidos para o parâmetro

em destaque, Tabela 3. Ressalta-se que, para tensões de compressão de maior intensidade, os deslocamentos por RAA assumiram magnitude menos significativas. Examinando-se ainda as curvas da Figura 7, constata-se que os deslocamentos por RAA são tanto menores, quanto maior a taxa da armadura de aço.

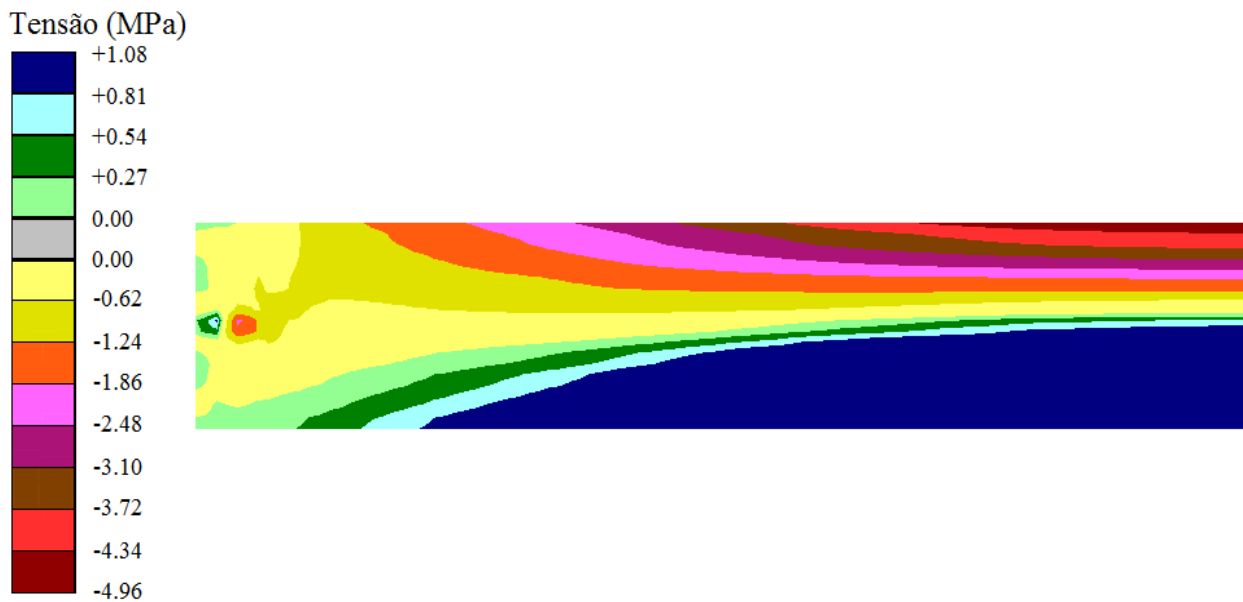


Figura 6. Tensões na direção "x" imediatas ao carregamento para o caso "2"

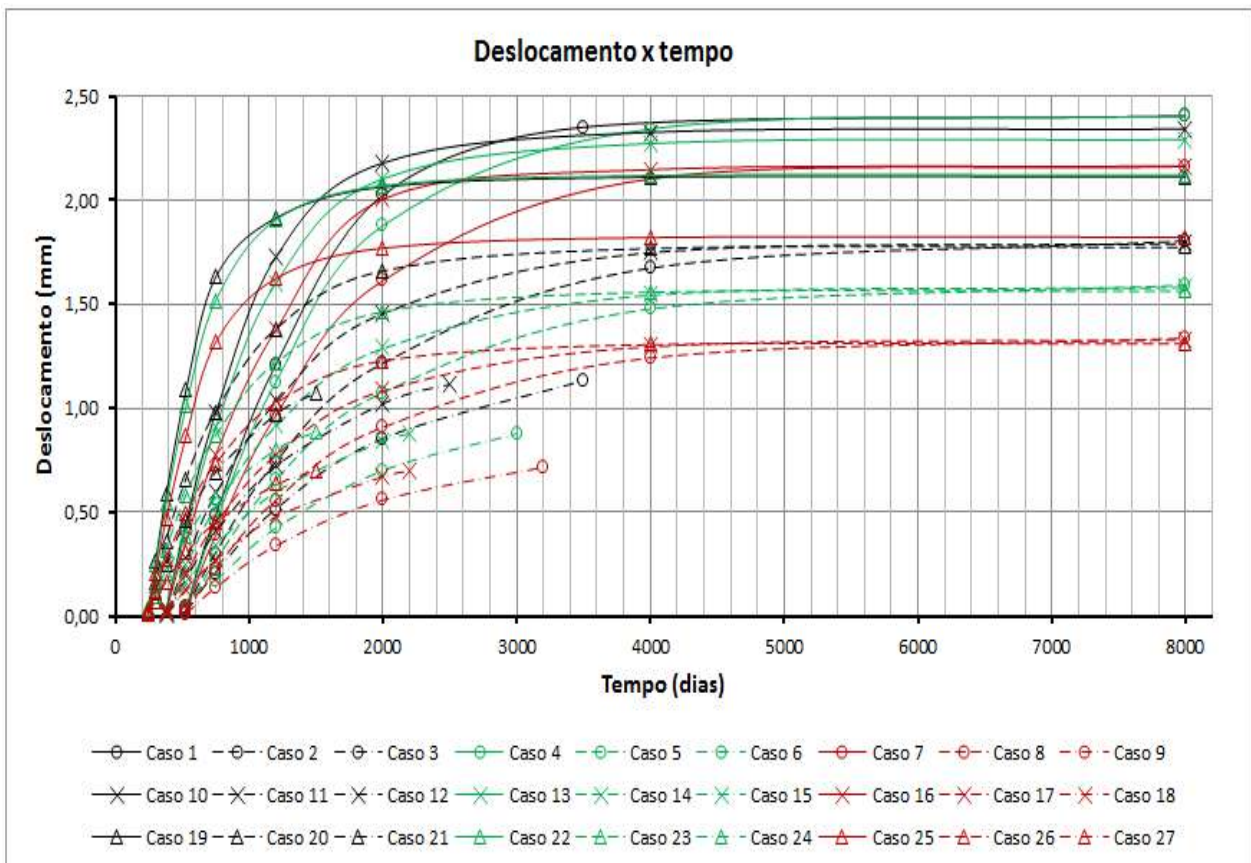


Figura 7. Deslocamentos na direção "x" devidas à RAA

Deslocamento (mm)

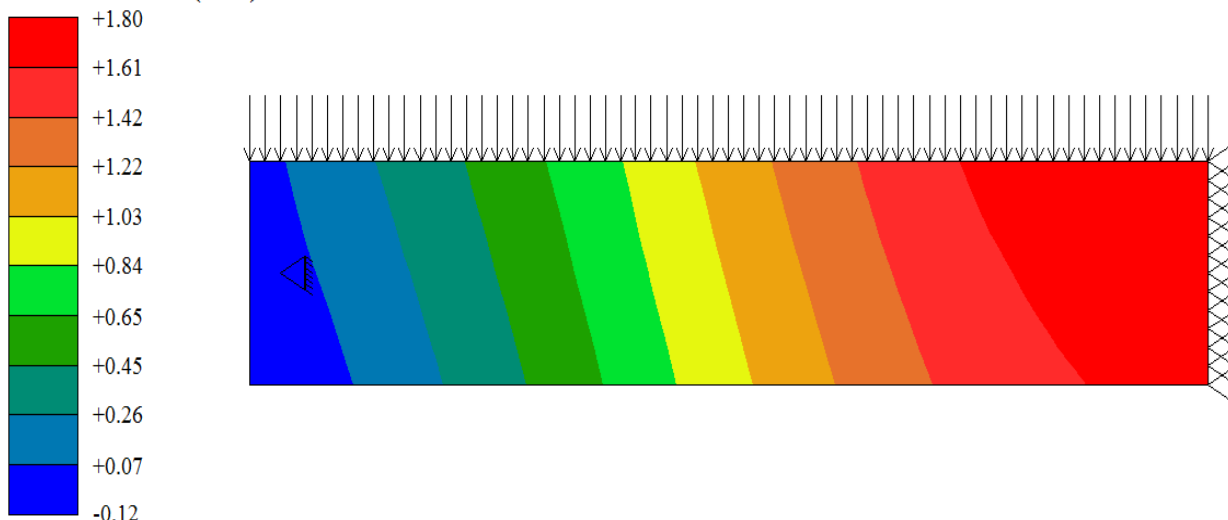


Figura 8. Deslocamento por RAA aos 8000 dias de idade para o caso "2"

Para os casos de "1" a "9", Figura 9, com temperatura fixada em 20°C, os deslocamentos decorrentes da RAA só tiveram início aos 510 dias de idade do concreto, enquanto, para os casos de "10" a "18", referentes à temperatura de 50°C, e para os casos de "19" a "27", concernentes à temperatura de 100°C, o início dos deslocamentos se deu aos 370 dias e 240 dias, respectivamente, corroborando assim o efeito estimulante da temperatura sobre o fenômeno.

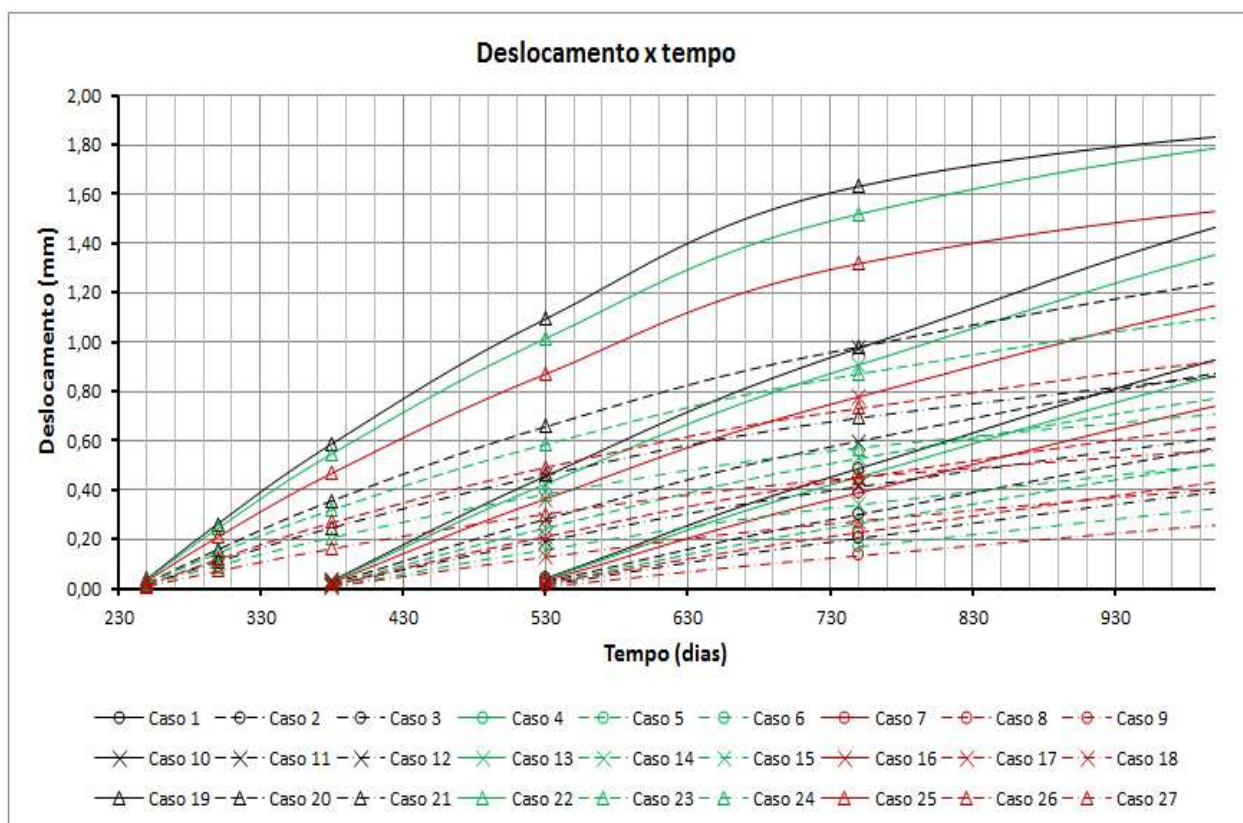


Figura 9. Início dos deslocamentos na direção "x" devidas à RAA

Os resultados obtidos revelaram que, para os casos nos quais a viga é submetida a carregamento externo, as deformações por RAA promoveram o alívio de tensões de compressão no concreto com o tempo, na região central de seu banzo superior, embora em níveis bem discretos, Figura 10. O mesmo se dá para os casos em que a viga é solicitada exclusivamente pelo peso próprio, e são providas de seções de barras de aço com áreas de 3,20 cm² e 5,00 cm². Entretanto, na hipótese em que a área da seção transversal da armadura é de 8,00 cm², verifica-se tendência contrária, o que pode ser explicado pela maior efetividade do efeito de tirante das barras de aço de maior área e, portanto, de maior rigidez.

A análise comparativa das Figuras 11 e 12, que se referem ao caso “6”, além decorroborar o comportamento em termos gerais, relatado no parágrafo anterior, assinala uma ampliação perceptível da região comprimida da viga. Os demais casos apresentaram similar.

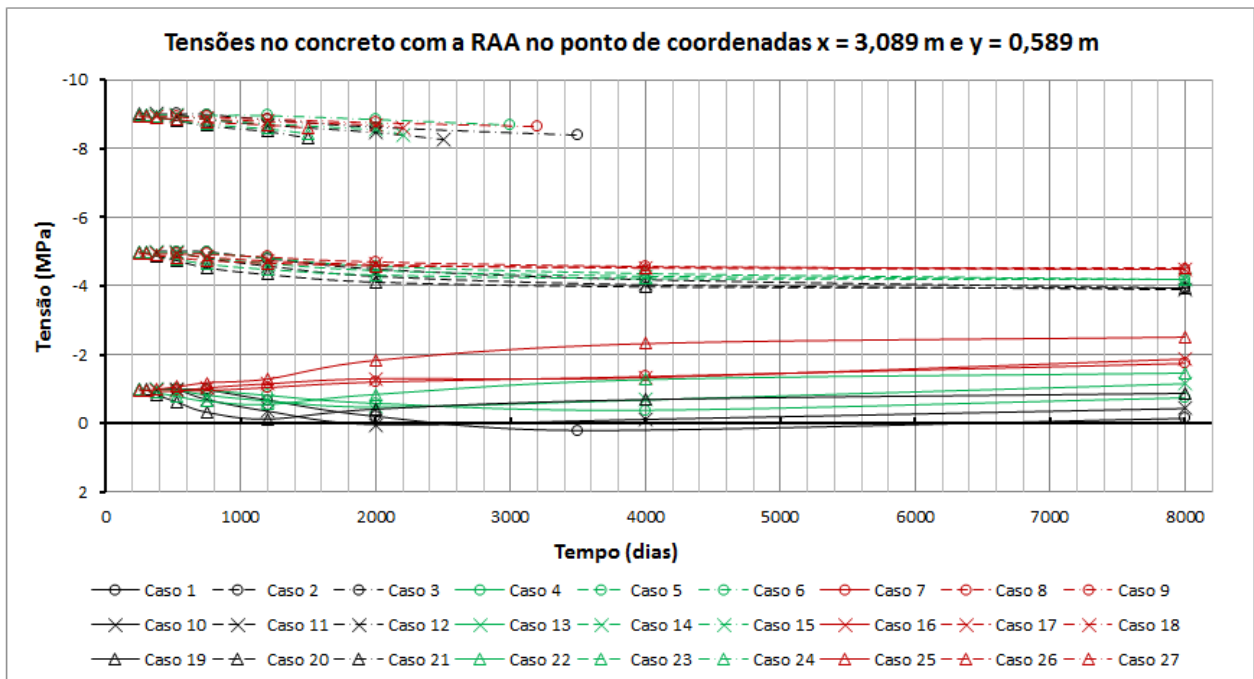


Figura 10. Tensões no concreto na direção "x" devidas à RAA



Figura 11. Tensões na direção "x" imediatas ao carregamento para o caso 6

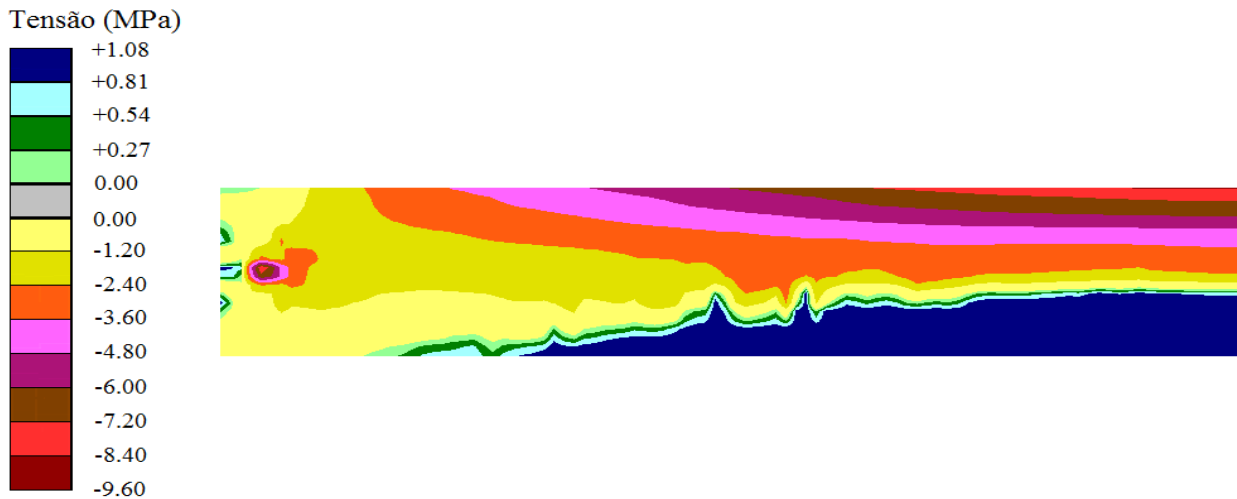


Figura 12. Tensões na direção "x" aos 8000 dias com a RAA para o caso 6

Examinando-se as curvas da Figura 13 observa-se que, para os casos "1", "4", "7", "10", "13", "16", "19", "22" e "25", correspondentes às vigas com solicitação externa nula, as tensões nas barras da armadura de aço que no instante imediato ao carregamento apresentavam intensidade de 10 MPa, recebeu sobretensão tendo sua intensidade elevada para valor em torno de 30 MPa. Para os demais casos o comportamento foi inverso, sendo que para os casos "3", "6", "9", "12", "15", "18", "21", "24" e "27", o alívio de tensões foi de aproximadamente 140 MPa para valor em torno de 110 MPa, enquanto para os casos "2", "5", "8", "11", "14", "17", "20", "23" e "26" constatou-se variação de intensidade de 70 MPa para valor em torno de 25 MPa. Há, entretanto, de se ponderar que a intensidade das tensões nas barras da armadura de aço no instante imediato ao carregamento assim como suas variações decorrentes do desenvolvimento da RAA não são em nada preocupantes uma vez que as intensidades envolvidas permaneceram bem abaixo da tensões limite de escoamento do material.

As curvas da Figura 14 mostram que, em todos os casos estudados, o efeito expansivo da RAA promoveu a aumento da Tensão Normalizada em compressão. Para os casos "1", "4", "7", "10", "13", "16", "19", "22" e "25" o aumento registrado foi discreto perdurando, aos 8000 dias de idade do concreto, margem de segurança considerável. Para os casos "2", "5", "8", "11", "14", "17", "20", "23" e "26" o acréscimo foi de 0,25 para em torno de 0,70 aos 8000 dias de idade do concreto, perdurando uma margem de segurança em torno de 30%. Em relação aos casos "3", "6", "9", "12", "15", "18", "21", "24" e "27", a Tensão Normalizada que ao início das expansões por RAA situava-se em torno de 0,45, apresentou aumento para valor igual a 1,0, determinando uma condição de elevada probabilidade de ruína do concreto. Para os casos "3", "6" e "9", que se referem à temperatura de 20°C, esta condição seria alcançada aos 3250 dias de idade do concreto. Para os casos "12", "15" e "18", concernentes à temperatura de 50°C, a condição de ruína consumir-se-ia à idade de 2300 dias do concreto, e, para os casos "21", "24" e "27", atinentes a nível térmico de 100°C, o colapso seria desencadeado aos 1500 dias. Assim, em razão do efeito acelerador exercido pela temperatura sobre a reação álcali-agregado, a ruína do concreto desencadeia-se em idades mais jovens quando o membro estrutural é mantido em ambientes de temperaturas mais elevadas.

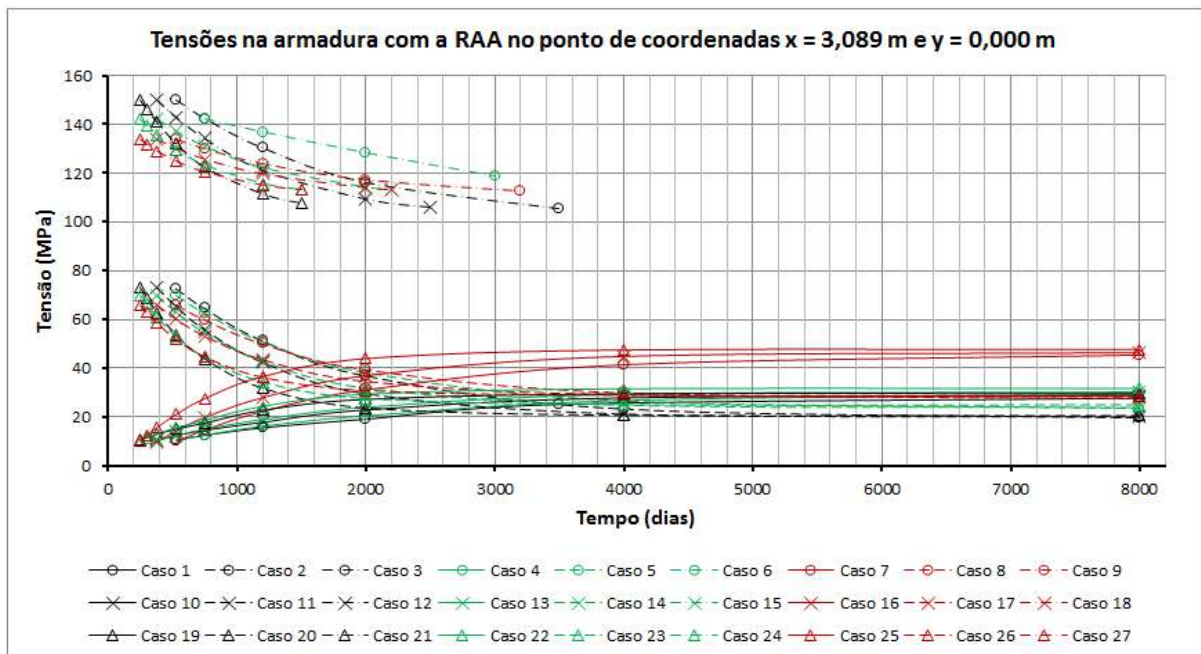


Figura 13. Tensões na armadura na direção "x" devidas à RAA

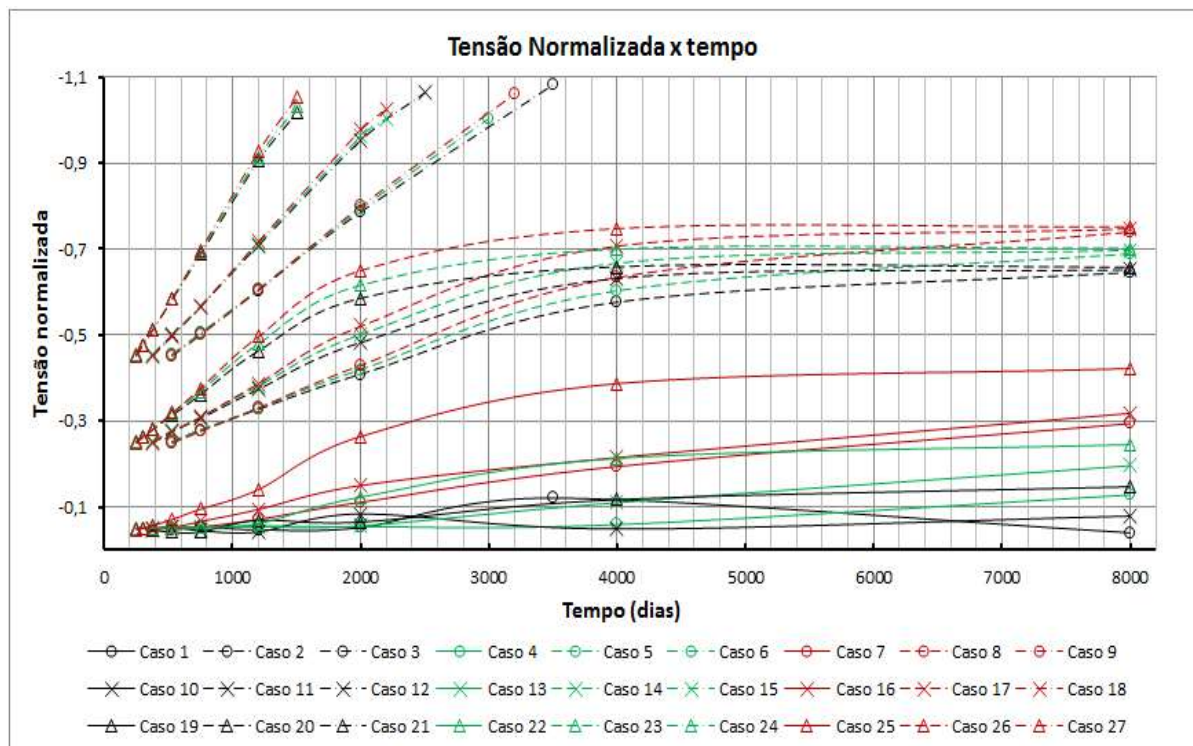


Figura 14. Tensão normalizada com a RAA

Para todos os casos estudados as tensões na massa de concreto na direção "y" apresentaram intensidade pouco significativa à exceção da região da vizinhança dos apoios onde ocorreu perturbação que levou à iminência da ruína. A partir da análise comparativa dos campos ilustrados nessas figuras constata-se a ocorrência de aumento discreto de intensidade de tensões na região da vizinhança dos apoios, bem como a ampliação da zona comprimida da viga como um todo.

Tabela 3. Resumo de deslocamentos e tensões para todos os casos de análise

Caso	Deslocamento (mm)		Tensão no concreto (MPa)		Tensão na Armadura (MPa)	
	Carregamento	RAA	Carregamento	RAA	Carregamento	RAA
1	-0,64	2,41	-0,99	-0,14	10,42	27,74
2	-3,52	1,80	-5,00	-3,92	73,59	19,54
3	-6,98	1,13	-9,01	-8,38	150,66	105,51
4	-0,62	2,40	-0,97	-0,74	10,07	29,38
5	-3,50	1,59	-4,98	-4,18	70,50	23,74
6	-6,96	0,88	-8,98	-8,49	142,70	112,99
7	-0,59	2,16	-0,94	-1,74	9,53	45,42
8	-3,45	1,34	-4,94	-4,49	66,53	27,71
9	-6,88	0,72	-8,95	-8,64	133,97	112,68
10	-0,64	2,34	-0,99	-0,43	10,42	28,78
11	-3,52	1,80	-5,00	-3,91	73,59	19,94
12	-6,98	1,12	-9,01	-8,28	150,66	106,01
13	-0,62	2,29	-0,97	-1,15	10,07	30,27
14	-3,50	1,58	-4,98	-4,18	70,50	24,12
15	-6,96	0,88	-8,98	-8,41	142,70	113,07
16	-0,59	2,16	-0,94	-1,87	9,53	46,38
17	-3,45	1,33	-4,94	-4,50	66,53	28,08
18	-6,88	0,70	-8,95	-8,59	133,97	113,22
19	-0,64	2,11	-0,99	-0,87	10,42	29,63
20	-3,52	1,78	-5,00	-3,94	73,59	20,62
21	-6,98	1,07	-9,01	-8,33	150,66	107,79
22	-0,62	2,12	-0,97	-1,46	10,07	31,68
23	-3,50	1,56	-4,98	-4,20	70,50	24,91
24	-6,96	0,88	-8,98	-8,45	142,70	113,06
25	-0,59	1,82	-0,94	-2,51	9,53	47,69
26	-3,45	1,31	-4,94	-4,51	66,53	28,79
27	-6,88	0,70	-8,95	-8,61	133,97	113,30

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos ressaltaram a ação inibidora promovida pela tensão de compressão sobre a expansão por RAA, uma vez que os deslocamentos decorrentes do fenômeno apresentaram magnitudes tanto menores quanto maior a intensidade da referida tensão.

Foi evidenciado, inclusive, o efeito de contenção exercido pelas barras da armadura de aço sobre as deformações que assumiram valores tanto menores quanto maior a taxa de armadura de aço.

Em geral, as expansões por RAA promoveram alívio de tensões de compressão com o tempo na região central do banzo superior da viga, exceto nos casos em que a viga está solicitada apenas por seu peso próprio, exclusivamente, para a maior taxa de armadura, o que pode ser explicado pela

maior efetividade do efeito de tirante exercido pelas barras de aço de maior área e, portanto, de maior rigidez.

As variações dos campos de tensões com o desenvolvimento da RAA foram discretas, o que deve ser atribuído ao fato de os deslocamentos terem apresentado baixa magnitude, e em razão de a viga ser externamente isostática e o grau de hiperstaticidade interna do conjunto ser insuficiente para provocar redistribuição expressiva de tensões.

A ação deletéria da RAA caracterizou-se em face do empobrecimento do desempenho mecânico promovido pelo fenômeno, uma vez que, apesar da pouca da variabilidade da tensão solicitante, verificou-se aumento das tensões normalizadas em relação à tensão de pico do concreto, ao cúmulo de, especialmente, para os casos de maior tensão inicial, assumir valores iguais à unidade, caracterizando condição iminente de ruína.

Os resultados obtidos revelaram que a influência da temperatura se restringe à cinética da reação, ressaltando que, em temperaturas mais baixas, o fenômeno foi deflagrado, e, posteriormente, estabilizado, em idades mais avançadas, podendo justificar a periodicidade diferenciada para as intervenções corretivas da patologia conforme a temperatura.

8. REFERENCIAS

Capra, B. and BournazeL, J. P. (1998), Modelling of Induced Mechanical effects of Álkali-Agregate Reactions. *Cement and Concrete Research*, 28(2):251-260.

Capra, B. and Sellier, A. (2002), Ortotropic Modelling of Alkali-Aggregate Reaction in Concrete Structures: Numerical Simulations. *Mechanics of Materials*,

Hognestad, E. (1951). A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members. *Bolletín n. 399, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, Illinois*, 49(22).

Kupfer, H.B. and Gerstle, K.H. (1973), Behaviour of Concrete under Biaxial Stresses. *Journal of Engineering Mechanics*. 99(4):853-866.

Pietruszczac, S. (1996). On the Mechanical Behaviour of Concrete Subjected to Alkali-Aggregate Reaction. *Computers & Structures*. 58(6):1093-1097.

Madureira, E.L, Rodrigues, E.C. e da Silva, J.C. (2015), “Simulação Numérica do Efeito da Temperatura em Pilar Parede Submetido à Reação Álcali-Agregado”. *57 Congresso Brasileiro de Concreto*. Bonito – Mato Grosso do Sul.

RODRIGUES, E.C. (2014), “Análise Numérica do Efeito de Fatores Influentes da Reação Álcali-Agregado no Desempenho de Estruturas de Concreto”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Produção De Cimentos Geopoliméricos Para Mitigação Da Reação Álcali Agregado Em Estruturas De Concreto De Cimento Portland.

M. Valenga^{1*}, R. Przybysz¹, E. Pereira^{1,2}, E. Pereira^{1,2}

*Autor de Contacto: matheus.villian.valenga1234@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

RESUMO

O Metacaulim como adição pozolânica pode consumir também álcalis e formar geopolímeros na microestrutura do concreto, sendo que o objetivo deste estudo é utilizá-lo para a mitigação da reação álcali-agregado (RAA) em dois agregados – A (reativo) e B (inócuo). Foram produzidas 3 amostras por ensaio nas porcentagens 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. A metodologia utilizada baseou-se em ensaios acelerados em barras de argamassa, compressão axial de corpos de prova e microscopia eletrônica de varredura. A adição mitigou expansões da RAA das amostras, aumentou resistências a compressão para o agregado inócuo e às diminuiu para o agregado reativo. Também se identificou formação de geopolímeros nas microestruturas. O metacaulim mostrou-se um material eficiente para mitigação da RAA e produção de geopolímeros.

Palavras chave: Concreto; Durabilidade; Reação Álcali-Agregado; Mitigação; Geopolímeros.

RESUMEN

La metacaolina como adición puzolánica también puede consumir álcalis y formar geopolímeros en la microestructura del concreto, el propósito de este estudio es utilizarlo para mitigar la reacción álcali-agregado (RAA) en dos agregados: A (reactivo) y B (inocuo). Se produjeron tres muestras por ensayo en los porcentajes 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. La metodología utilizada se basó en ensayos acelerados en barras de mortero, compresión axial de cuerpos de prueba y microscopía electrónica de barrido. La adición mitigó las expansiones de RAA de las muestras, aumentó la resistencia a la compresión para el agregado inocuo y las disminuyó para el agregado reactivo. También se ha identificado la formación de geopolímeros en las microestructuras. El metacaolín demostró ser un material eficaz para mitigar la RAA y producir geopolímeros.

Palabras llave: Concreto; Durabilidad; Reacción álcali-agregado; Mitigación; Geopolímeros;

ABSTRACT

Metakaolin as a pozzolanic addition can also consume alkalis and form geopolymers in the concrete microstructure, and the aim of this paper is use it to mitigate the alkali-aggregate reaction (AAR) in two aggregates - A (reactive) and B (innocuous). Three samples were produced per assay at percentages of 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. The methodology used was based on accelerated tests on mortar bars, axial compression of specimens and scanning electron microscopy. The addition mitigated AAR expansions of the samples, increased compressive strengths for the innocuous aggregate and decreased them for the reactive one. It was also identified the formation of geopolymers in microstructures. Metakaolin proved to be an efficient material for mitigating AAR and producing geopolymers.

Key words: Concrete; Durability; Alkali-Aggregate Reaction; Mitigation; Geopolymers;

1. INTRODUÇÃO

A reação álcali-agregado (RAA) é uma das mais conhecidas manifestações patológicas do concreto, que ganhou cada vez mais destaque após sua descoberta no início do século XX por Stanton nos Estados Unidos. Desde então, diversas recomendações surgiram para mitigar os seus efeitos deletérios nas estruturas de concreto de cimento Portland em prol de garantir sua integridade mecânica e durabilidade. As principais precauções a serem tomadas são a não utilização de agregados reativos, utilização de cimento com baixas quantidades de álcalis, uso de aditivos químicos ou a substituição do cimento por materiais cimentícios complementares que não permitam o desenvolvimento da RAA, como cinza volante, sílica ativa, metacaulim, etc. (Carles-Gibergues *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 1993).

Um dos mecanismos de degradação da RAA se dá pela interação de álcalis (Na^+ , K^+ e Ca^+) e hidroxilas (OH^-) oriundos do processo de hidratação do cimento na solução de poros da estrutura do concreto. Inicia-se com o grupo silanol (Si-OH) sendo atacado pelas hidroxilas na superfície do agregado liberando água e adquirindo caráter anódico (Si-O^-), o qual é balanceado pelos álcalis na solução de poros. A reação continua com o ataque de hidroxilas ao siloxano (Si-O-Si) numa camada interior do agregado, sendo necessário adsorção de água e álcalis para atingir estabilidade de cargas além de solubilidade, tendo como produto um gel higroscópico que causa tensões internas devido sua expansão. Em seguida os álcalis Na^+ e K^+ dos produtos formados são substituídos por Ca^+ devido a força de sua ligação ser maior, liberando de forma contínua os cátions monovalentes em solução, tornando o processo da reação renovável até o consumo dos reagentes disponíveis (Broekmans, 2012; Pereira, 2018; Williamson e Juenger, 2016; Zeidan e Said, 2017)

Nesse contexto, as adições têm o papel de impedir o desenvolvimento da reação álcali-agregado utilizando a sílica reativa presente nos agregados para gerar produtos como silicato de cálcio hidratado (CSH) ou estruturas chamadas de geopolímeros (Sakulich *et al.*, 2010). Uma hipótese conhecida é que as adições pozolânicas em geral diminuem a difusão de íons na solução de poros da estrutura além de consumir o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) existente mitigando a RAA pela inibição da liberação de Na^+ e K^+ , porém a afirmativa deve ser estudada para maior entendimento dos mecanismos das reações e determinação dos produtos formados (Aquino *et al.*, 2001).

O metacaulim é uma adição mineral originada do tratamento térmico de argilas caulínicas, que devido a desidratação do material cristalino original tem-se como produto aluminossilicatos amorfos de alta pozolanicidade, garantindo alta reatividade com moléculas de Portlandita existente nos poros da matriz cimentícia podendo gerar silicato de cálcio hidratado (CSH), sílico-aluminato de cálcio hidratado (C_2ASH_8) e aluminato de cálcio hidratado (C_3AH_6) (Do Carmo e Portella, 2008; Gruber *et al.*, 2001). Essas características tornam a adição uma boa opção para a mitigação da reação álcali-agregado, tendo em vista seu potencial reativo com os precursores do gel higroscópico característico da manifestação deletéria na solução de poros da argamassa.

Pouhet e Cyr (2014) em seus estudos constataram que a utilização de metacaulim para argamassas com agregados reativos expostas a solução de hidróxido de sódio mitigou com eficiência as manifestações da reação álcali-agregado. Ramlochan, Thomas e Gruber (2000) declaram que substituições entre 10% e 15% de metacaulim em relação ao cimento para confecção de concretos podem controlar totalmente as expansões devido a RAA dependendo da natureza do agregado. Zhou *et al.* (2015) indicaram que a substituição de até 15% do cimento por metacaulim em argamassas se mostra consideravelmente mais eficaz que substituições de cinza volante no controle da RAA, reduzindo expansões em mais de 90% em um período de 3 meses. Os autores expressam que a mitigação da reação álcali-agregado pode estar ligada à redução do pH nos poros da argamassa e consumo dos álcalis e Portlandita, interrompendo o avanço da reação.

Entretanto, quando da utilização do metacaulim em estruturas de cimento Portland, dependendo das proporções de Si/Al da composição química do precursor e álcalis do ativador alcalino

utilizado, zeólitas são formadas na microestrutura porosa pela cristalização de um gel amorfo em grandes cadeias, originando assim o que é conhecido como concreto geopolimérico (Zhang *et al.*, 2009; Pinto, 2006). A composição e estrutura molecular das zeólitas apresentam variabilidades diversas, porém podem ser representadas pela ligação entre tetraedros de sílica (SiO_4) e tetraedros de alumínio (AlO_4) dissolvidos do precursor compartilhando átomos de oxigênio, onde álcalis livres (Na^+ , K^+ ou Ca^{+2}) balanceiam ionicamente o alumínio tetravalente, recebendo assim a nomenclatura genérica de (poli)sialato (Si-O-Al-O), (poli)sialato-siloxo (Si-O-Al-O-Si-O) ou (poli)sialato-disiloxo ($\text{Si-O-Al-O-Si-O-Si-O}$), tornando-se tectoaluminossilicatos hidratados (Junior, 2016; Król *et al.*, 2019; Król e Mozgawa, 2019).

Geopolímeros podem apresentar diversas propriedades e aplicações dependendo das proporções entre seus materiais precursores, como em tijolos, aglomerantes para confecção de concretos, selantes ou adesivos ou materiais resistentes ao fogo (Davidovits, 1991; Junior, 2016). Quando comparado com estruturas de cimento Portland, geopolímeros produzidos nas proporções adequadas e em certas condições de cura, podem apresentar algumas propriedades onde eles se mostram muito competentes, se mostrando superiores nesses aspectos, como resistência química, estabilidade térmica e resistência ao fogo. Outro ponto positivo dos geopolímeros é sua questão ambiental, onde nos processos industriais para a confecção de seus precursores a poluição e liberação de CO_2 é quase insignificante perante os procedimentos para fabricação do cimento Portland, que pode chegar até a 10% das emissões totais de dióxido de carbono mundial, contribuindo aos fatores de preservação do meio ambiente e controle do efeito estufa (Habert *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2018).

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi analisar a utilização de metacaulim de alta reatividade para a formação de geopolímeros e mitigação de efeitos causados por reações álcali agregado na microestrutura de argamassas de cimento Portland, encontrando a proporção adequada de adição para cada agregado estudado. Além de avaliar as propriedades físico-químicas finais da argamassa após a utilização de metacaulim para a formação de argamassas geopoliméricas.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para o estudo realizado foram utilizados dois agregados diferentes já utilizados anteriormente pelo grupo de pesquisa em materiais de construção civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa, nomeados de agregados A (deletério) e B (inócuo). Como aglomerante foi utilizado o cimento Portland CP II F – 32 e a adição pozolânica estudada para produção de concretos geopoliméricos foi um metacaulim de alta reatividade.

A caracterização física dos agregados foi feita seguindo a normativa NBR 7211 (2009) Agregados para concreto - Especificação, sendo os ensaios requisitados a distribuição granulométrica (NBR NM 248: 2003), determinação da massa unitária (NBR 7251: 1982), massa específica real (NBR 9776: 2003), determinação do material pulverulento por lavagem (NBR NM 46: 2003). Além da caracterização física dos agregados, a caracterização química e mineralógica também foi realizada por FRX e DRX.

Primeiramente foi realizado o ensaio acelerado das barras de argamassa conforme a norma ASTM C – 1260/07 para os agregados no traço de 1:2,25:0,47 (cimento:agregado:água) como indicado na normativa, onde a adição de metacaulim foi utilizada como substituição parcial da massa de cimento Portland nas porcentagens de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% com 3 barras por porcentagem, totalizando 15 barras por agregado. Ainda no estado fresco foi realizado o ensaio para determinação do índice de consistência médio com o intuito de analisar o estado reológico do material a fim de identificar os efeitos da adição na consistência da mistura. Na Figura 1 algumas das barras que foram moldadas no trabalho e o equipamento utilizado para determinação das expansões lineares.

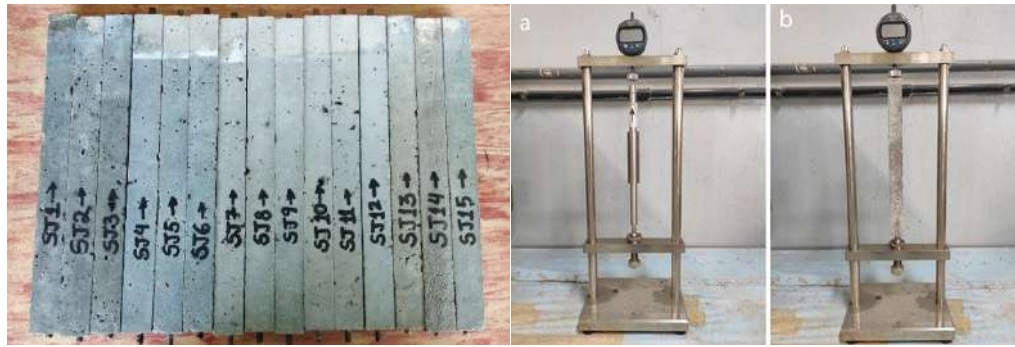


Figura 1 – Amostras referentes ao ensaio acelerado das barras de argamassa e o equipamento com relógio micrométrico utilizado durante o trabalho.

Com a moldagem das barras, foi executado o monitoramento das expansões lineares das amostras imersas por 60 dias em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) em proporção de 1 mol/l, a uma temperatura de 80 °C. Deve-se ressaltar que este período adotado para o monitoramento das barras é superior ao estipulado por norma (16 dias apenas) para a simulação de um ambiente mais agressivo de cura, potencializando assim o desenvolvimento da reação álcali-agregado. Também foram moldados 6 corpos de prova de argamassa cilíndricos de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro em cada porcentagem, sendo um total de 30 por agregado, para avaliação de sua resistência à compressão axial e teores de absorção de água por imersão (NBR 9778: 1987). Os corpos de prova ficaram em imersão na mesma solução que as argamassas para simular os mesmos efeitos nas diferentes amostras, e foram realizados rompimentos aos 28 e 60 dias de idade para análise mais criteriosa dos ganhos de resistência nas argamassas.

Após esses ensaios, amostras menores foram feitas a partir das barras e corpos de prova para ensaios de microscopia eletrônica de varredura, tendo em vista que a presença de metacaulim na mistura pode alterar quimicamente os materiais encontrados nos poros da argamassa. Dependendo dos produtos formados na microestrutura, em conjunto com os demais resultados, pôde-se classificar de maneira mais assertiva se o uso da adição para a formação de cimentos geopoliméricos nas porções estudadas é devidamente eficaz.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os agregados apresentam semelhanças quanto algumas propriedades físicas, como massa específica real e unitária, além de grandes percentuais de material pulverulento (parcela de material passante na peneira de abertura de 200 micrômetros) fato este que está ligado aos agregados serem obtidos por britagem de rocha sã. Quanto a suas composições químicas, ambos são constituídos predominantemente por sílica (SiO_2) com quantidades consideráveis de óxido de alumínio (Al_2O_3) e demais compostos de sódio, potássio, cálcio e outros elementos, o que condiz com sua composição mineralógica baseada em quartzo, plagioclásios e filossilicatos. Os dados das caracterizações dos agregados estão organizados nas tabelas 1 e 2 a seguir:

Tabela 1 – Propriedades físicas dos agregados A e B.

Areia	DMC	MF	Massa Específica Real	Massa Unitária	Pulverulento	Absorção
			(g/cm^3)		(%)	
A	2,4	2,2	2,778	1,48	21,08	1,39
B	4,8	2,55	2,597	1,43	15,08	2,27

Tabela 2 – Composição química e mineralógica dos agregados A e B.

Agregado	Óxidos (%)							Minerais		
	CO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Plag.	Quartzo	Filos.
A	4,87	2,99	15,00	55,90	4,14	4,32	7,64	x	x	x
B	5,52	5,40	14,30	66,00	4,58	1,26	2,51	x	x	-

Como já mencionado, após a mistura das argamassas e antes das moldagens, foi realizado o ensaio para determinação do índice de consistência médio na mesa de adensamento. O procedimento foi realizado para todas as misturas e notou-se que à medida que as quantidades de adição aumentavam, a argamassa se tornava menos fluida e esse padrão foi observado tanto para o agregado A quanto para o agregado B. Como o metacaulim se trata de um material de elevada finura, suas partículas tendem a adsorver parte da água de amassamento, e como a adição ainda é mais leve que o cimento, esse efeito é potencializado pela maior quantidade de partículas necessárias para a substituição em massa do aglomerante. Desse modo, é recomendável que quando da utilização de metacaulim para substituição de cimento em argamassas, e que esta ocorra em porcentagens elevadas, também seja considerada a adoção de aditivos plastificantes para correção da consistência da mistura para a devida utilização. Os dados obtidos pelo ensaio podem ser vistos na Figura 2:

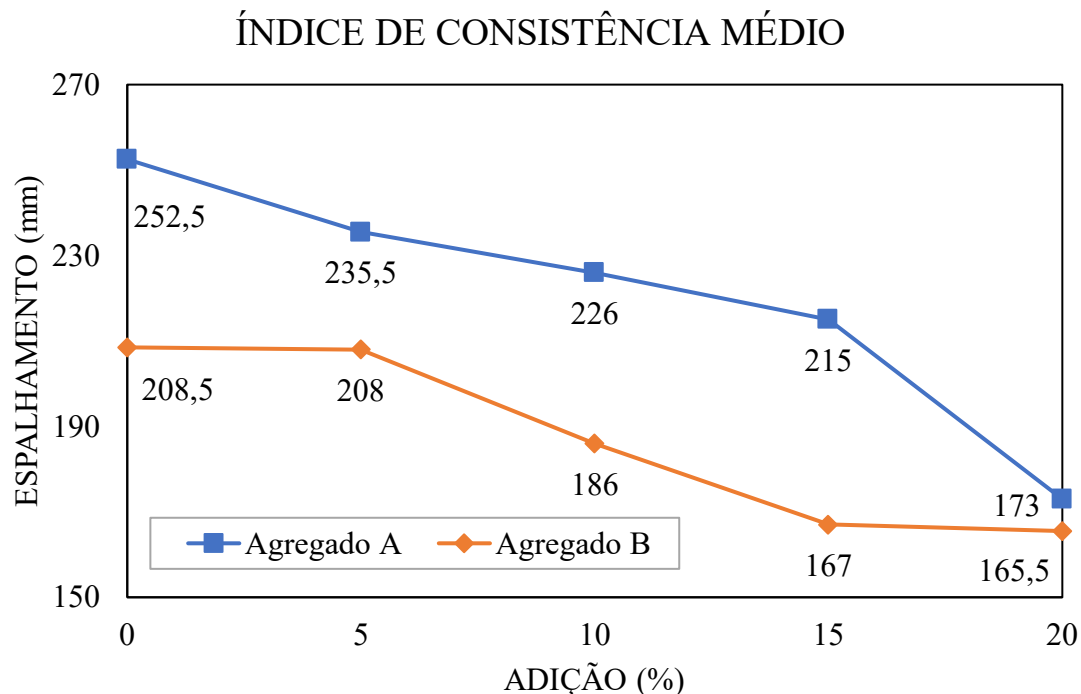


Figura 2 – Relação entre o aumento da quantidade de metacaulim e a consistência das argamassas dos agregados reativo (A) e inerte (B).

Quanto ao ensaio acelerado das barras de argamassa, para o agregado A, a substituição de metacaulim em relação ao cimento resultou na mitigação das expansões devido a reação álcali-

agregado. É possível verificar pelo gráfico da Figura 3 que nas barras com 0% de adição suas expansões atingiram valores acima de 0,2%, que pela ASTM C – 1260/07 o agregado é considerado deletério, apresentando as maiores expansões entre as demais amostras (acima de 0,3% aos 60 dias). Com o aumento das porcentagens de metacaulim, foi identificado uma redução gradual das expansões lineares, chegando a um valor mínimo muito próximo a 0,1%, sendo considerado potencialmente deletério, referente ao traço com 20% de metacaulim na mistura. É também visível pelo gráfico da Figura 3 que as porcentagens de metacaulim mais eficientes para a mitigação da RAA foram as de 15% e 20%, pois apresentaram as maiores taxas de variação nas expansões das barras ao longo dos 60 dias de monitoramento. Os resultados do ensaio acelerado referente ao agregado A estão apresentados na Figura 3.

Para as barras referentes ao agregado B também foi observado um padrão de redução nas expansões lineares com o uso do metacaulim, entretanto a taxa de variação foi menor quando compara às barras do agregado A. Pelo fato do agregado em questão não ser reativo suas expansões lineares sem a adição pozolânica, ou até para até 5% de metacaulim, não são muito superiores a 0,1% do seu comprimento aos 60 dias, já não tendo potencial reativo de acordo com a ASTM C – 1260/07, sendo classificado como potencialmente deletério com essas porcentagens de metacaulim. Somente a partir de 10% de substituição de cimento pela adição foi observado uma maior diminuição nas expansões das amostras, chegando a um valor máximo de 0,05% aos 60 dias de idade para a substituição de 20% de metacaulim, o que indicaria um agregado completamente inócuo pelos limites de expansão da normativa. As expansões das barras do agregado B estão apresentadas na Figura 4:

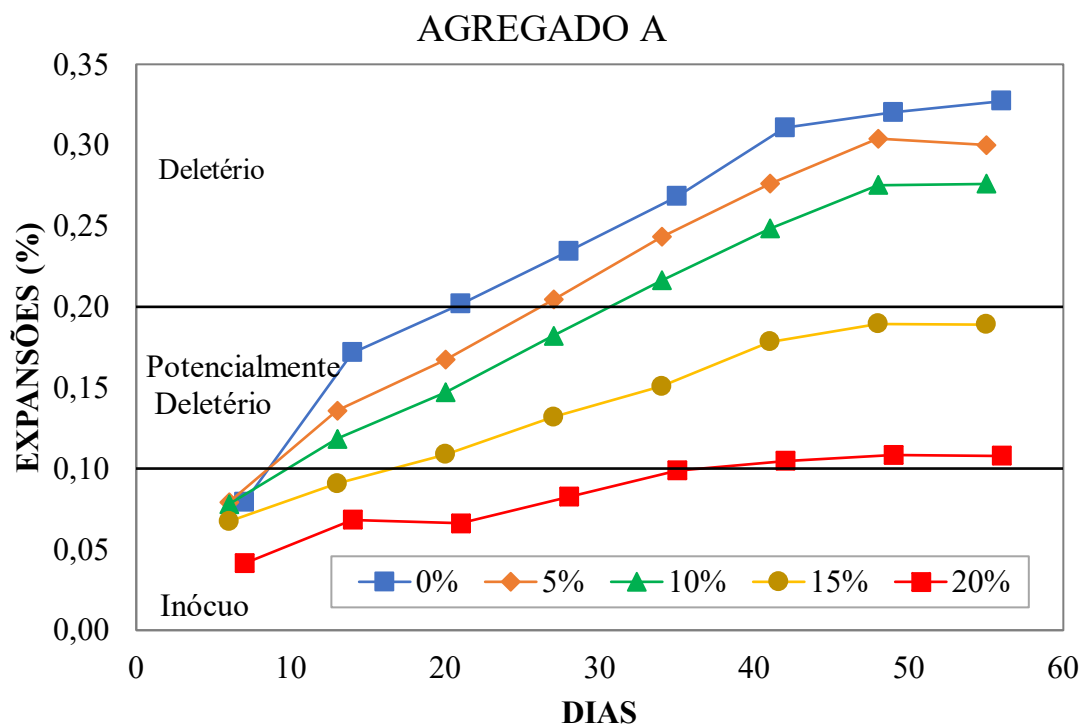


Figura 3 - Expansão linear das barras de argamassa do agregado A com substituições de metacaulim ao longo de 60 dias.

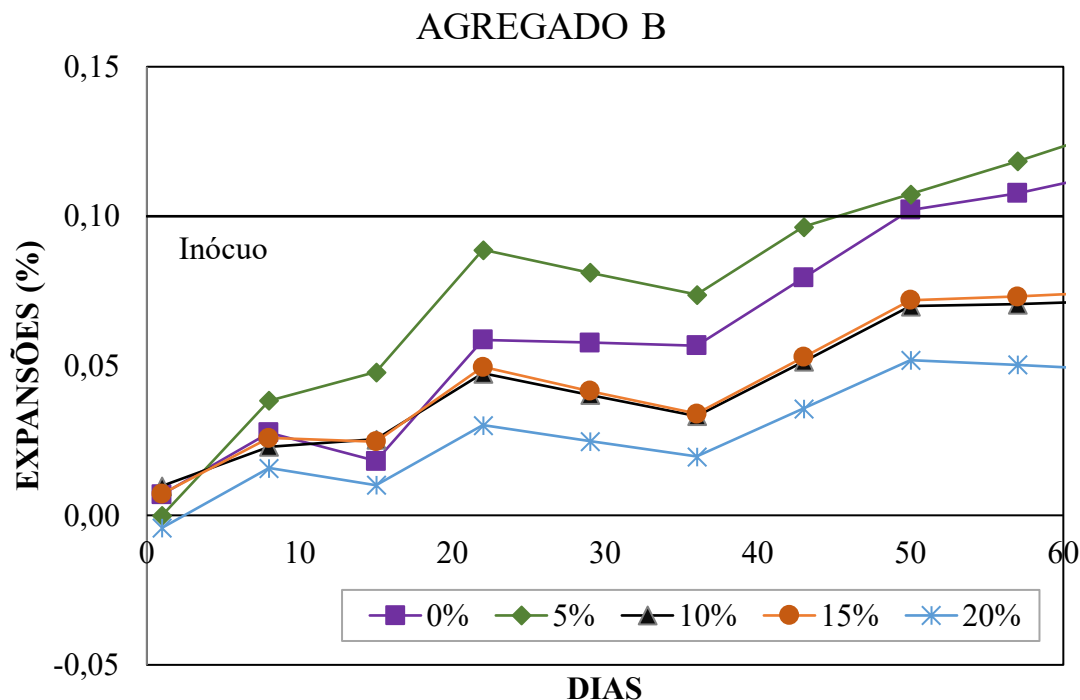


Figura 4 - Expansão linear das barras de argamassa do agregado B com substituições de metacaulim ao longo de 60 dias.

O comportamento observado nas barras de argamassa, tanto em maior quanto em menor escala, está ligado a ação do metacaulim na microestrutura porosa delas, porém este fenômeno pode estar ligado tanto ao consumo de Portlandita, produto da hidratação do cimento residente dos poros da microestrutura, para a formação de silicato de cálcio hidratado (CSH), quanto ao consumo de álcalis livres como Na^+ ou K^+ para que com o ativador alcalino do ambiente ocorra a policondensação dos materiais em geopolímeros, pois sem analisar a microestrutura das amostras é impossível indicar com assertividade qual dos mecanismos de mitigação da patologia proporcionou esse comportamento às argamassas.

Para o ensaio de compressão axial dos corpos de prova cilíndricos, aos 28 dias com o aumento da adição nas argamassas referentes ao agregado A foi observado uma gradual diminuição das tensões de ruptura, ao passo que no agregado B não foi identificada grandes variações nas resistências obtidas devido a adição. Já aos 60 dias de idade os padrões observados foram basicamente os mesmos: diminuição gradual da resistência a compressão para o agregado A com o aumento de metacaulim na mistura e para o agregado B variações mais acentuadas, mas ainda não expressivas nas resistências a compressão.

Ressalta-se que a diminuição nas resistências dos corpos de prova referentes ao agregado A foram mais severas aos 60 dias do que na idade de 28 dias mesmo considerando a maior inconsistência dos dados obtidos, chegando a apresentar valores mais de 50% abaixo que o traço sem adições. Esse comportamento pode indicar que para o agregado B houve formação de CSH na microestrutura devido ao efeito pozolânico da adição, e para o agregado A formação de geopolímeros pela interação entre fases reativas e o metacaulim, mas com resistências a compressão não satisfatórias. Os resultados foram obtidos pelas rupturas de 3 corpos de prova de cada porcentagem dos 2 agregados e os respectivos valores médios podem ser observados na Figura 5 e Figura 6:

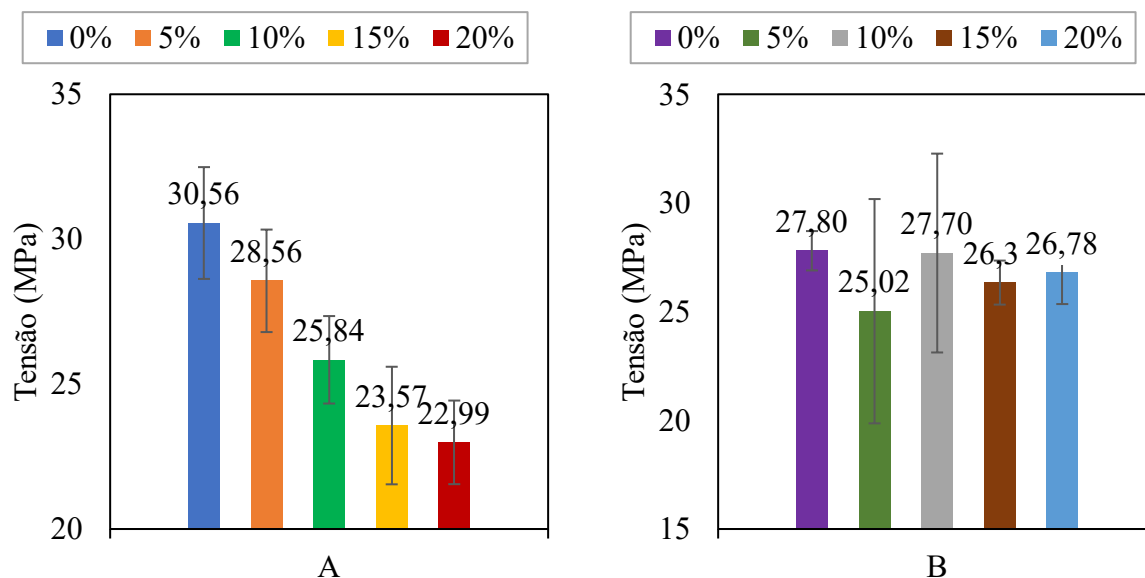


Figura 5 – Resistência a compressão axial dos agregados A e B aos 28 dias.

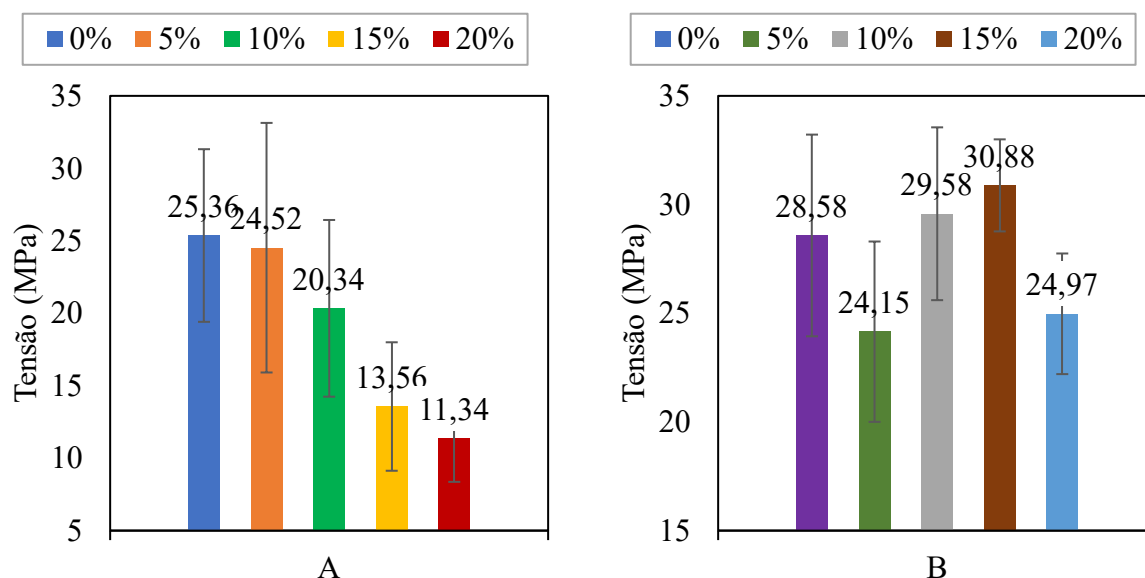


Figura 6 – Resistência a compressão axial dos agregados A e B aos 60 dias.

O ensaio de absorção por imersão foi realizado com as demais amostras em paralelo a ruptura dos corpos de prova cilíndricos. Para o agregado A tanto aos 28 quanto aos 60 dias não foi possível identificar um padrão específico nas variações dessa propriedade nos corpos de prova do ensaio, não apresentando variações expressivas em torno de 7,5% aos 28 dias e 8,5% aos 60 dias. Nos corpos de prova do agregado B, no entanto, foi observado um aumento das absorções com maiores porcentagens de metacaulim, sendo identificado padrão associado à quantidade de adição na mistura das argamassas, onde este comportamento foi identificado para as amostras com 28 e 60 dias. Porém, observando estas variações, foi identificado um pequeno aumento nos valores de absorção para as idades mais avançadas, fato similar ao ocorrido com as amostras do agregado A. Esse comportamento provavelmente está ligado ao desenvolvimento da RAA, pelo processo de expansão e conseqüente fissuração, ocasionada das tensões internas promovidas pelo gel higroscópico característico da manifestação patológica, mas como as variações obtidas são de

pequena escala, presume-se que o metacaulim está reagindo e diminuindo os efeitos deletérios pela formação de compostos geopoliméricos ou CSH na argamassa. Os resultados obtidos no ensaio de absorção por imersão dos corpos de prova aos 28 e 60 dias podem ser vistos nas figuras 7 e 8:

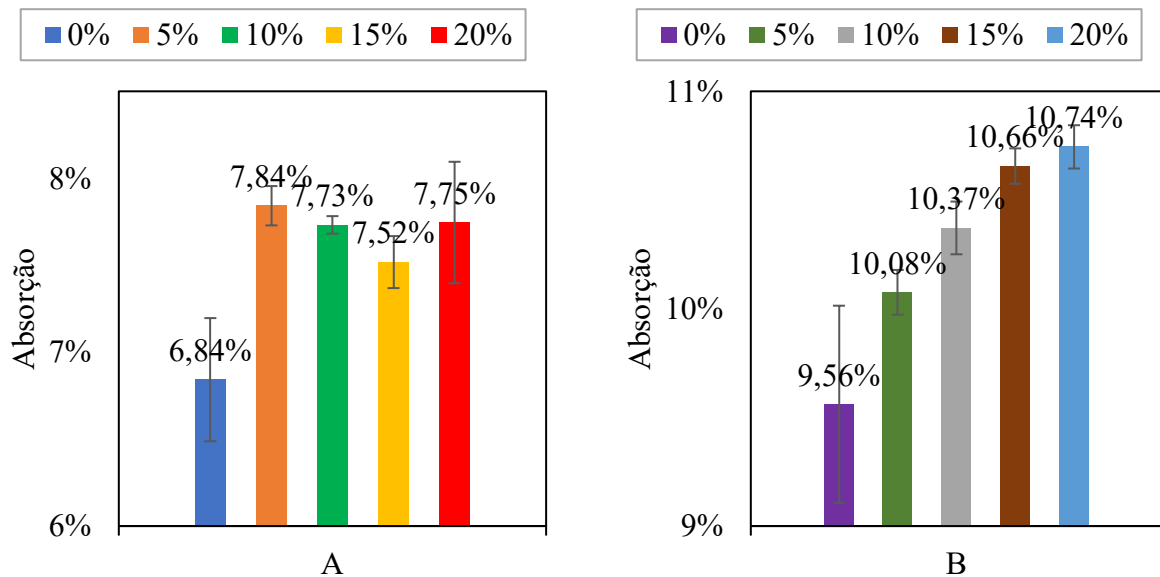


Figura 7 – Teores de absorção de água por imersão dos corpos de prova dos agregados A e B aos 28 dias.

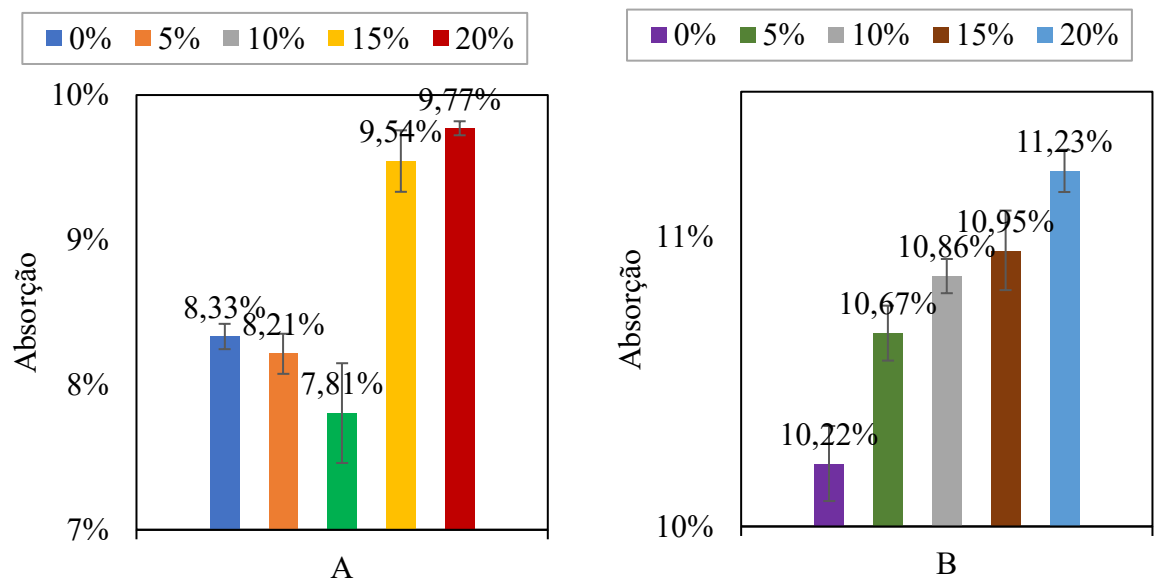


Figura 8 – Teores de absorção de água por imersão dos corpos de prova dos agregados A e B aos 60 dias.

O fato de a adição não apresentar um padrão bem definido para as amostras do agregado deletério A pode estar ligado às propriedades da adição pozolânica, que em diferentes proporções com os materiais precursores e ativador alcalino, reagem em produtos com propriedades específicas. Como o agregado é deletério ele apresenta em sua composição fases reativas que reagem com o metacaulim para a policondensação, e como há a variação das porcentagens de metacaulim na mistura da argamassa, a proporção Si/Al também é alterada, podendo gerar geopolímeros com

arranjos moleculares diferentes. Na hipótese da formação de produtos da policondensação com propriedades distintas para cada porcentagem de adição, o preenchimento dos poros da microestrutura por geopolímeros seria afetado, o que alteraria diretamente a taxa de absorção da argamassa, bem como as resistências mecânicas.

Nos corpos de prova do agregado B, o comportamento que foi observado pode estar ligado ao aumento da porosidade na argamassa, que ocorre com o aumento do fator água/cimento proporcionado pelas maiores porcentagens de adição. À medida que a substituição de cimento por metacaulim aumenta sem alterar as quantidades de água, a relação entre água e aglomerante não se mantém constante na mistura, proporcionando menores resistências às argamassas com quantidades elevadas de adição, evento este que tem relação direta na absorção de água das amostras. Contudo o aumento da absorção apresenta pouca variação, o que pode indicar que houve o tamponamento dos poros por produtos da geopolimerização ou por silicato de cálcio hidratado devido a ação da adição.

Deu-se continuidade para as microscopias de amostras preparadas a partir das barras de argamassa do ensaio acelerado e quanto as argamassas feitas com o agregado A, por ser um material reativo, na microestrutura das amostras com 0% de adição, foi possível observar a formação do gel característico da reação álcali-agregado gretado nos poros da matriz cimentícia, além de outros produtos como cristais de etringita que podem ser observados na Figura 10. Enquanto que nos poros da argamassa com 20% de metacaulim, não é possível identificar as manifestações da RAA, o que pode indicar o consumo dos álcalis para a formação de geopolímeros ou consumo de Portlandita para produção de CSH.

Entretanto, ao considerar os resultados anteriores, onde o metacaulim se mostrou eficiente para a mitigação das expansões devido a reação álcali-agregado, como demonstrado na Figura 3, porém reduziu as resistências a compressão axial em relação ao traço inicial com o aumento do percentual da adição, mostra que sua utilização não foi plenamente benéfica para as amostras do agregado reativo. Este comportamento pode estar ligado aos resultados apresentados por Mahanama *et al.* em 2019, onde os autores indicam que argamassas geopoliméricas com elevados teores de cálcio podem não ser adequadas para a mitigação da reação álcali-agregado, e como o tipo de cimento utilizado durante o trabalho pode conter até 10% de filer calcário, a proporção deste material com a adição pozolânica estaria aproximadamente dentro dos teores não indicados de quantidade de cálcio para que os geopolímeros assegurassem a integridade das argamassas perante a RAA.

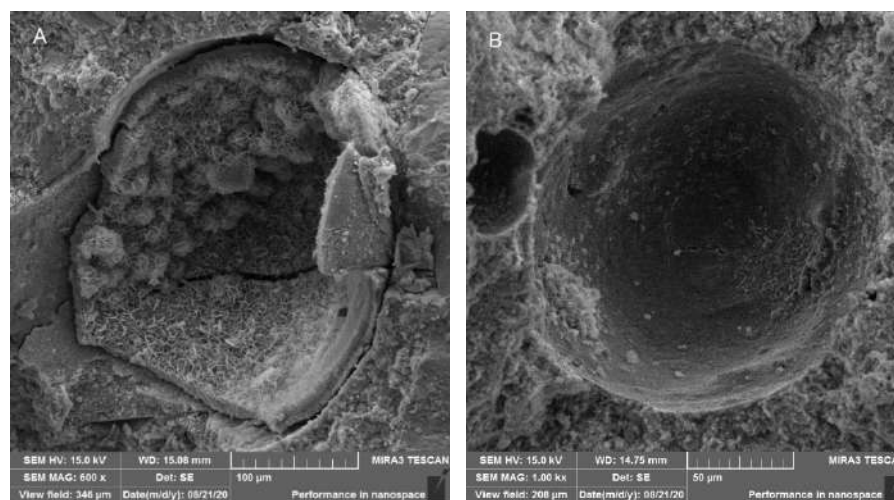


Figura 9 – a) Poro da argamassa A sem metacaulim; b) Poro da argamassa A com 20% de metacaulim.

As microscopias referentes ao agregado B mostraram produtos condizentes com os demais resultados do trabalho. Para o traço com 0% de metacaulim, na microestrutura não foi observado em quantidades elevadas dos produtos da RAA, certamente ligado a baixa reatividade do agregado. Com maiores quantidades de metacaulim, alguns sinais de geopolímeros foram detectados nas imagens retiradas, onde que para a porcentagem de 20% produtos com aspectos muito semelhantes aos encontrados por Sanchindapong et al. (2020) em seu trabalho com cinza volante em cimentos álcali ativados foram identificados, onde é visível uma estrutura de cristais interligados semelhante a uma esponja.

Ao conciliar esses dados com o fato das expansões lineares devido RAA diminuírem, mesmo este sendo um agregado inócuo, e o incremento das resistências nos corpos de prova cilíndricos para 28 e 60 dias, é fortalecida a hipótese de que houve a formação de geopolímeros na microestrutura da argamassa do agregado B. Abaixo estão as imagens dos poros da argamassa em questão:

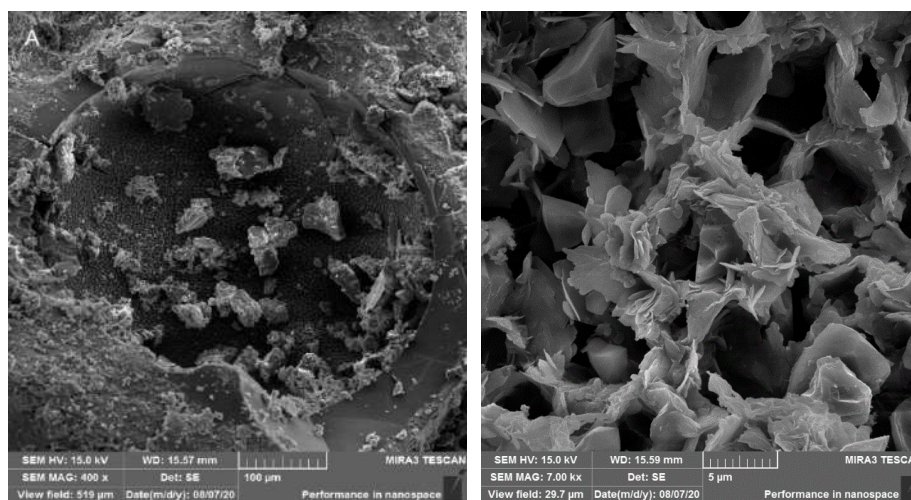


Figura 10 – a) Poro da argamassa B sem metacaulim; b) Estruturas identificadas na matriz cimentícia da argamassa com 20% de metacaulim.

4. CONCLUSÕES

O uso de metacaulim para formação de geopolímeros e mitigação da reação álcali-agregado para o agregado inócuo “B” se mostrou eficiente para as substituições entre 15% e 20%, pelo fato que além da redução das expansões lineares de suas barras prismáticas de argamassa com o uso da adição, não foram observados reduções de suas resistências nos corpos de prova cilíndricos e houve formação de geopolímeros, mesmo que em pequena escala na sua microestrutura porosa.

Enquanto que para o agregado reativo “A”, em nenhuma das porcentagens estudadas a adição não se mostrou tão eficiente, tendo em vista que a adição somente reduziu as expansões devido a RAA no ensaio acelerado, não sendo possível identificar com eficiência produtos da geopolimerização em seus poros e ainda reduzindo a resistência mecânica da argamassa gradativamente, sendo não recomendada a utilização da adição sem adequar as proporções corretamente entre o precursor, o ativador alcalino e os compostos potencialmente reativos existentes no agregado, para assim garantir melhores condições para as reações ocorrerem de forma adequada, garantindo assim a formação de cimentos geopoliméricos de alta qualidade.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, especialmente ao complexo de laboratórios multiusuários CLABMU pela infraestrutura. A empresa Metacaulim do Brasil pela doação do material utilizado durante o trabalho. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo convênio da bolsa de estudos.

6. REFERÊNCIAS

ASTM International. (2007). *ASTM C – 289/07: Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)*. <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C289>

_____. (2007). *ASTM C – 1260/07: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*. <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C1260>

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2009). *NBR 7211 Agregado para concreto-Especificação*. Rio de Janeiro.

_____. (1982). *NBR 7251 Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária*. Rio de Janeiro.

_____. (2003). *NBR 9776 Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman*. Rio de Janeiro.

_____. (2003). *NBR NM 248 Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.

_____. (2001). *NBR NM 30 Agregado miúdo - Determinação da absorção de água*. Rio de Janeiro.

_____. (2003). *NBR NM 46 Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrômetros, por lavagem*. Rio de Janeiro.

_____. (1987). *NBR 9778 Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.

Aquino, W.; Lange, D. A. e Olek, J. The influence of metakaolin and silica fume on the chemistry of alkali-silica reaction products. *Cement and Concrete Composites*, v. 23, n. 6, p. 485–493, dez. 2001. DOI: 10.1016/S0958-9465(00)00096-2. .

Broekmans, M. A. T. M. *Deleterious reactions of aggregate with alkalis in concrete. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. [S.l: s.n.], 2012

Carles-Gibergues, A. *et al.* A simple way to mitigate alkali-silica reaction. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 41, n. 1, p. 73–83, jan. 2008. DOI: 10.1617/s11527-006-9220-y. .

Chen, H.; Soles, J. A. e Malhotra, V. M. Investigations of supplementary cementing materials for reducing alkali-aggregate reactions. *Cement and Concrete Composites*, v. 15, n. 1–2, p. 75–84,

1993. DOI: 10.1016/0958-9465(93)90039-c. .

Davidovits, J. Geopolymers - Inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis*, v. 37, n. 8, p. 1633–1656, ago. 1991. DOI: 10.1007/BF01912193. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF01912193>. Acesso em: 28 jan. 2020.

Do Carmo, J. B.M. e Portella, K. F. Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto. *Ceramica*, v. 54, n. 331, p. 309–318, 2008. DOI: 10.1590/s0366-69132008000300007. .

Gruber, K. A. *et al.* Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin. *Cement and Concrete Composites*, v. 23, n. 6, p. 479–484, dez. 2001. DOI: 10.1016/S0958-9465(00)00097-4.

Habert, G.; D’Espinoze De Lacaillerie, J. B. e Roussel, N. An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: Reviewing current research trends. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 11, p. 1229–1238, jul. 2011. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.03.012. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652611000886>. Acesso em: 28 jan. 2020.

Junior, L. C. M. L. *O Uso Do Vidro Reciclado Como Precursor De Sistemas Cimentantes Geopoliméricos*. 2016. 116 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

Król, M. *et al.* ATR/FT-IR studies of zeolite formation during alkali-activation of metakaolin. *Solid State Sciences*, v. 94, p. 114–119, 1 ago. 2019. DOI: 10.1016/j.solidstatedciences.2019.06.004. .

Król, M. e Mozgawa, W. Zeolite layer on metakaolin-based support. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 282, p. 109–113, 1 jul. 2019. DOI: 10.1016/j.micromeso.2019.03.028. .

Li, N. *et al.* Some Progresses in the Challenges for Geopolymer. 431., 2018, *Anais [...]* [S.l: s.n.], 2018. DOI: 10.1088/1757-899X/431/2/022003.

Mahanama, D. *et al.* Evaluating Effect of GGBFS in Alkali-Silica Reaction in Geopolymer Mortar with Accelerated Mortar Bar Test. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 31, n. 8, p. 1–11, 2019. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002804. .

Pererira, E. *Efeito Da Reação Álcali-Agregado (Raa) Associada Ao Ataque Interno Por Sulfato (Isa) Na Absorção E Porosidade De Compósito De Matriz Cimentícia*. 2018. 207 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Pouhet, R. e Cyr, M. Alkali-silica reaction in metakaolin-based geopolymer mortar. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 48, n. 3, p. 571–583, 2014. DOI: 10.1617/s11527-014-0445-x. .

Ramlochan, T.; Thomas, M. e Gruber, K. A. Effect of metakaolin on alkali-silica reaction in concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 30, n. 3, p. 339–344, 2000. DOI: 10.1016/S0008-8846(99)00261-6. .

Sakulich, A. R. *et al.* Influence of Si: Al ratio on the microstructural and mechanical properties of a fine-limestone aggregate alkali-activated slag concrete. *Materials and Structures/Materiaux et*

Constructions, v. 43, n. 7, p. 1025–1035, ago. 2010. DOI: 10.1617/s11527-009-9563-2. .

Patologia na construção civil em decorrência da falta de vergas e contravergas em portas e janelas conforme as normas técnicas.

Jameson Alho¹, Vanderlúcio Ramalho², Jamile Ferreira³, Cledinei Amanajás⁴

Jameson Alho: jameson.ap@hotmail.com Vanderlúcio Ramalho:
vanderamalho@hotmail.com* Jamile Ferreira: jamiléalmeida814@gmail.com* Cledinei
Amanajás: cledineiamanajas@gmail.com

¹ Faculdade Estácio do Amapá, Macapá, Brasil

² Faculdade Estácio do Amapá, Macapá, Brasil

³ Faculdade Estácio do Amapá, Macapá, Brasil

⁴ Faculdade Estácio do Amapá, Macapá, Brasil

RESUMO

O presente estudo tem como intuito analisar e discutir as manifestações patológicas que estão presentes nas edificações da alvenaria estrutural, por falta de verga e contraverga, este trabalho permite salientar a importância de prevenir irregularidades. Com objetivo de apresentar a forma mais frequente e como evitar as patologias na formação de fissuras, trincas, rachaduras e fendas, que ocorre pela ausência de vergas e contravergas que afetam a edificação, identificando a natureza e origem das patologias, diagnóstico da situação, causas e possíveis soluções. Deste modo, propor as técnicas corretivas mais adequadas a serem executadas, com a finalidade de restabelecer a funcionalidade da edificação, assim como determinar as medidas complementares necessária para preservar a estrutura, conforme as normas técnicas.

Palavras-chave: Edificação; Fendas; Fissura; Rachaduras; Trincas.

ABSTRACT

The present study aims to analyze and discuss the pathological manifestations that are present in the

buildings of structural masonry, due to the lack of lintels and counter-curves, this work allows to emphasize the importance of preventing irregularities. In order to present the most frequent way and how to avoid pathologies in the formation of fissures, cracks, cracks and cracks, which occur due to the absence of lintels and lintels that affect the building, identifying the nature and origin of the pathologies, diagnosis of the situation, causes and possible solutions. In this way, propose the most appropriate corrective techniques to be performed, in order to restore the functionality of the building, as well as determine the complementary measures necessary to preserve the structure, in accordance with the technical standards.

Keywords: Building; Slits; Fissure; Cracks; cracks.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo analizar y discutir las manifestaciones patológicas que se presentan en las edificaciones de mampostería estructural, debido a la falta de dinteles y contracurvas, este trabajo permite enfatizar la importancia de prevenir irregularidades. Con el fin de presentar la forma más frecuente y cómo evitar patologías en la formación de fisuras, fisuras, fisuras y fisuras, que se producen por la ausencia de dinteles y dinteles que afecten al edificio, identificando la naturaleza y origen de las patologías, diagnóstico de la situación, causas y posibles soluciones. De esta forma, proponer las técnicas correctoras más adecuadas a realizar, con el fin de restaurar la funcionalidad del edificio, así como determinar las medidas complementarias necesarias para preservar la estructura, de acuerdo con las normas técnicas.

Palabras llave: Edificación; Hendiduras; Fisura; Grietas; grietas.

1. Introdução

Segundo o dicionário, o termo “patologia” é definido como o ramo da medicina que trata o estudo de doenças, causas e sintomas. A Patologia construtiva pode ser considerada similar, uma vez que se trata do estudo que avalia as origens, sintomas e consequências ocasionadas em construções, Pereira (2019, p. 04).

Em decorrência de falhas construtivas, deficiência, erros de projeto ou ainda falhas provocadas na fase pós-ocupacional pelo mal uso do imóvel, problemas patológicos, poderão se originar e provocar defeitos que podem comprometer a segurança e a durabilidade da edificação. A maioria das patologias que podem afetar uma edificação nessa fase causam sintomas visíveis e pelas suas características permitem determinar o agente causador, Zanzarini (2016, p. 13). Diante deste entendimento é preciso que sejam aplicadas medidas para evitá-las.

As cargas da alvenaria sobre os vazados das portas e janelas podem triplicar ou até quadruplicar as tensões em vértices superiores e duplicar nos inferiores, nessa situação é necessário o uso de vergas e contravergas de acordo com a NBR- 8545/1984, evitando manifestações patológicas, em forma de fissuras, trincas, rachaduras e fendas.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo o estudo de patógenos por falta de vergas e contravergas em uma edificação, identificando as manifestações, diagnosticando suas causas, indicando soluções e apontando possíveis formas de prevenção, na qual serão aspectos abordados neste trabalho, já que a execução é uma etapa fundamental para minimizar estes patógenos.

2. Procedimento

Vergas e Contravergas são componentes responsáveis por absorver as tensões advindas de sobrecargas nos vértices dos vãos de portas e janelas, onde se diferem apenas quanto a sua localização em relação ao vão, sendo que a verga se refere ao elemento construtivo localizado acima do vão e a contraverga logo abaixo do vão, Contão (2016, p.29).

Os elementos citados por Contão, exercem a função de pequenas vigas. Sempre que se abre um rasgo na alvenaria, os esforços acumulados nos cantos ocasionam um espaçamento na esquadria, podendo resultar em fissuras, trincas, rachaduras ou fendas, quando não se faz uso de vergas e contravergas, Pereira (2019, p. 04).

2.1 Fissuras

NBR 9575/2010, fissura é a abertura ocasionada por ruptura de um material ou componente, com abertura inferior ou igual a 0,5 mm.

NBR 15.575/2013 apresenta a fissura de componente estrutural como: seccionamento na superfície ou em toda seção transversal de um componente, com abertura capilar, provocado por tensões normais ou tangenciais.

Observa-se o aparecimento de fissuras em aberturas de portas e janelas, onde há uma considerável concentração de esforços nos vãos, que por consequência são capazes de gerar fissuras, surgindo a partir dos vértices dessas aberturas ou do peitoril das janelas.

Existem dois tipos de fissuras devidos a sobrecargas de compressão, fissuras verticais: provenientes da deformação transversal da argamassa sob ação das tensões de compressão ou flexão local dos componentes de alvenaria; e fissuras horizontais: provenientes da ruptura por compressão dos componentes de alvenaria ou da própria argamassa de assentamento, ou ainda de solicitações de flexo compressão da parede, Thomaz (1989).

2.2 Trincas

As trincas são observadas notoriamente em edificações, em geral essa patologia interfere nas características estruturais, na estética e durabilidade NBR 9575/2010.

De acordo com Oliveira 2012, as trincas são aberturas ocasionadas por ruptura de um material ou componente com abertura superior a 0,5 mm e inferior a 1,5 mm.

2.3 Rachaduras

Segundo Lottermann (2013), as rachaduras têm as mesmas características das trincas, são aberturas grandes, profundas e acentuadas com dimensão patológica entre a 1,5 à 5,0 mm. São bastante pronunciadas e facilmente observáveis devido à amplitude da separação das partes. Por terem as mesmas características das trincas, mas em um estágio mais acentuado, as rachaduras requerem imediata atenção em seu fechamento, solucionando antes o problema que está originando.

2.4 Fenda

Zanzarini (2016), classifica fendas como aberturas de maior grau (5,0 a 10,0 mm). É caracterizado como fenda o estado em que um determinado objeto ou parte dele apresenta uma abertura superior à de uma rachadura, suas causas nem sempre são visíveis como, por exemplo, no caso de solapamento do subsolo, além disso, podem se manifestar de forma instantânea e assim ocasionar acidentes, SANTOS, (2019).

2.5 Execução de Vergas e contravergas

As vergas e contravergas são elementos que podem ser feitas em concreto, montadas in loco, peças pré-moldadas ou como blocos canaletas. Sua atuação está na distribuição de cargas nas aberturas em paredes, como portas e janelas, que ocorrem grande intensidade e concentração de tensões. Caso elas não sejam bem dimensionadas, são verificadas fissuras por sobrecargas. A fim de cumprirem sua função e garantir a integridade da alvenaria, há necessidade de medidas serem realizadas conforme a norma, Chaves (2017, p.18).

Para vãos sucessivos é recomendado o emprego de vergas e contravergas contínuas e para vãos de grandes dimensões é indicado que elas sejam dimensionadas como vigas, Contão (2016, p.48).

Caso esses elementos não possuam a rigidez necessária, ou a edificação não seja constituída desses elementos, é comum o aparecimento de fissuras, surgindo a partir dos vértices dessas aberturas, Rocha (2018, p.33).

Para execução da verga executada in loco é necessário a realização de escoramento que deve ser apoiado na contraverga, podendo ser retirado apenas após a cura do concreto pelo período de dez dias, Contão (2016, p.48).

Com base na NBR- 8545/1984, o vão de portas e janelas devem ser moldadas ou colocadas vergas igualmente sob o vão da janela ou caixilhos diversos devem ser moldadas ou colocadas contraverga. As vergas e contraverga devem exceder a largura do vão de pelo menos 20 cm de cada lado e devem ter altura mínima de 10 cm. Quando os vãos forem relativamente próximos e na mesma altura, recomenda-se uma única verga sobre todos eles.

3. ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada a partir de vistorias de duas edificações 1 e 2. A edificação 1 está localizada na quadra 103 no bairro Acquaville Garoupa e a edificação 2 localiza-se na Rua Presidente Tancredo Neves, bairro Paraiso, ambas no município de Santana-Amapá.



Figura 1- Mapa de identificação das residências estudadas.

3.1 Edificação 1

Possui sala conjugada com cozinha americana, área de serviço, um quarto, uma suíte e garagem. A mesma está seguindo as normas técnicas construtivas, com presença de vergas e contravergas em seus vão de portas e janelas conforme as NBR 8545/1984, NBR-15812-2/2010.

Algumas peças foram pré-fabricadas outras moldadas in loco, por se tratar de uma edificação unifamiliar o maior vão apresentado são os das janelas de 1,50 x 1,20 m, sendo assim, o transpasse das extremidades equivale a 20 cm do valor do vão, e a altura com 18 cm para nivelar com os tijolos, e as portas de maior vão foram de 0,90 x 2,10 m, com transpasse de 20 cm e altura de 18 cm, a ferragem utilizada foi treliça 12 x 12 com aço CA-60 nervurado, o concreto foi o mesmo utilizado nos pilares, com $F_{ck} = 20$ Mpa.



Figura 2- Edificação unifamiliar com presença de verga e contraverga.

3.2 Edificação 2

Possui 5 apartamentos identificados de “A” à “E”, onde foram constatados a presença de patologias causadas pela falta de vergas e contravergas.

Primeiramente foram feitos os levantamentos das manifestações patológicas identificadas na edificação, acompanhado do registro fotográfico de vícios construtivos, na qual há uma deficiência

onde a maioria das construções são realizadas sem o conhecimento das normas, e por mão de obra não especializada.

3.2.1 Identificação das manifestações patológicas

Para cada apartamento analisado que apresentaram manifestação patológica, foi utilizado um paquímetro e câmera fotográfica, para elencar as seguintes informações:

3.2.1.1 Classificação

A classificação das patologias segue com a determinação de fissuras, trinca, rachaduras e fendas de acordo com o tamanho da espessura encontrada, conforme apresentado por Oliveira (2012), tabela 1.

Tabela 1: Classificação das Patologias.

Anomalias	Aberturas (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0

3.2.1.2 Registro fotográfico

APARTAMENTO “A”

Foram identificadas rachaduras inclinadas com 1,6 mm na porta principal(A), fenda inclinada com 10,0 mm na parte superior e rachadura inclinada com 2,7 mm na parte inferior da janela(B). Conforme a figura 3.

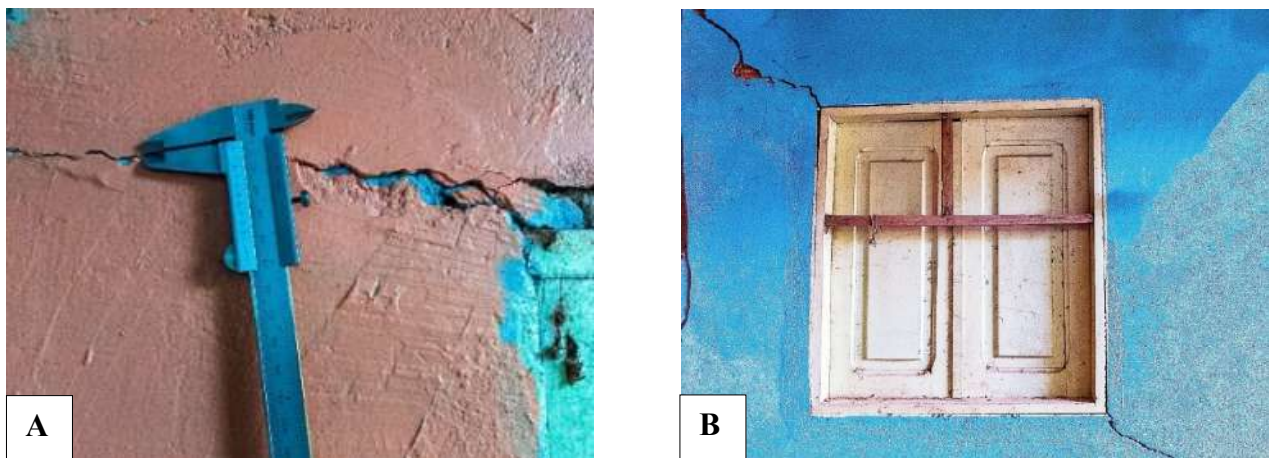


Figura 3- Presença de patologia: (A) rachaduras inclinadas na porta principal. (B) fenda inclinada e rachadura inclinada na janela.

APARTAMENTO “B”

Foram observadas fissuras verticais e horizontais, ambas com 0,4 mm na parte inferior da janela(A), na porta trincas inclinadas com 0,7 mm(B). Conforme a figura 4.

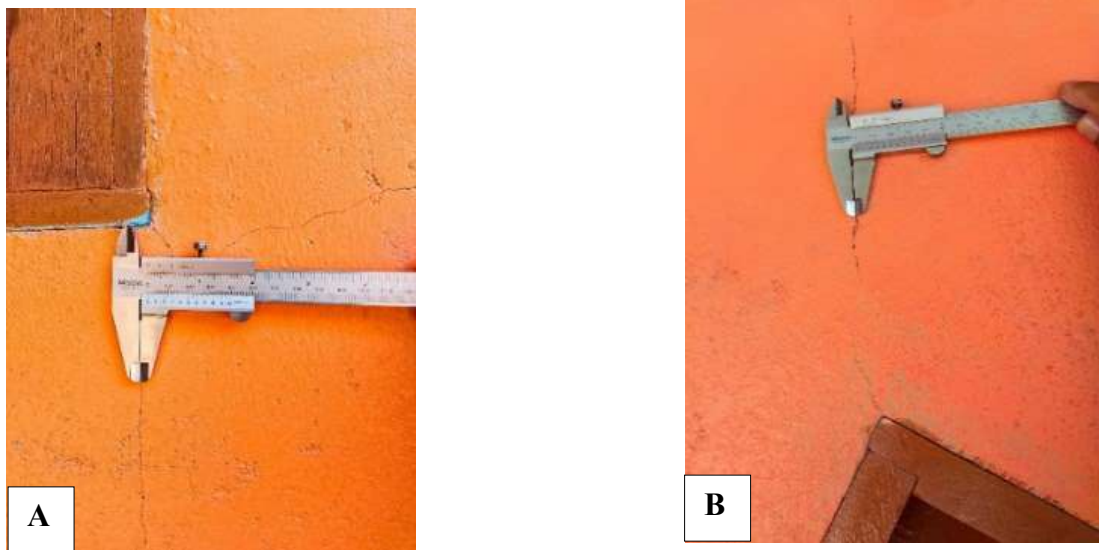


Figura 4- Presença de patologia: (A) fissuras verticais e horizontais na parte inferior janela. (B) trincas inclinadas na porta.

APARTAMENTO “C”

Foram detectadas fissuras inclinadas com 0,5 mm na parte superior da janela, conforme a figura 5. Na porta não houve patologia.



Figura 5- Presença de patologia: (A) fissuras inclinadas na parte superior da janela.

APARTAMENTO “D”

Foram identificadas fissuras inclinadas com 0,5 mm na parte superior e fissura inclinada com 0,3 mm na parte inferior da janela(A-B). conforme a figura 6. Na porta não houve patologia.

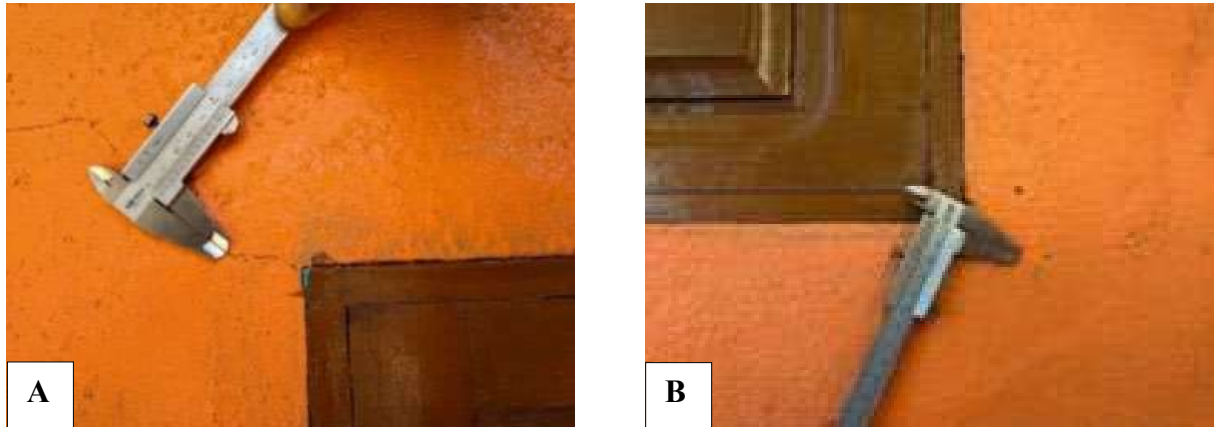


Figura 6- Presença de patologia:(A-B) fissuras inclinadas parte inferior e superior da janela.

APARTAMENTO “E”

Foram encontradas fissuras inclinadas de 0,1 mm na parte superior(A) e fissura vertical de 0,3 mm na parte inferior da janela(B), na porta foram encontradas trincas inclinadas com 0,7 mm(C). Conforme a figura7.

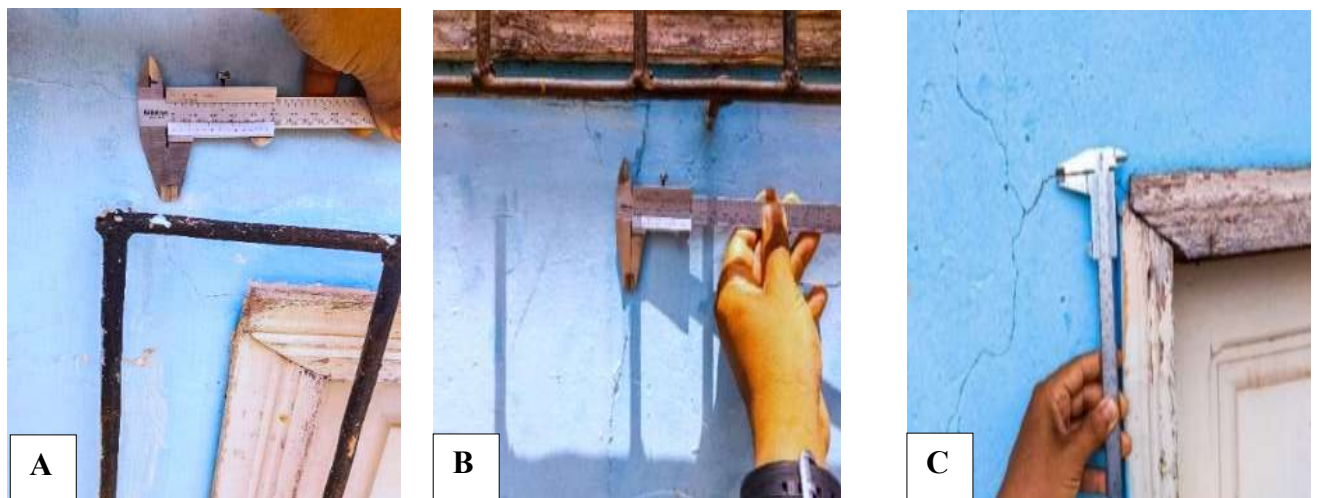


Figura 7- Presença de patologia: (A) fissuras inclinadas superior. (B) fissura vertical na parte inferior da janela. (C) trincas inclinadas na porta.

4. Resultados

4.1 Causas

O gráfico 1 apresenta a quantidade de manifestações patológicas encontradas na edificação estudada e elas estão separadas por tipo de geometria.

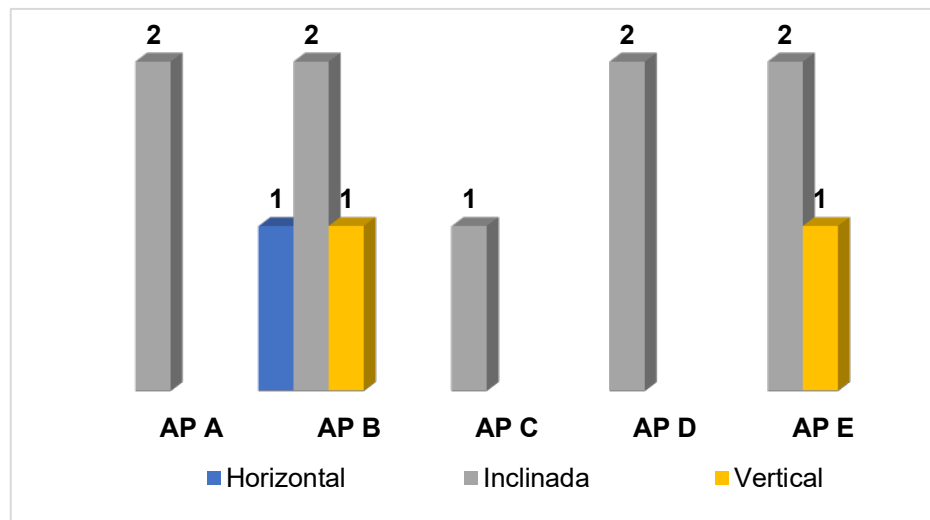


Gráfico 1- Manifestações patológicas por geometria.

As patologias mais encontradas na edificação estudada foram as de geometria inclinada que tem por causa provável a falta de vergas e contravergas. Já as de geometria vertical tem por causa provável a baixa resistência da alvenaria. Isso quer dizer que os componentes que são os blocos e a argamassa não suportam o peso necessário.

E por fim a geometria horizontal foram às menos encontradas, sua provável causa é a dilatação da argamassa.

4.2 Diagnóstico

A inexistência de elementos estruturais para absorção dos esforços admitidos em vãos de portas e janelas foi a causa para o surgimento dos patógenos.

4.3 Soluções

Para o apartamento A, as rachaduras e fenda deve-se remover a argamassa da parede até chegar no tijolo com uma faixa de 25 cm de cada lado (50 cm no total). Limpar o sulco da região aberta, preencher com selante elástico de baixo módulo de elasticidade, deixar secar, molhar a região e fixar uma tela eletro soldada (fio de 1 mm) ou tela plana na região de forma centralizada (a fixação pode ser feita com pinos ou chapisco). Aplicar argamassa polimérica semirrígida, esperar curar. Aplicar, sobre a massa manta poliéster semirrígida, esperar curar. Aplicar, sobre a massa, manta poliéster.

Nos apartamentos de B à E onde apresentaram fissuras e trincas, recomenda-se implantar as vergas e contravergas nos vãos das janelas e portas, eliminando definitivamente as patologias.

Outra medida cabível seria o reparo das fissuras e trincas, sem a inserção dos elementos estruturais, porém com a possibilidade de surgir novamente as patologias com o passar dos anos. Para as fissuras é preciso fazer uma fenda local, com uma espátula, com uma faixa de 3 cm em seu entorno. A abertura pode ser feita também com uma escova de aço, depois disso coloca-se a massa acrílica na fenda, em seguida é lixar e pintar com tinta acrílica. Não se deve utilizar massa ou tinta PVA pois estas são rígidas, podendo causar o surgimento de novas fissuras nas extremidades do reparo. Nas trincas será preciso escarear a parede na largura da tela selante, aprofundando cerca de 2 mm, fazer um sulco na região da trinca, limpar a região com pano úmido e esperar secar, aplicar o

mástique no sulco da trinca e deixar secar. Aplicar a tela selante, observando que a região que não possui cola, deve ficar sobre a trinca, permitindo sua movimentação, posteriormente preencher a canaleta de 2 mm com mástique ou massa acrílica, lixar e pintar.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil tem uma gama de patologias que podem ser encontradas em todas as etapas da edificação. É indispensável seguir um padrão e normas, prezando pela qualidade durante execução dos serviços.

Ter expertise em análise e diagnóstico patológico de uma edificação nos dá segurança de saber determinar as origens, manifestações e sintomas das falhas, recomendando os procedimentos mais viáveis para a prevenção de acordo com as normas. Evitando assim que se tenha interferência na qualidade, seja no aspecto estético, funcional ou estrutural. É importante saber avaliar o estado de uma edificação, planejar as atividades de recuperação, restauração, dentre outras.

É relevante que seja dada a devida atenção para todas as fases da construção de uma edificação a fim de evitar possíveis vícios e manifestações patológicas.

O trabalho teve como objetivo diagnosticar, analisar e propor soluções para as patologias com ausência de vergas e contravergas nas estruturas de concreto das edificações estudadas. Vale ressaltar que muitas edificações populares no município de Santana-AP, não seguem um padrão construtivo de acordo com as normas, sendo um desafio a mais para a engenharia, no tocante das patologias.

As patologias causadas pela falta dos elementos estruturais (vergas e contravergas), seguirão com os métodos propostos. Contudo a pesquisa atingiu resultados satisfatórios, fazendo com que o objetivo do trabalho fosse alcançado.

Referências

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15270-2: *Blocos*.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR 15575:2013: Edificações habitacionais - Desempenho*. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9575: Impermeabilização - seleção e projeto*. 2010.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR8545: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos*. Rio de Janeiro, 1984.

Chaves. N, F. *Análise e diagnóstico de trincas e fissuras em edificações: Estudo de caso em residência na cidade de Cardoso Moreira, RJ*. 2017.

Contão, E.C. *Monografia: "Análise e proposições de medidas corretivas de fissuras e trincas manifestadas em alvenarias de vedação em uma edificação escolar no vale do jequitinhonha"*. 2016.

Lottermann, A.F. *Patologias em estruturas de concreto: estudo de caso*. 2013.

Pereira, L.P. *Identificação de patologias e metodologia de análise: Estudos de casos em projetos de financiamento do programa Minha Casa Minha Vida*. 2019.

Rocha, G.C. *Soluções para recuperação de fissuras em uma edificação inserida no programa social minha casa minha vida*. 2018.

Santos, Altair. *Trincas, fissuras, fendas e rachaduras exigem cuidado*. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/trincas-fissuras-fendas-e-rachaduras-exigem-cuidado/> Acesso em: 20 setembro. 2020.

Thomaz, Ercio. *Trincas Em Edifícios: Causas Prevenção E Recuperação*. São Paulo: Pini, 1989.

Zanzarini, J.C. *Análise das causas e recuperação de fissuras em edificação residencial em alvenaria estrutural – estudo de caso*. 2016.

Desenvolvimento das reações álcali-agregado em matriz de cimento Portland com sílica ativa e agregado reativo

R. Lima^{1*}, M. Valenga¹, E. Pereira^{1,2}, E. Pereira^{1,2}.

*Autor de Contato: rubia_plc_10@hotmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do uso de sílica ativa no desenvolvimento das reações álcali-agregado em matriz de cimento Portland, acompanhando a evolução das reações em matriz cimentícia sob perspectiva de propriedades mecânicas como permeabilidade e resistência à compressão, sendo analisada a capacidade de mitigação da reação. Assim, variou-se de 0% a 15% o teor de substituição de sílica ativa em relação ao aglomerante. Foram realizados os ensaios acelerados para as barras de argamassa, absorção por imersão, resistência à compressão e de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As substituições de sílica ativa, em porcentagens acima de 10%, mostraram-se eficientes para mitigar a reação, porém as propriedades mecânicas, para uma mesma relação água/cimento, tendem a serem afetadas.

Palavras chave: Durabilidade; Reação álcali-agregado; Sílica ativa.

ABSTRACT

The follow study aims to evaluate the influence of silica fume on the development of alkali-aggregate reactions in Portland cement matrix, following the evolution of reactions in cementitious matrix from the perspective of mechanical properties such as permeability and compressive strength, being analyzed the reaction and mitigation capacity. Thus, the content of substitution of silica fume was varied from 0% to 15% in relation to the binder. Accelerated tests were carried out for mortar bars, immersion absorption, resistance to compression and scanning electron microscopy (SEM). The substitutions of silica fume are efficient to mitigate the reaction, in percentages above 10%, however the mechanical properties, for the same water / cement ratio, tend to be affected.

Keywords: Durability; Alkali-aggregate reaction; Activated silica.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia del uso de humo de sílice en el desarrollo de reacciones álcali-agregado en la matriz de cemento Portland, siguiendo la evolución

de las reacciones en la matriz cementosa desde la perspectiva de propiedades mecánicas como la permeabilidad y la resistencia a la compresión, siendo analizado la capacidad de mitigación de la reacción. Así, el contenido de sustitución del humo de sílice varió de 0% a 15% en relación al aglutinante. Se realizaron pruebas aceleradas para barras de mortero, absorción por inmersión, resistencia a la compresión y pruebas de microscopía electrónica de barrido (SEM). Las sustituciones de humo de sílice son eficientes para mitigar la reacción, en porcentajes superiores al 10%, sin embargo las propiedades mecánicas, para la misma relación agua / cemento, tienden a verse afectadas.

Palabras Clave: Durabilidad; Reacción álcali-agregado; Sílice activa.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material utilizado em escala mundial, estando presente nas mais diversas formas e tipos de construção. Apesar de ser um material resistente e com grande capacidade estrutural, o concreto está sujeito a alterações ao longo do tempo, que dependem de seus materiais constituintes e da agressividade ambiental do meio ao qual está inserido. Dessa forma, através da interação da estrutura de concreto com o meio, podem ocorrer manifestações deletérias, que colocam em risco a durabilidade da estrutura, e, conseqüentemente, a sua vida útil (Tiecher, 2006). Segundo Neville (2016), a perda da durabilidade do concreto se manifesta pela sua deterioração, que pode ocorrer tanto de fatores externos quanto internos, sendo essas reações de origem física ou química.

A reação álcali-agregado (RAA) apresenta-se como um mecanismo de degradação do concreto, sendo um processo químico que envolve íons alcalinos (Na e K), provenientes principalmente da hidratação do cimento, íons hidroxilas (OH^-) e os constituintes mineralógicos dos agregados (Vadulga, 2002). Como resultado desta reação é formado um gel viscoso e higroscópico, que tende a atrair moléculas de água, capazes de expandir-se, gerando fissuras em seu entorno, podendo comprometer a microestrutura do concreto (Hasparyk, 2005). No entanto, para que ocorra essa reação deletéria, é necessário que ocorram três fatores simultaneamente, sendo eles, a presença de agregados reativos, umidade e concentração de álcalis acima do limite crítico (Olliver; Vichot, 2014). As manifestações mais comuns verificadas em estruturas de concreto afetadas pela RAA são fissurações do tipo mapa, exsudação do gel na superfície do concreto, bordas de reação ao redor dos agregados, preenchimento de poros com material esbranquiçado, microfissuração e descoloração do concreto (Poole, 1992; Furnas 1997; Hasparyk, 1999). Em casos avançados da reação, o concreto tende a perder a resistência mecânica (Metha; Monteiro, 2008).

Para evitar a ocorrência da reação álcali-agregado, uma opção seria utilizar agregados que são comprovadamente não reativos, porém, isso nem sempre é possível e viável economicamente. Mantendo-se o agregado reativo, deve-se utilizar cimentos que possuam baixo teor de álcalis, assim como as adições pozolânicas, tais como a sílica ativa, metacaulim, cinza volante ou pozolanas naturais (Hasparyk, 2005). Segundo Dal Molin (2005) as adições minerais produzem um efeito químico na microestrutura do concreto, sendo este associado à capacidade de reação com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), formado durante a hidratação do cimento Portland, para formar silicato de cálcio hidratado (C-S-H) adicional, responsável pela resistência das pastas de cimento hidratadas. Essas adições são eficientes em inibir as reações expansivas resultantes da combinação dos álcalis do cimento com os agregados potencialmente reativos. Isso se deve a três fatores, sendo eles, redução da permeabilidade do concreto; ocorrência da redução total de álcalis do aglomerante ao se substituir parte do cimento; consumo de parte dos álcalis pela reação pozolânica, ao invés da reação com os agregados reativos.

A incorporação de adições minerais à composição do cimento propicia vantagens econômicas e ambientais, além de interferir na microestrutura da matriz hidratada, incrementando, na maioria das vezes, a durabilidade da obra com esse material ligante (Hoppe Filho *et al.*, 2013).Entretanto,

é necessário que investigações sejam realizadas a fim de conhecer a eficiência de cada material e para determinar a ação ótima com o agregado reativo, caso contrário, ao invés de estar reduzindo as expansões, um efeito inverso poderá ocorrer (Silva, 2007).

Entre os materiais pozolânicos usados para adição, apresenta-se a sílica ativa. A sílica ativa é oriunda do processo de produção das indústrias de ferrosilício e silício-metálico. Devido à sua extrema finura e silício amorfo, a sílica ativa é um material muito reativo. A adição da sílica ativa influencia a espessura da zona de transição nas argamassas e o grau de orientação dos cristais de CH nela. Assim, a espessura da zona de transição (ZT) comparada à argamassa contendo apenas cimento Portland comum diminui. Portanto, as propriedades mecânicas e a durabilidade são aprimoradas devido melhora da resistência interfacial. O mecanismo não está apenas conectado à formação química de C-S-H na interface dos agregados e pasta, mas também a modificação da microestrutura, porosidade e espessura da zona de transição (Khan; Siddique, 2011).

Diante da relevância do estudo da reação álcali-agregado e as incertezas presentes em relação a este assunto, torna-se importante a realização de pesquisas para a mitigação da reação. No presente trabalho, foi avaliada a influência do uso da sílica ativa no desenvolvimento da RAA, sendo feita a substituição de cimento Portland por sílica ativa em diferentes teores com o objetivo de acompanhar a evolução das reações em matriz cimentícia sob a perspectiva de propriedades mecânicas como permeabilidade e resistência à compressão, sendo analisada a capacidade de mitigação da reação álcali-agregado.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foi realizado o ensaio acelerado das barras de argamassa conforme a norma americana ASTM C - 1260/07, que visa analisar a reatividade álcali-agregado, no traço constante de 1:2,25:0,47. A quantidade de cimento para o ensaio foi de 440 g e 990 g de agregado para um relação a/c= 0,47. O agregado utilizado foi obtido por britagem de rocha granítica sã, sendo que este mostrou-se reativo aos álcalis em pesquisa anterior realizada pelo grupo de pesquisa em materiais de construção da Universidade Estadual de Ponta Grossa. O cimento utilizado foi CP II F – 32. As condições de mistura da argamassa foram procedidas de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). Dessa forma, a adição de sílica ativa foi utilizada como substituição parcial da massa de cimento Portland nas porcentagens de 0% (referência), 5%, 10% e 15% com três barras por porcentagem, totalizando doze barras. Com a moldagem das barras, foi realizado o monitoramento das expansões lineares das amostras imersas em solução de hidróxido de sódio (NaOH), na concentração de 40g para cada litro de água (1 mol), mantida a uma temperatura controlada em 80 ± 2 °C. Foram feitas medidas de expansão semanalmente, sendo que na Figura 1 apresentam-se as barras no momento em que estas foram desmoldadas.



Figura 1 – Barras de argamassa estudadas

Para análise das resistências mecânicas e absorções por imersão formam moldados corpos de prova de argamassa de 5,0 de diâmetro por 10,0 cm de altura, atendendo as recomendações da NBR 7215

(ABNT, 1996), com o mesmo traço estabelecido para o ensaio acelerado. Ainda realizou-se o ensaio do índice de consistência da argamassa, na mesa de abatimento, conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016), para análise das suas propriedades no estado fresco. Já o ensaio de absorção por imersão foi realizado de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987), para análise das propriedades de absorção.

Foram moldados 48 corpos de prova de argamassa, sendo doze corpos de prova para cada porcentagem de substituição, para porcentagens de 0%, 5%, 10% e 15%. Os corpos de prova moldados, foram submetidos nas mesmas condições de cura acelerada em hidróxido de sódio. Estes corpos de prova foram utilizados para a execução dos ensaios de absorção e de resistência à compressão aos 28 dias e aos 60 dias. Depois de realizados esses ensaios, foram feitas amostras a partir dos corpos de prova para ensaios de microscopia eletrônica de varredura, no qual foram verificadas as alterações microestruturais ocorridas nas argamassas pelo uso da adição.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos no ensaio do índice de consistência da argamassa no estado fresco estão apresentados na Figura 2. Pode-se observar que quanto maior a porcentagem de substituição de sílica ativa, menor é a consistência da argamassa, sendo que a adição de sílica ativa ocasionou uma redução na trabalhabilidade da argamassa. Isto ocorre principalmente pela finura da adição mineral, a qual tem a capacidade de maior retenção de líquidos devido a sua grande área superficial da soma de suas partículas.

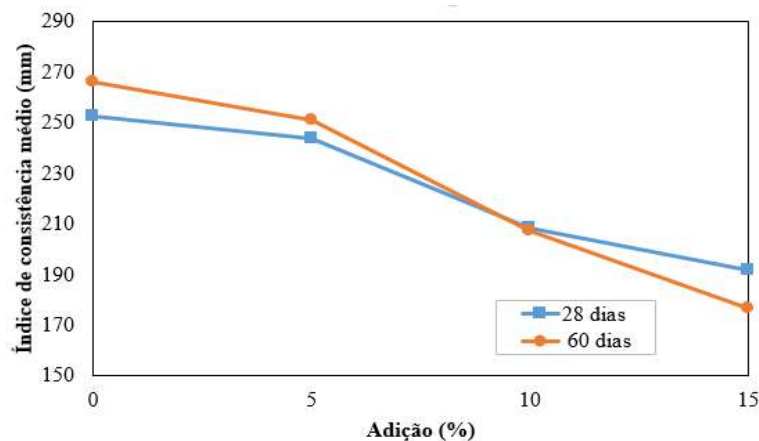


Figura 2 – Índice de consistência aos 28 e 60 dias

Optou-se neste estudo em não utilizar aditivo para correção do índice de consistência, visando o estudo da interação da sílica ativa nas demais propriedades no estado endurecido das argamassas assim como na microestrutura destas. As consistências praticadas neste trabalho foram suficientes para que as moldagens fossem adequadas, não interferindo negativamente neste processo.

Segundo a ASTM C – 1260, 2007, para o método acelerado das barras de argamassa, em um período de 16 dias, se a expansão for superior ou igual a 0,2% o agregado é considerado como deletério, se estiver entre 0,2% e 0,1% é considerado como potencialmente deletério e se for inferior a 0,1% é considerado como inócuo.

A Figura 3 apresenta as variações dimensionais das barras de argamassa após o ensaio acelerado. As barras com 5% de substituição de sílica ativa demonstram que a adição não apresentou capacidade de mitigar a reatividade do agregado, o qual se torna potencialmente deletério aos 10 dias e passa a ser deletério aos 20 dias. Já as substituições de sílica ativa de 10% e de 15% mostraram-se eficientes para mitigar a reação, reduzindo o seu coeficiente de expansão aos limites recomendados aos 16 dias.

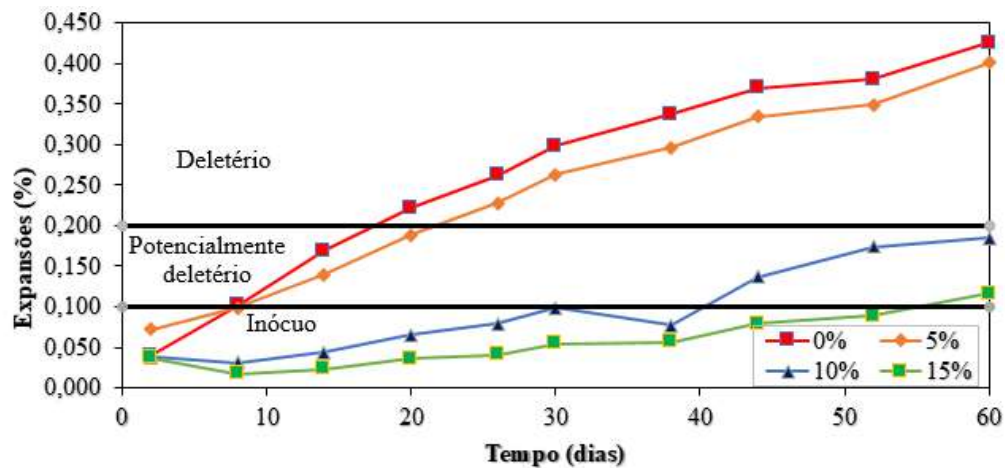


Figura 3 – Expansão (%) x Tempo (dias)

Baptista et al., (2013) observaram comportamento similar em seu estudo, sendo que foram utilizadas adições de 5%, 15% e 25% em relação a massa de cimento, corroborando com os dados encontrados neste trabalho. Munhoz (2007) apresentou em seu trabalho que a partir de 10% de adições de sílica ativa já são suficientes para que as expansões causadas pela RAA sejam reduzidas para menos de 0,10% aos 14 dias segundo a ASTM C 1567.

Observa-se, pela Figura 4, que as resistências à compressão aos 28 dias são maiores nas proporções de substituição de cimento por sílica ativa de 0% e de 5%, diminuindo nas substituições de 10% e de 15%. Aos 60 dias o mesmo comportamento é observado, mas já a partir da substituição de 5% são observadas quedas acentuadas na resistência mecânica. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de as reações pozolânicas ainda não terem ocorrido completamente, assim como pela insuficiência destas em aumentar a resistência a ponto de se equiparar com o cimento Portland.

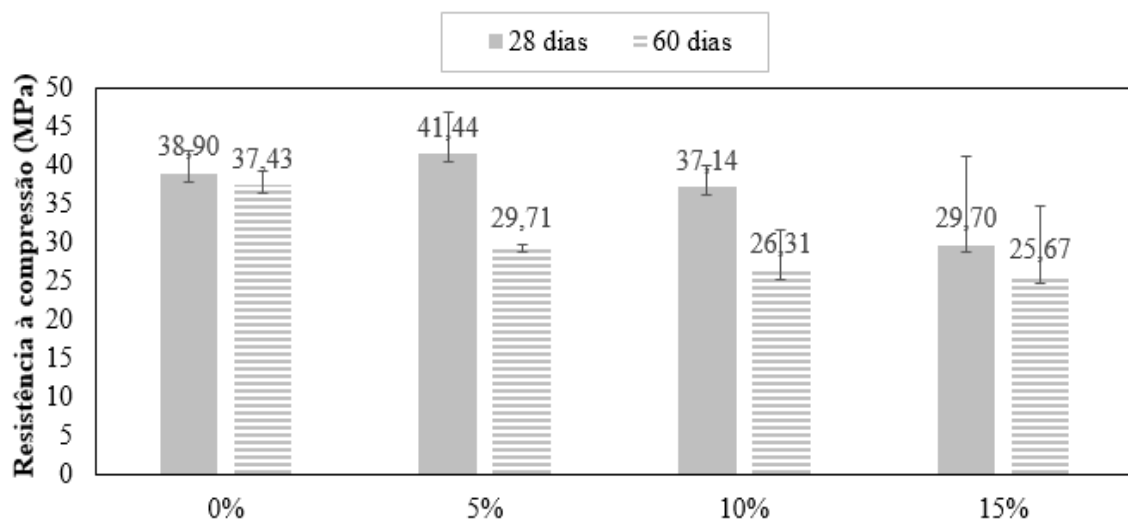


Figura 4 – Resistência à compressão aos 28 e 60 dias.

Outra explicação para este comportamento de redução das resistências mecânicas é que os produtos formados pela RAA podem tamponar os poros e aumentar a resistência em estágios iniciais, como aos 28 dias de cura, onde tal característica auxiliaria nas maiores resistências nos traços com maior ocorrência de RAA. Com a intensificação da RAA, a tendência é a formação de tensões internas devido a formação de produtos expansíveis e higroscópicos na fase dos agregados, ocasionando assim a perda de resistência pela ocorrência de fissurações (Pereira, 2018).

As maiores resistências aos 28 dias em relação aos 60 dias, de forma geral, demonstram a intensificação da RAA mesmo com altos teores de substituição de cimento por sílica ativa. A literatura apresenta ainda que a RAA tem a tendência de apresentar dormência inicial das reações, sendo que posteriormente as reações formam poros pela dissolução de fases reativas do agregado assim como pela geração de fissuras devido à expansão dos produtos gerados, sendo ainda demonstrada a ocorrência da colmatação de poros pela diminuição da absorção e porosidade. Garcia-Diaz et al., (2006), observaram comportamento similar em seus estudos, onde a dormência inicial das reações é seguida pela colmatação de poros e alteração das características dos materiais.

Pereira (2018), identificou mesmo comportamento em seu estudo, sendo que em idades iniciais as resistências mecânicas tendem a aumentar com os efeitos da RAA, apresentando posteriores quedas devido a sua intensificação.

Para o ensaio de absorção por imersão nos corpos de prova, tanto aos 28 dias quanto aos 60 dias, observou-se uma estagnação das variações dessa propriedade em relação aos traços estudados, visto que não foram apresentadas grandes variações nos resultados obtidos, variando entre 9,5% aos 28 dias e 8,5% aos 60 dias. Isto pode estar relacionado com as adições ativas que contribuem para o refinamento do tamanho dos poros na estrutura de pastas hidratadas, mas tendem a aumentar a porosidade total. Por outro lado, o produto da RAA gerado no ensaio acelerado, pelo processo da formação de géis expansíveis e, pela colmatação dos poros, contribui para a redução da porosidade total da argamassa. Os resultados de absorção estão apresentados na Figura 5.

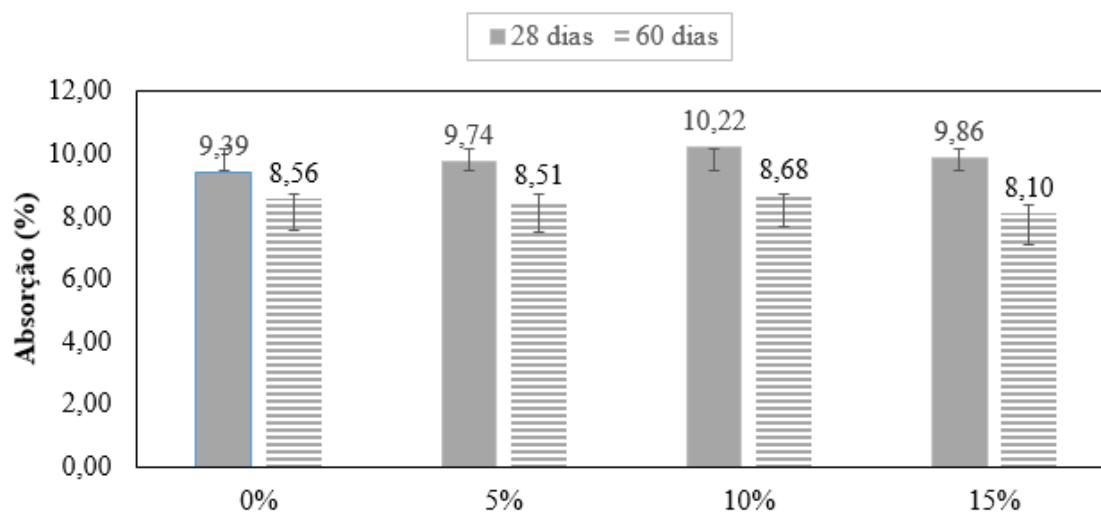


Figura 5 – Teores de absorção por imersão aos 28 e 60 dias

A Figura 6 apresenta as microscopias das amostras sem adição de sílica ativa, sendo a Figura 6(a) demonstrando a característica de reatividade dos agregados, devido, principalmente, ao ângulo de extinção ondulante (AEO), onde os cristais sofrem deformações e falta de arranjo de grande alcance, favorecendo a dissolução pelos álcalis. A Figura 6(b) apresenta os produtos da RAA, sendo este um gel expansivo, o qual aparece em grande quantidade devido à alta reatividade do agregado.

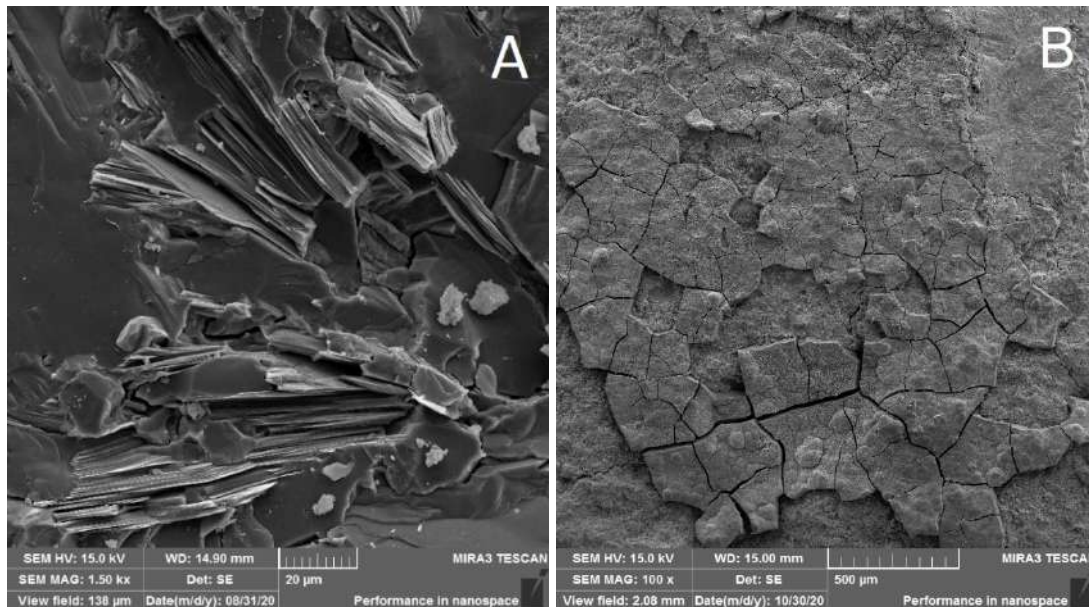


Figura 6 – a) Agregado com AEO; b) Produto da RAA

A Figura 7 apresenta a análise de EDS do gel formado nas argamassas sem a adição de sílica ativa. É importante destacar que a tabela dos elementos químicos é semi-qualitativa, não podendo ser utilizada para afirmar com precisão as porcentagens dos compostos na amostra e um cálculo estequiométrico exato. Identifica-se por meio do EDS, a presença de majoritariamente de oxigênio, sódio, sílica e cálcio, elementos característicos dos géis de RAA. O cálcio geralmente substitui os íons sódio ou potássio, tornando o gel denso e menos solúvel, conforme pode ser observado na microscopia (Hasparyk, 2005).

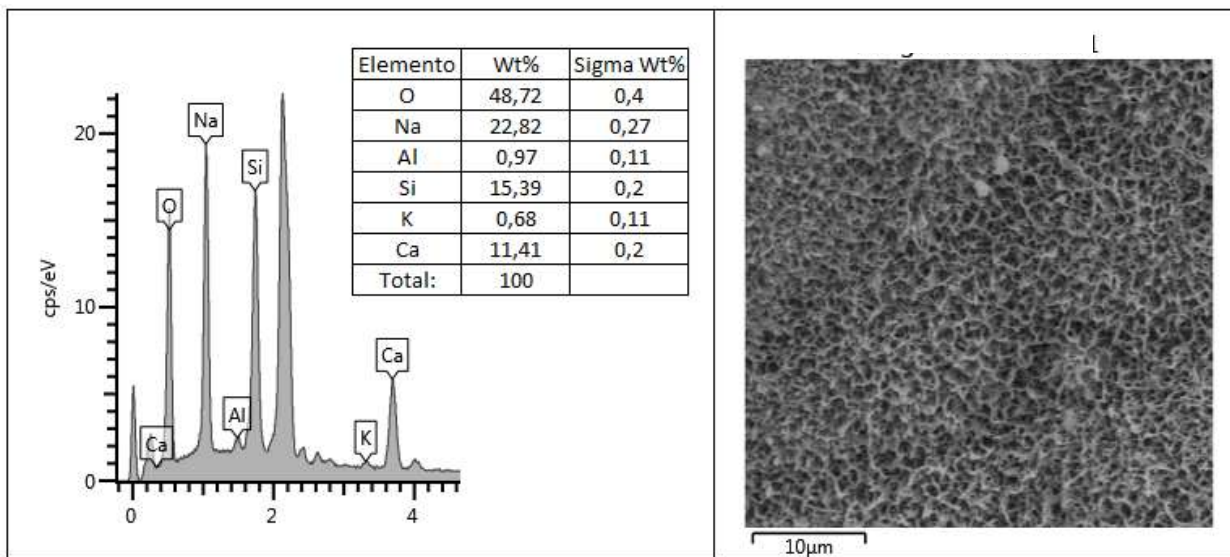


Figura 7 – Análise de EDS do gel formado nas argamassas com 0% de adição de sílica ativa

Nas amostras com 5% de substituição de sílica ativa (Figura 8 (a)), foi possível observar que, mesmo em pequena quantidade, a substituição de cimento por sílica ativa promoveu a formação de uma camada particulada mais densa sobre os produtos da RAA, demonstrando que a sílica tem capacidade de densificar os géis formados, diminuindo assim os efeitos da reação álcali-agregado. Destaca-se que, mesmo observando alterações na morfologia dos produtos formados nas microscopias, nos ensaios de variação dimensional das barras de argamassa os resultados

demonstraram que tal porcentagem de substituição não foi suficiente para reduzir as expansões a limites aceitáveis perante as normativas. A Figura 8 (b) apresenta uma imagem mais detalhada do gel formado na parede de um dos poros da argamassa, sendo possível identificar a formação de cristais aciculares neste material.

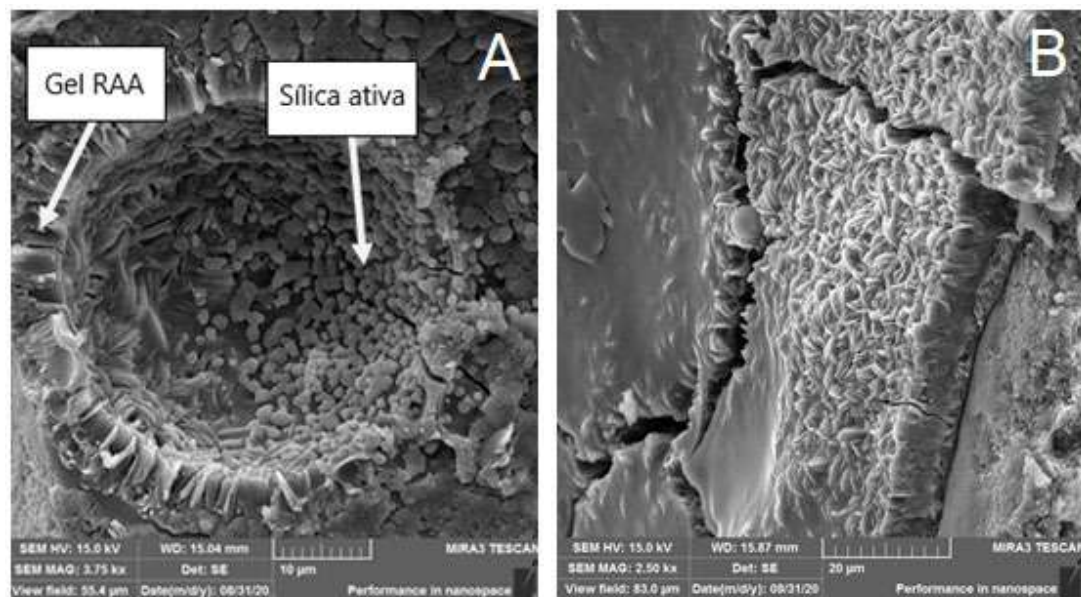


Figura 8 – a) Poro de argamassa com 5% de substituição de sílica ativa; b) Presença de gel com cristalizações na parede dos poros

A Figura 9 apresenta a análise de EDS dos produtos formados nos poros das argamassas com 5% de substituição de sílica ativa, sendo possível observar predominantemente álcalis como sódio e cálcio assim como silício. Tais produtos são típicos da ocorrência da RAA, corroborando o que foi observado nos ensaios de variações dimensionais das barras de argamassa. Destaca-se que este gel foi encontrado massivamente dentro de poros e vazios na matriz cimentícia.

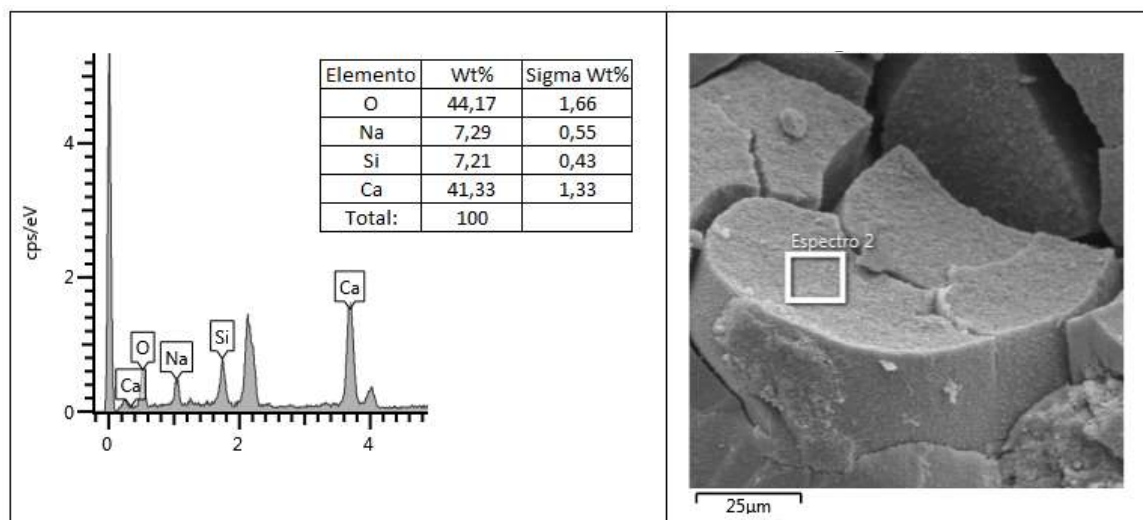


Figura 9 – Análise de EDS do gel formado nas argamassas com 5% de adição de sílica ativa

Nas amostras de 10% de sílica ativa foi possível observar um aumento considerável de cristais de silicato de cálcio nas microscopias e por EDS, sendo que isto demonstra que as reações pozolânicas estão ocorrendo na matriz cimentícia, podendo-se observar este efeito nas expansões das barras de

argamassa, pois nesta porcentagem de substituição a adição é eficiente para mitigar a reação deletéria. Na Figura 10(a) identifica-se os cristais característicos dos silicatos de cálcio na matriz da argamassa, sendo que na Figura 10(b) é possível observar estes cristais em uma maior magnificação, sendo que estes se encontram aderidos na parede dos poros, diminuindo a incidência de gel reativo e por consequência as expansões como observado nos ensaios acelerados.

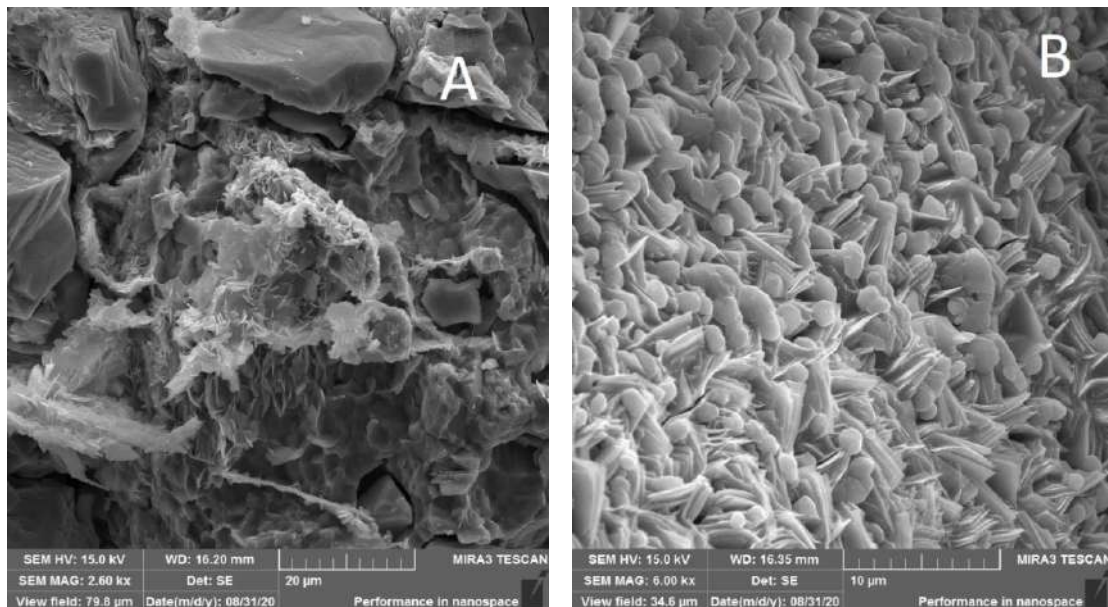


Figura 10 – a) Estruturas formadas no agregado reativo; b) Estruturas formadas nos poros de argamassa.

Na Figura 11, apresenta-se a análise EDS dos produtos formados na parede dos poros da argamassa com 10% de substituição de cimento. Tal análise demonstra que o material é rico em silício e cálcio, comprovando as afirmações anteriores de que silicatos de cálcio hidratados foram formados devido aos efeitos pozolânicos da sílica ativa. Tais comportamentos eram esperados segundo a bibliografia, mas objetivava-se a identificação e caracterização destes materiais na microestrutura das argamassas.

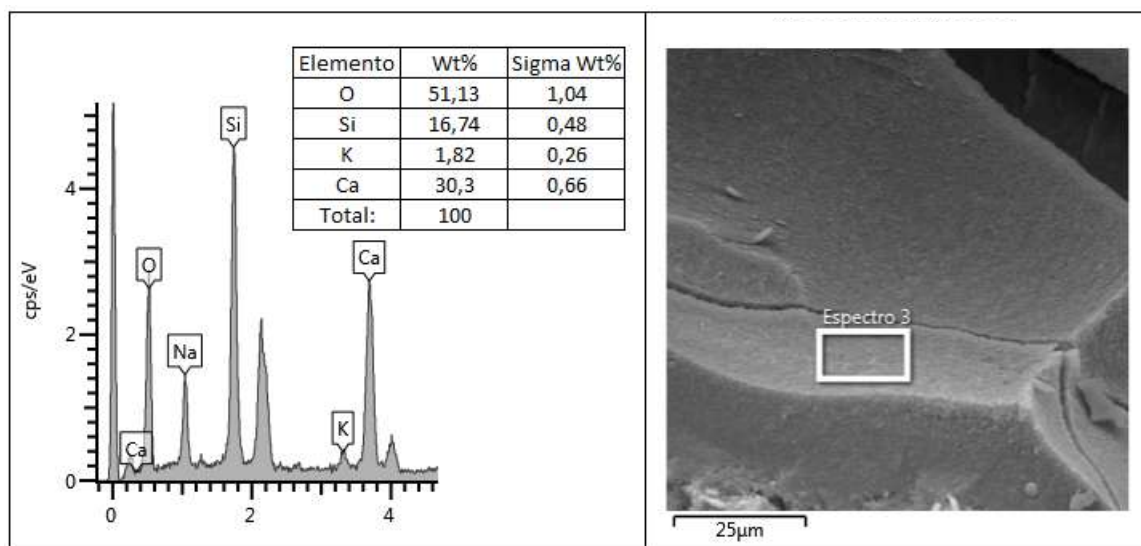


Figura 11 - Análise de EDS do gel formado nas argamassas com 10% de adição de sílica ativa

Nas amostras com 15% de substituição foram identificadas a formação de estruturas de silicato de cálcio tanto nos agregados reativos quanto nos poros das argamassas. Nas Figuras 12(a) e 12(b) pode-se identificar a grande formação destes cristais, e a sua densificação frente aos géis álcali-agregados. Estas formações tiveram a capacidade de reduzir consideravelmente as expansões que puderam ser observadas no ensaio acelerado, demonstrando que a sílica ativa tem a capacidade de mitigar as ocorrências da RAA.

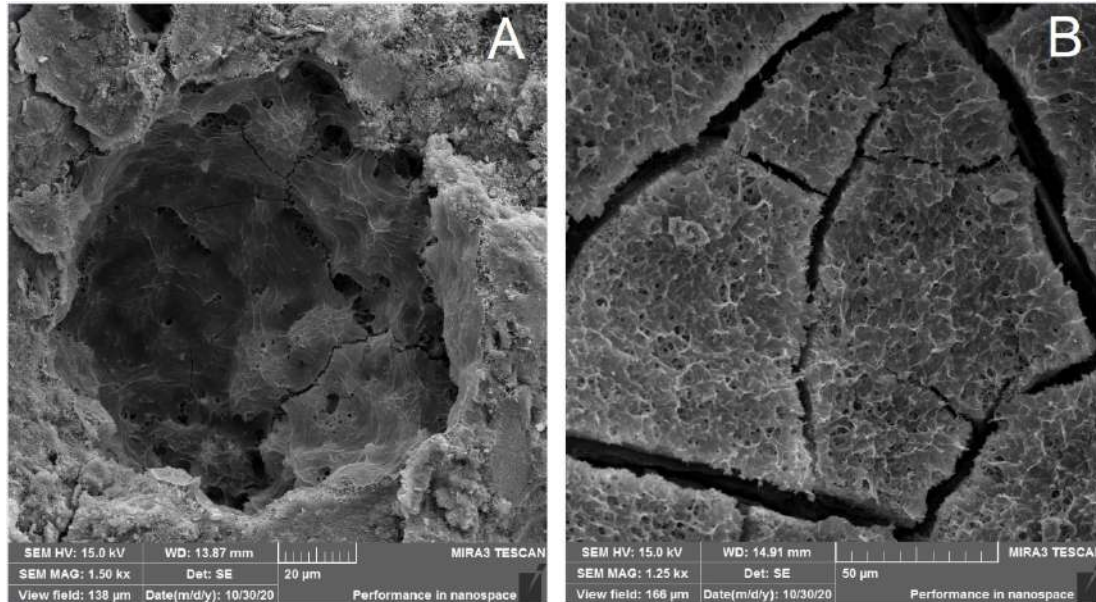


Figura 12 - a) Camada de silicato de cálcio na parede de poro; b) Detalhe dos produtos formados

Nas amostras com 15% de substituição (Figura 13) observou-se ainda a formação de nucleações das partículas de sílica ativa, demonstrando a grande afinidade deste material em formar produtos densos e não reativos.

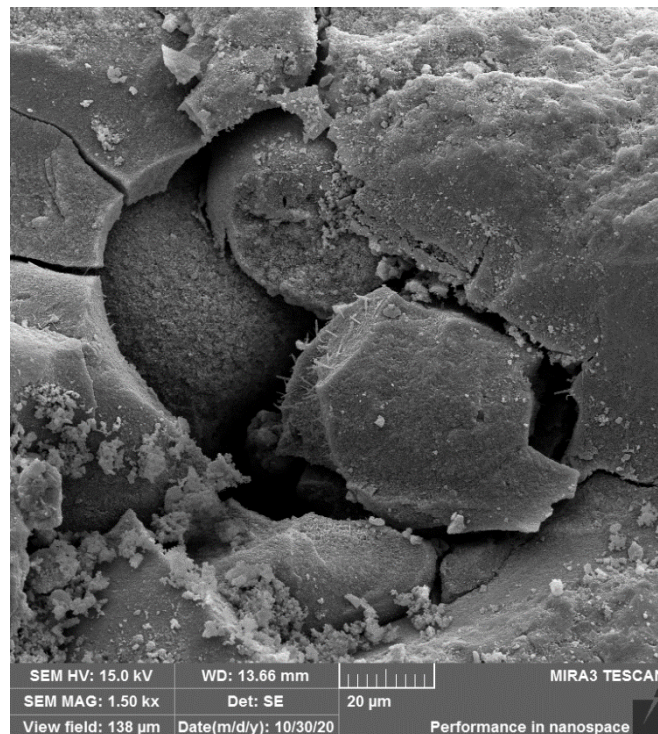


Figura 13 – Amostras com 15% de substituição de sílica ativa.

As figuras 14 (a) e 14 (b) demonstra os poros das argamassas sem adição de sílica ativa e com 15% de substituição respectivamente.

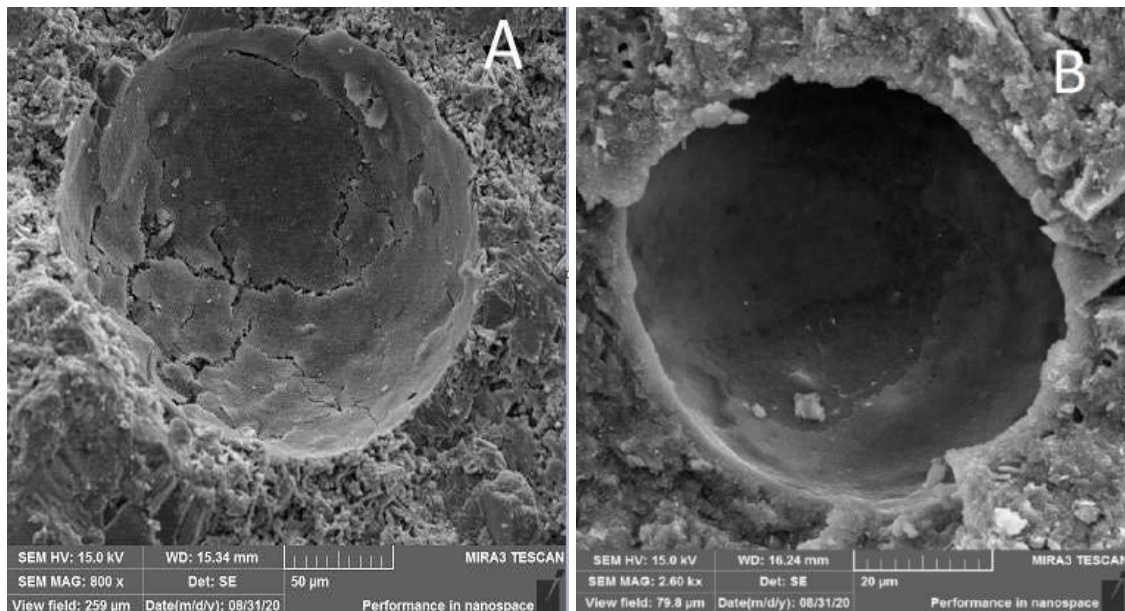


Figura 13 – a) Poro da argamassa sem sílica ativa; b) Poro da argamassa com 15% de sílica ativa

Fazendo-se uma comparação entre as argamassas sem adição de sílica ativa e com o maior percentual de 15%, pode-se observar que ocorre a formação do gel característico da reação álcali-agregado nos poros da matriz cimentícia e fissurações formadas pela expansão do gel na argamassa sem sílica ativa. Com o aumento da substituição parcial de sílica ativa foi possível observar uma diminuição nos produtos formados pela RAA, bem como a presença de partículas e cristais de silicato de cálcio, o que pode indicar a mitigação dos efeitos deletérios da reação álcali-agregado.

4. CONCLUSÃO

A substituição parcial da sílica ativa em relação ao cimento apresentou potencial de mitigação da reação álcali-agregado, nas porcentagens entre 10% e 15% de substituição. Os resultados indicam que estes teores são capazes de reduzir o seu coeficiente de expansão aos limites recomendados aos 16 dias.

Quanto as propriedades no estado fresco, a adição de sílica ativa ocasionou uma redução na trabalhabilidade das argamassas, o que ocorre principalmente pela finura da adição. As maiores resistências mecânicas aos 28 e 60 dias ocorreram nas porcentagens com maior ocorrência de RAA, o que pode ter ocorrido pelo fato de as reações pozolânicas terem de forma conjunta com a RAA, tamponando os poros pelos produtos destas reações. Além disso, as maiores resistências ocorreram nos traços com maior quantidade de cimento Portland, demonstrando que as reações pozolânicas oriundas da sílica ativa não tem a capacidade de gerar resistências iguais às do cimento.

As variações de absorções não apresentaram um padrão, decorrente de que as adições ativas tendem a aumentar a porosidade total e os produtos da RAA contribuem para a redução da porosidade total da argamassa. Deve-se atentar ao fato de que quanto maior a porcentagem substituição, para uma mesma relação água cimento, as propriedades mecânicas das argamassas tendem a serem afetadas. Com o aumento da substituição parcial de sílica ativa, através dos ensaios de microscopia, foi possível observar uma diminuição nos produtos formados pela RAA e, também, a formação de partículas e cristais de silicato de cálcio, indicando a mitigação dos efeitos deletérios da reação álcali-agregado principalmente pela pozolanicidade da sílica ativa.

5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Ponta Grossa pela concessão de Bolsa e pela infraestrutura de seus laboratórios, em especial ao Complexo Multiusuários C-LABMU. Ao CNPq pelo auxílio financeiro através da bolsa de estudos.

6. REFERENCIAS

ASMT International. (2007). *ASTM C – 1260/07: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*. Philadelphia, DOI: 10.1520 / C1260-07

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2008a). *NBR 15577-1: agregados – reatividade álcali-agregado – parte 1: guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para o uso de agregados em concreto*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1996). *NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). *NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *NBR 15577-5: Agregados – Reatividade álcali-agregado Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado*. Rio de Janeiro.

BAPTISTA, Allan Silveira; HÖEHR, Guilherme Trindade; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. *Avaliação da reação álcali-agregado da areia natural da região metropolitana de Porto Alegre, Brasil e do uso de sílica ativa*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

DAL MOLIN, D. C. C. (2005), “*Adições minerais para concreto estrutural*”. In: ISAIA, G. (Org). *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON.

FURNAS, Equipe de Laboratório de Concreto; ANDRADE, W.P. (Ed). (1997), “*Reatividade potencial álcali-agregado. In: Concretos massa estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades*”. São Paulo.

GARCIA-DIAZ, E. et al. *Mechanism of damage for the alkali-silica reaction*. Cement and concrete research, v. 36, n. 2, p. 395-400, 2006.

PEREIRA, E. (2018), “*Efeito da Reação Álcali-Agregado (RAA) Associada ao Ataque Interno por Sulfato (ISA) na Absorção e Porosidade de Compósito de Matriz Cimentícia*”. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

POOLE, A. B. (1992), “*Introduction to alkali-aggregate reaction in concrete*”. In: SWAMY, R. N. *The alkali-silica reaction in concrete*. Glasgow/London: Blackie / New York: Van Nostrand Reinhold, p.1-29.

HASPARYK, N. P. “*Investigação dos Mecanismos da Reação Álcali-Agregado – Efeito da Cinza de Casca de Arroz e da Sílica Ativa*”. Dissertação de Mestrado, UFG, Escola de Engenharia Civil. Goiânia. 257 p.

HASPARYK, N. P. (2005), “*Investigação de Concretos Afetados Pela Reação Álcali-Agregado e Caracterização Avançada do Gel Exsudado*”. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- HOPPE FILHO, J.; MEDEIROS, M. H. F. de; PEREIRA, E.; HELENE, P. ; ISAIA, G. C..(2013), “*High-volume fly ash concrete with and without hydrated lime: chloride diffusion coefficient from accelerated test*”. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 25, p. 411-418. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000596](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000596).
- KHAN, Mohammad Iqbal; SIDDIQUE, Rafat. (2011), Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 57, p. 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.016>
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M (2008). “*Concreto: estrutura, propriedades e materiais*”. 3ª Edição. São Paulo: IBRACON.
- MUNHOZ, Flávio André da Cunha. *Efeito de adições ativas na mitigação das reações álcali-silica e álcali-silicato*. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- NEVILLE, A. M (2016). “*Propriedades do concreto*”. 5ª Edição. Porto Alegre: Bookman.
- OLLIVER, J. P.; VICHOT, A. (2014), “*Durabilidade do concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente*”. São Paulo: Ibracon.
- SILVA, N. P. (2007), “*Reação álcali-agregado nas usinas hidrelétricas do complexo Paulo Afonso / CHESF. Influência da reação nas propriedades do concreto*”. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de São Paulo.
- TAYLOR, H. F. W. (1997), “*Cement chemistry*”. 2 ed. London: Thomas Telford.
- TIECHER, F. B. (2006), “*Reação álcali-agregado: Avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado*”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VADULGA, L. (2002), “*Reação Álcali-Agregado: Mapeamento de Agregados Reativos do Estado de São Paulo*”. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas.

CORROSÃO NA CAPELA DE SANTA EDWIRGES

J. C. Sales^{1*}

*email: juscelinochaves@hotmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, Brasil

RESUMO

As edificações próximas ao litoral marinho sofrem mais com os ataques do meio em que foram construídas bem como as edificações construídas nos ambientes urbanos onde existe uma poluição acentuada devido a emissão de CO₂. O presente trabalho faz uma análise da manifestação patológica corrosão na armadura na Capela de Santa Edwirges e no edifício paroquial localizados na cidade de Fortaleza. Foi possível concluir que a corrosão na armadura das lajes e dos pilares das edificações ocorreram devido ao spray marinho que gera íons cloretos (ataque por cloretos) que acarreta também corrosão por pites nas estruturas metálicas como também a carbonatação do concreto que ocorre ao longo de toda a barra de aço da armadura, onde a carbonatação é bastante agressiva devido as edificações estarem localizadas em uma área onde transita muitos veículos que liberam CO₂ devido seus motores de combustão interna. As edificações estão localizada a menos de 10m do mar.

Palavras-chave: corrosão na armadura, spray marinho, carbonatação, íons cloretos, Capela de Santa Edwirges.

ABSTRAT

Buildings close to the sea coast suffer more from attacks from the environment in which they were built, as well as buildings built in urban environments where there is a marked pollution due to CO₂ emissions. The present work analyzes the pathological manifestation of corrosion in the armor in the Chapel of Santa Edwirges and in the parish building located in the city of Fortaleza. It was possible to conclude that the corrosion in the reinforcement of the slabs and pillars of the buildings occurred due to the marine spray that generates chloride ions (attack by chlorides) that also causes pitting corrosion in the metallic structures as well as the carbonation of the concrete that occurs throughout the entire structure. the steel bar of the armature, where carbonation is quite aggressive due to the buildings being located in an area where many vehicles that release CO₂ due to their internal combustion engines transit. The buildings are located less than 10m from the sea.

Keywords: armor corrosion, marine spray, carbonation, chloride ions, Santa Edwirges Chapel.

1.INTRODUÇÃO

O concreto armado é a solução estrutural mais empregada nas construções brasileiras e em grande parcela das edificações dos principais países do mundo (Bolina, 2019).

A carbonatação ocorre primeiramente na superfície e avança em direção ao interior do concreto e, quando alcança a armadura, ocorre a despassivação e corrosão dela. A corrosão do aço faz com que seu volume aumente, causando fissuração do concreto, destacamento do cobrimento, redução da área de aço e perda da aderência do aço com o concreto (Carvalho, 2020).

A corrosão das barras de aço de concreto armado tem afetado negativamente a construção civil, causando tanto perdas econômicas como perdas humanas. A corrosão ocorre, principalmente, devido à ação agressiva do dióxido de carbono (CO_2) e dos íons cloreto (Cl^-) sendo que a corrosão desencadeada pelo CO_2 ocorre em qualquer tipo de atmosfera, desde que o concreto não permaneça saturado continuamente, enquanto a corrosão por Cl^- ocorre, no Brasil quase que exclusivamente em atmosfera marinha (Pacheco, 2017).

Pesquisadores fizeram a estimativa probabilística do tempo inicial de corrosão da armadura de peças de concreto armado submetidas a ataque por íons cloretos, aplicando o Método de Monte Carlo em uma edificação situada em zona marinha e as medições foram efetuadas pelo processo da vela úmida (Oliveira, 2011).

A corrosão de armaduras é um problema mundial, especialmente em construções expostas a ambientes agressivos como a água do mar ou os saia de degelo. Utilizando o ensaio de não destrutivos de resistividade elétrica utilizada na avaliação da corrosão do aço no concreto armado, pesquisadores concluíram que quanto maior o teor de cloretos, menor a resistividade (Real, 2014). A avaliação do teor crítico de cloretos em concreto armado é importante pois o íon cloreto é um dos agentes mais agressivos no processo corrosivo do concreto armado. Foi analisada a relação água/cimento com adição de sílica e metacaulin submetidos ao ataque químico em uma solução com cloreto de sódio (NaCl) e foi constatado que a água/cimento e a sílica e o metacaulin, foram fatores determinantes para abreviar o período de início de corrosão (Neri, 2014).

Pesquisadores analisaram o comportamento de concreto armado com a adição de resíduos de tijolos cerâmicos (RTM) frente à corrosão por cloretos e concluíram que houve uma diminuição na resistência mecânica e no teor de cloreto para os concretos com RTM (Pereira, 2014).

A Capela dos Aflitos, de 1774, na cidade de São Paulo é o testemunho restante do primeiro cemitério público da cidade. Hoje, enfrenta problemas como rachaduras e queda do reboco, mas continua atraindo fiéis, especialmente de Chaguinhas, santo popular que teria sido morto na força injustamente (Mengue, 2019).

Pesquisadores conseguiram propor soluções de durabilidade na vida útil de projeto de estruturas de concreto armado sujeitas a ataque de cloretos (Mees, 2020).

Foi comparada por pesquisadores a utilização de inibidores de corrosão a base de carboxilato de amina, o aumento no cobrimento, a redução da relação água/cimento e a adição de sílica ativa, na vida útil de projeto de estruturas de concreto armado situadas em ambientes salinos por conta da corrosão das armaduras (Mees, 2020).

Neri *et al* (2013) avaliaram estruturas de concreto submetidas ao ataque de cloreto de sódio e ácido sulfúrico e concluíram que a relação (a/c) e o tipo de solução agressiva foram fatores determinantes para a corrosão do aço.

Diferentemente do que ocorre com a ação de íons cloretos onde a oxidação se dar por pites, ou seja, incidências pontuais, a carbonatação se dar de forma generalizada ao logo da superfície da barra atingida (Oliveira, 2013).

A corrosão na armadura das lajes lisas, das vigas e dos pilares nas estruturas de concreto armado das edificações sempre existirá, como também a corrosão existirá em estruturas metálicas.

O presente trabalho teve como objetivo analisar a manifestação patológica da corrosão na Capela de Santa Edwirges e do edifício paroquial, mostrando o efeito do ambiente e as causas da

manifestação patológica da corrosão nas edificações, e o porque da aceleração do processo corrosivo.

2.METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado através de um estudo de caso através de uma inspeção *in situ* feita na Capela de Santa Edwirges para detectar as manifestações patológicas de corrosão das armaduras e corrosão nos equipamentos feitos de aço mostrando as causas e o porquê de terem ocorridos essas manifestações patológicas.

Foram feitos também registros fotográficos das manifestações patológicas existentes na Capela de Santa Edwirges, como também uma pesquisa de cunho bibliográfico.

3.CORROSÃO NA CAPELA DE SANTA EDWIRGES

A corrosão no ambiente marinho é bem mais acelerada do que em outras regiões devido ao ataque do cloreto de sódio (íons cloretos) existente as ondas do mar (água salgada).

Existem vários métodos de combate a corrosão como a proteção por barreira a base de tintas (zarcão, ferrolack vermelho óxido (tinta à base de óxido), proteção catódica, ânodo de sacrifício etc.

A Figura 1 mostra a névoa (spray) gerada pelas ondas na praia, que possuem grande quantidade de íons cloretos (NaCl-cloreto de sódio), que vão atacar as estruturas tanto de concreto armado como também as estruturas metálicas, mostrando assim que essas edificações são construídas em um ambiente muito agressivo e diminui assim a vida útil das edificações. É possível também constatar a existência de um muro de quase um metro de largura e 1,5m de altura que foi construído entre as pedras de enrocamento da praia e da Capela de Santa Edwirges que fica a menos de 6m do muro.



Figura 1. Névoa (spray marinho) gerada pelas ondas na praia e o muro. Fonte: própria, 2019.

Tanto na cerca feita de estrutura metálica que separa a área da Igreja de Santa Edwirges da calçada da Avenida Leste-Oeste como todos os outros equipamentos feitos de aço apresentaram acelerado processo corrosivo. Na Figura 2 foi possível constatar grades de proteção da edificação em alto grau de corrosão onde quase todas as grades têm que ser trocadas pois a oxidação (corrosão) diminuiu o diâmetro das barras de aço carbono 1020 (liga metálica) e também foi possível perceber a Avenida Leste-Oeste que é um local onde se libera muito CO₂ para a atmosfera.



Figura 2. Grades de proteção da edificação com alto grau de corrosão. Fonte: própria, 2019.

A Figura 3 mostra uma grade de proteção que fica em frente à Igreja de Santa Edwirges com muitos pontos de corrosão por pites principalmente devido ao ataque dos íons cloreto como também muita corrosão bem na base do pilar feito de aço, que serve de sustentação da grade no solo (piso cerâmico) e em algumas barras de aço. O aço carbono 1020 é um material muito susceptível a corrosão (oxidação) pois no ar temos o oxigênio que tem uma grande afinidade pelo ferro que é o elemento químico que está presente no aço em grande quantidade, inclusive no caso das estruturas analisadas chega a mais de 97% de ferro (aço carbono 1020). Como sobre os equipamentos (edificações em concreto armado, estruturas de aço) analisados além do oxigênio do ar temos uma grande quantidade de íons cloretos, isso vai acelerar ainda mais a corrosão. O aço carbono 1020 é uma liga metálica que tem em sua composição química com 0,2% de carbono.



Figura 3. Grade de proteção que fica em frente à Igreja de Santa Edwirges com muitos pontos de corrosão por pites. Fonte: própria, 2019.

Na Figura 4 foi possível constatar corrosão na armadura da viga lateral da Igreja de Santa Edwirges como também uma trinca na viga e a retirada do cobrimento de concreto sobre o aço da viga que se encontrava corroída. Foi possível constatar também que a viga lateral foi passada a cal virgem sem ter sido feito o enchimento com concreto do vazio deixado pelo deslocamento do concreto. A corrosão também pode ser vista em toda as partes da antena fabricada de aço que fica fixada na viga. Foi possível perceber o destacamento de parte do concreto (cobrimento) em dois locais da viga, ou seja, no local da lateral da viga que foi pintada de branco como também na parte inferior direita (ponta da viga) da viga de concreto armado onde é possível ver a armadura exposta.



Figura 4. Corrosão na armadura da viga lateral da igreja com destacamento de parte do concreto (cobrimento). Fonte: própria, 2019.

Na Figura 5 foi possível constatar as armaduras em uma das vigas de concreto armado altamente comprometidas pela corrosão. Essa viga do edifício paroquial fica localizada a menos de 8 m do mar. O concreto também sofreu carbonatação pois a viga está a menos de 40m da avenida Leste-Oeste. A detecção da manifestação patológica da corrosão foi feita no dia 30 de maio de 2018. A corrosão na armadura já bastante agressiva em uma das lajes da edificação também pode ser vista, onde é possível constatar também o deslocamento da camada de cobrimento da laje de concreto armado. O destacamento do cobrimento da armadura acelera a corrosão da armadura (vergalhão de aço).



Figura 5. Armaduras em uma das vigas de concreto armado altamente comprometidas pela corrosão. Fonte: própria, 2018.

Devido a corrosão da armadura foi feita uma intervenção no dia 8 de junho de 2018 onde foi possível constatar a recuperação das vigas como pode ser visto na Figura 6, onde primeiramente foi colocada tinta epoxi para armadura de aço carbono, que são tintas que resistem à umidade, a imersão em água salgada como também o spray marinho que possui íons cloretos e depois foi feito o recobrimento da armadura com concreto.

Para reparar os efeitos da carbonatação nas vigas da edificação não se utilizou a realcalinização (eletroquímica, química ou passiva) e sim o reparo convencional.



Figura 6. Recuperação das vigas (método convencional). Fonte: própria, 2018.

A Figura 7 é possível perceber a edificação paroquial e o mar onde as ondas ficam a menos de 10m da edificação acelerando a corrosão pela ação dos íons cloretos. É também possível perceber no segundo pavimento da edificação a existência de armadura exposta no pilar com o destacamento do revestimento de concreto onde parte do revestimento cerâmico já foi destacado. Também foi possível perceber corrosão por pites em todas as barras de aço carbono 1020 de todas as varandas da edificação.



Figura 7. Edifício paroquial e o mar onde as ondas ficam a menos de 10m da edificação. Fonte: própria, 2019.

As manutenções são feitas com frequências para que a corrosão da armadura não venha danificar mais ainda a estrutura. Na Figura 8 é possível perceber um operário fazendo o reparo convencional da corrosão na armadura em uma viga de contraventamento que tinha manifestação patológica de corrosão da armadura. Foi feito novamente o recobrimento com concreto.



Figura 8. Operário fazendo o reparo convencional da corrosão na armadura em uma viga de contraventamento. Fonte: própria, 2018.

Na Figura 9 foi possível constatar a recuperação dos pilares de sustentação da edificação como também o contraventamento (duas vigas inclinadas em 45°) em concreto armado que sofreram com o processo corrosivo da armadura. O concreto foi aplicado para depois as vigas serem pintadas. O contraventamento é necessário porque a edificação está em um local onde a velocidade dos ventos é bem maior devido estar localizada em uma praia, onde inclusive a cerca de 3km de distância existe um parque eólico instalado gerando energia eólica. As vigas contraventadas partem da base de dois pilares e sustentam duas vigas longitudinais que ficam perpendicular uma da outra.



Figura 9. Recuperação dos pilares de sustentação da edificação. Fonte: própria, 2018.

A profilaxia anteriormente proposta foi executada onde foi possível perceber tanto em parte da laje lisa como nas vigas que foi feito a inserção de concreto sobre as áreas deterioradas onde também é possível perceber que o concreto ainda está fresco, para posteriormente se passar a cal virgem sobre a sua superfície. A recuperação da corrosão da armadura das lajes lisas da edificação foi feita pelo método convencional e eram bastante acentuadas, como também na viga de contraventamento tinha a manifestação patológica (Figura 10).



Figura 10. Recuperação da corrosão na armadura das lajes lisas da edificação que era bastante acentuada. Fonte: própria, 2018.

Foi possível também encontrar pontos de corrosão nos pregos que foram fixados na fachada da edificação sobre o revestimento cerâmico (cor amarelada) como também nos parafusos de fixação da janela (Figura 11). Os pregos feitos de aço carbono 1020 foram fixados para colocar cordões ligando a Capela de Santa Edwirges ao edifício paroquial para se fixar as bandeirinhas no dia da festa da padroeira Santa Edwirges. Também foi possível detectar que os pregos de fixação da janela estavam corroídos.



Figura 11. Corrosão nos pregos que foram fixados na fachada da edificação sobre o revestimento cerâmico. Fonte: própria, 2019.

Como o ataque da maresia é muito incisivo, na Figura 12 é possível perceber a corrosão da tubulação de aço carbono 1020, fixada em um poste de concreto armado e com a caixa de medição de energia. A corrosão está em estado muito avançado. Também é possível perceber os veículos transitando e emitindo CO_2 na Avenida Leste-Oeste muito próximo as estruturas de concreto armado.



Figura 12. Corrosão da tubulação de aço fixada em um poste de concreto armado. Fonte: própria, 2018.

A praia do Futuro também localizada na cidade de Fortaleza possui a segunda maior salinidade do mundo só perdendo para o Mar Morto localizado na Ásia.

A corrosão como também a captura de carbono no concreto para a durabilidade das armaduras devem ser estudadas com a mais ênfase para que as estruturas de concreto como também as estruturas metálicas (corrosão) tenham uma maior vida útil.

Os efeitos dos sais marinhos nas construções foram possíveis ser percebido nas edificações como a Capela de Santa Edwirges e edifício paroquial e os equipamentos feitos de aço acelerando o processo corrosivo das estruturas.

Sabemos que a corrosão por carbonatação é menos incisiva que a corrosão por cloretos no concreto armado. Nos casos dos equipamentos analisados vale ressaltar que de um lado foi possível encontrar o mar gerando íons cloretos (efeitos dos sais marinhos) e do outro lado da Capela de Santa Edwirges e do edifício paroquial temos uma das avenidas mais movimentadas de Fortaleza que é a Avenida Leste-Oeste, onde passam muitos veículos como ônibus, caminhões, automóveis etc. que liberam uma grande quantidade de CO_2 devido a queima dos combustíveis fósseis. Esse CO_2 vai atacar o concreto gerando a carbonatação dele.

Nas armaduras do concreto armado podemos fazer uma proteção catódica com anodo de sacrifício, como também podemos usar armaduras galvanizadas (colocação de zinco na superfície), armaduras com pintura epóxi (tintas anticorrosivas) e é possível fabricar as armaduras com ligas especiais de aço, ou fabricar armadura de aço inoxidável (com maior quantidade de níquel e cromo no aço) que são bem mais caras.

É importante melhorar a pegada de carbono para diminuir o efeito da carbonatação no concreto armado. Nós devemos aumentar a captura de CO_2 .

4.CONCLUSÃO

As edificações analisadas tanto a Capela de Santa Edwirges como edifício paroquial são fortemente submetidas a ataques por íons cloreto como também aos processos de carbonatação em suas estruturas de concreto pela sua própria localização.

A Capela de Santa Edwirges como edifício paroquial estão cercados pois em um lado foi possível encontrar as ondas do mar liberando íons cloretos (ataque por cloretos), enquanto do outro lado foi possível detectar os veículos liberando CO₂ gerando a carbonatação das estruturas.

Foi possível detectar corrosão na armadura dos pilares como também a corrosão na armadura de algumas lajes da edificação (edifício paroquial).

Outros problemas de corrosão encontrados foram nos equipamentos (grades, corrimões, tubulação) feito de aço carbono 1020, onde a corrosão estava em estado muito avançado.

Tem que haver um monitoramento constante das estruturas devido ao ambiente agressivo em que a Capela de Santa Edwirges e o edifício paroquial estão localizados.

O destacamento do cobrimento da armadura devido a carbonatação e aos íons cloretos aceleraram a corrosão da armadura.

A corrosão na Capela de Santa Edwirges apresenta-se de uma forma bastante acelerada devido ao ambiente em que ela foi construída, ou seja, muito próxima ao mar e a um grande fluxo de veículos.

REFERÊNCIAS

Bolina, F. C., Tutikian, B. F., Helene, P. R. L. (2019). “*Patologia das Estruturas*”. Editora Oficina de Textos, São Paulo.

Carvalho, M. (2020). “*Patologias na Construção Civil – Tipos e Causas*”. Disponível em: <<https://carluc.com.br/manutencao-predial/patologias-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 07 mai. 2021.

Ferreira, P. R. R., Jeronimo, V. L., Meira, G. R. (2014). “*Comportamento de concreto armado com a adição de resíduos de tijolos cerâmicos frente à corrosão por cloretos*”. X Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, Santiago. Universidad Católica de Chile, v. 1. p. 46.

Mees, H. H., Silva, M. R., Rohden, A. B. (2020). “*Soluções de durabilidade na vida útil de projeto de estruturas de concreto armado sujeitas a ataque de cloretos*”. (Org) Marinho, J. L. A., Mesquita, E. F. T. Patologia das edificações - manifestações nas edificações e no patrimônio histórico. 1. ed. São Paulo: Leud, v. 1. p 105-121.

Mengue, P. (2019). “*Degradação e abandono ameaçam igrejas históricas no centro de São Paulo*”. Jornal o Estado de S. Paulo. Disponível em: <<https://saopaulo.estadao.com.br/noticias/geral,degradacao-e-abandono-ameacam-igrejas-historicas-no-centro-de-sao-paulo,70002825276>>. Acesso em: 12 mai. 2019.

Neri, K. D., Meira, G. R., Vilar, E. O. (2014). “*Avaliação do teor crítico de cloretos em concreto armado com adição de pozolanas submetidos a ensaio acelerado*”. X International Congress about Pathology and Structures Rehabilitation – CINPAR. Santiago, Chile.

Neri, K., Alves, H., Ferreira, P., Meira, G., Vilar, E. (2013). “*Avaliação de estruturas concretas submetidas ao ataque de cloreto de sódio e ácido sulfúrico*”. 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Gramado.

Oliveira, R., Bittencourt, T. (2011). “*Estimação probabilística do tempo inicial de corrosão da armadura de peças de concreto armado submetidas a ataque por íons cloretos*”. 53^o Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis.

Oliveira, R., Zarzar Junior, F., Bittencourt, T. (2013). “*Estimação probabilística da vida útil de componentes estruturais de pontes submetidas a carbonatação*”. 55^o Congresso Brasileiro do Concreto. Gramado. 2013.

Pacheco, M. S. *et al.* (2017). “*Armaduras de aço com revestimento dúplex (zinco + epóxi) para o prolongamento de vida útil de armaduras de concreto armado*”. 14^a Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos. COTEQ. São Paulo. Disponível em: <file:///C:/Users/user/Downloads/COTEQ2017106FINAL.pdf>. Acesso em: 8 de abr. 2021.

Real, L. V., Medeiros, M. H. F. (2014). “*Influência dos íons cloretos na resistividade do concreto*”. X International Congress about Pathology and Structures Rehabilitation – CINPAR. Santiago, Chile.

Avaliação de Obras de Arte Especiais da Cidade de Brasília pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília

G. Berbert-Born ^{1*}, J.G. Monteiro¹, A. Nascimento Filho¹,
L. Chaves¹, M. E. Pereira¹, M. H. Oliveira¹

*Autor de Contacto: guiborn.eng@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília - UnB, Brasil

RESUMO

Viadutos e pontes são estruturas essenciais para garantir a continuidade das estradas quando se cruzam com obstáculos. No Brasil, o concreto armado é o material mais utilizado nessas estruturas devido à sua trabalhabilidade e resistência. O monitoramento constante é, entretanto, necessário para garantir o desempenho e evitar o aparecimento de manifestações patológicas. Nos anos de 2020 e 2021, foram identificados 356 viadutos e pontes no Distrito Federal. Este trabalho tem como objetivo mostrar os resultados da inspeção de 168 dessas estruturas utilizando uma metodologia que classifica o seu grau de deterioração, recorrendo a formulações baseadas em inspeções visuais. A classificação do grau de deterioração estrutural permitiu estabelecer um panorama técnico e forneceu dados para a criação de uma base de dados com informações importantes sobre o estado de conservação e integridade estrutural dessas pontes e viadutos.

Palavras Chaves: Viadutos e pontes; OAEs; Concreto Armado; Inspeção; Manifestações Patológicas.

ABSTRACT

Viaducts and bridges are essential structures to ensure the continuity of roads when they intersect obstacles. In Brazil, reinforced concrete is the most common material used in such structures due to its workability and resistance. Constant monitoring is, however, necessary to guarantee the performance and to avoid the appearance of pathological manifestations. In the years of 2020 and 2021, a total of 356 viaducts and bridges were identified in the Federal District. This work objectives to show the results of the inspection of 168 of those structures using a methodology which classifies their degree of deterioration, resorting to formulations based on visual inspections. The classification of the degree of structural deterioration made it possible to establish a technical overview and provided data for the creation of a database with important information on the state of conservation and structural integrity of such bridges and viaducts.

Keywords: Viaducts and bridges; Concrete; Pathological Manifestations; Degree of deterioration; Maintenance.

RESUMEN

Los viaductos y puentes son medios esenciales para asegurar la continuidad de las vías cuando encuentran obstáculos. El hormigón es el material más utilizado en estas estructuras por su trabajabilidad y resistencia, sin embargo, es necesario un monitoreo constante para asegurar su desempeño y evitar el desarrollo de patologías. En los años 2020 y 2021, un total de 356 viaductos y puentes fueron levantadas en el Distrito Federal. Este trabajo tiene como objetivo presentar los resultados de la inspección de 168 estructuras utilizando una metodología que clasifica el grado de deterioro de las estructuras, utilizando formulaciones basadas en inspecciones visuales. La clasificación del grado de deterioro estructural proporcionó una descripción técnica y generó datos para la creación de una base de datos con información de gran importancia sobre el estado de conservación e integridad estructural de estas Obras de Arte Especiales (OAEs).

Palabras clave: Viaductos y puentes; OAEs; Hormigón armado; Inspección; Manifestaciones patológicas.

1. INTRODUÇÃO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) são estruturas que têm a função de ligar pontos separados por obstáculos naturais ou artificiais. Algumas OAEs são compostas por pontes (quando construídas sobre cursos d'água) e viadutos (quando construídas sobre avenidas ou vales secos). Essas construções estão submetidas as ações externas provenientes de carregamento gravitacional estático, carregamentos móveis produzidos por veículos, ações dinâmicas devido ao vento, exposição à água, variações de temperatura, retração e fluência no caso de estruturas de concreto armado. É notório que as OAEs são afetadas pela degradação dos materiais, fadiga, corrosão, ausência ou falha de manutenção, pelo incremento de cargas, entre outros fatores.

As estruturas de concreto armado devem atender os requisitos de qualidade, classificados em capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. Nota-se que a capacidade resistente está relacionada à segurança à ruptura da estrutura. O desempenho em serviço é evidenciado pela capacidade da estrutura atender as condições de utilização durante sua vida útil. A durabilidade, por sua vez, está relacionada ao grau de exposição da estrutura a fatores ambientais ao longo do tempo e à boa conduta de utilização dos usuários.

Brasília, a capital do Brasil inaugurada em 1960, evidenciou aspectos preocupantes nos últimos anos em função das auditorias realizadas por órgãos de fiscalização, como a realizada pelo Tribunal de Contas do Distrito Federal – TCDF em 2012. A auditoria apontou 7 viadutos cuja manutenção deveria ser realizada em caráter de urgência. Em fevereiro do ano de 2018 ocorreu o desabamento de parte da porção central do viaduto sobre a Galeria dos Estados do Eixo Rodoviário da cidade de Brasília, sendo este um dos viadutos apontados na auditoria do TCDF. A necessidade de desvios no trânsito de uma das principais vias da cidade de Brasília, devido ao isolamento para reabilitação do trecho desabado do viaduto, expôs prejuízo significativo ao erário e ao sistema de transporte dessa região. Fortuitamente, o episódio não foi marcado por perda de vidas humanas, ainda que a estrutura fosse utilizada intensamente pelos usuários do transporte metroviário da cidade.

De acordo com Mitre (2005), manifestações patológicas são os sinais visualmente aparentes ou identificáveis com o uso de instrumentos de algum processo de deterioração nas edificações. A descrição dos principais sintomas, locais e formas de ocorrência, bem como da gravidade e extensão são fundamentais para o diagnóstico, avaliação e prognóstico de uma obra deteriorada. Muitas vezes, somente a observação pericial dos sintomas e pequenos testes de campo são suficientes para que um especialista realize uma análise crítica que conduza ao correto diagnóstico do problema e demais etapas, possibilitando uma conduta corretiva ou preventiva eficaz.

Diante do exposto, pode-se identificar, diagnosticar e solucionar os problemas antes que atinjam proporções graves ou que resultem em custos financeiros e sociais elevados de recuperação. Por esse viés, o acompanhamento periódico do estado das OAEs, com base em vistorias e inspeções detalhadas, executadas conforme um conjunto de procedimentos padronizados e tecnicamente adequados, é o modo mais eficaz de subsidiar uma política de manutenção corretiva e preventiva de OAEs.

Inspeções detalhadas permitem identificar as principais manifestações patológicas atuantes nas estruturas em análise. Por meio destas, é possível estabelecer planos de manutenção, a fim de que se possa atender os requisitos mínimos de capacidade de carga, segurança e conforto, permitindo a ampliação do período de preservação e de serviço das edificações. A avaliação visual pode ser utilizada como método de inspeção, bem como a realização de ensaios não destrutivos dos elementos das OAEs.

Diante da importância das OAEs do Distrito Federal, foram promovidas inspeções e avaliações de 168 pontes e viadutos presentes nessa região. Este artigo expõe a realização dessas ações pelos autores advindos da Universidade de Brasília (UnB). Tomando como referência inicial a Metodologia Klein et al. (1991), cujo trabalho propôs a criação de um método que visa a padronização da execução de vistorias em OAEs por meio da separação dos elementos construtivos em famílias, a proposta de avaliação das pontes e viadutos deste trabalho tem por base a metodologia do Grau de Deterioração Estrutural (GDE/UnB), proposta por Castro (1994) e atualizada por diferentes pesquisadores da Universidade de Brasília nos últimos anos.

A metodologia do Grau de Deterioração Estrutural (GDE/UnB) corresponde a um método que faz uso de equações para análise do grau de deterioração estrutural, além de permitir a avaliação, separadamente, de cada elemento da estrutura. A metodologia GDE/UnB pode ser utilizada como uma ferramenta de apoio à decisão dos gestores públicos e privados, permitindo identificar as principais manifestações patológicas que afetam as estruturas, podendo fornecer subsídios para que órgãos públicos e empresas estimem e promovam planos de manutenções preventivas e corretivas. Desenvolvida por Castro (1994) para quantificar o grau de deterioração em estruturas de concreto armado convencionais, a metodologia evoluiu por meio das pesquisas de Lopes (1998), Boldo (2002), Fonseca (2007), Euqeres (2011) e Verly (2015). As adaptações evidenciadas por esses autores incidem nas formulações e parâmetros utilizados pelos autores no desenvolvimento das inspeções abordadas no presente trabalho.

A base da metodologia se dá no particionamento das edificações inspecionadas, tomando como medida de separação as características estruturais dos elementos, em grupos denominados famílias de elementos. Cada família detém uma matriz com possíveis manifestações de danos. Cada possibilidade de manifestação acompanha um valor de Fator de Ponderação do Dano (F_p) com o objetivo de quantificar a relevância de um determinado dano em função dos quesitos de estética, funcionalidade e segurança. Com a inspeção visual, o responsável técnico deve atribuir o Fator de Intensidade do Dano (F_i), classificando assim a gravidade do dano. A fase seguinte da metodologia diz respeito ao Grau do Dano (D), fator introduzido na metodologia para quantificar a manifestação de cada dano no elemento com base na evolução temporal da deterioração do concreto. Por meio desses dados, é possível calcular o Grau de Deterioração de um Elemento (G_{de}) e, em sequência, determinar o Grau de Deterioração de uma Família de Elementos (G_{df}) dado pela média aritmética entre os graus de deterioração dos elementos componentes da família.

Cada família de elementos em análise deve possuir um fator de relevância estrutural (F_r), de modo a considerar a importância relativa das diversas famílias de elementos no conjunto de partições da obra. O parâmetro final de análise é definido como o Grau de Deterioração da Estrutura (G_d) composto pela média ponderada dos graus de deterioração das famílias de elementos e seus respectivos fatores de relevância estrutural. Com a obtenção desse valor, é possível classificar a estrutura analisada em níveis que variam de estado baixo a crítico de deterioração, de acordo com a separação feita por Euqeres (2011). A Figura 1 mostra o fluxograma adaptado de Castro (1994) proposto para a metodologia GDE/UnB e suas etapas de avaliação.

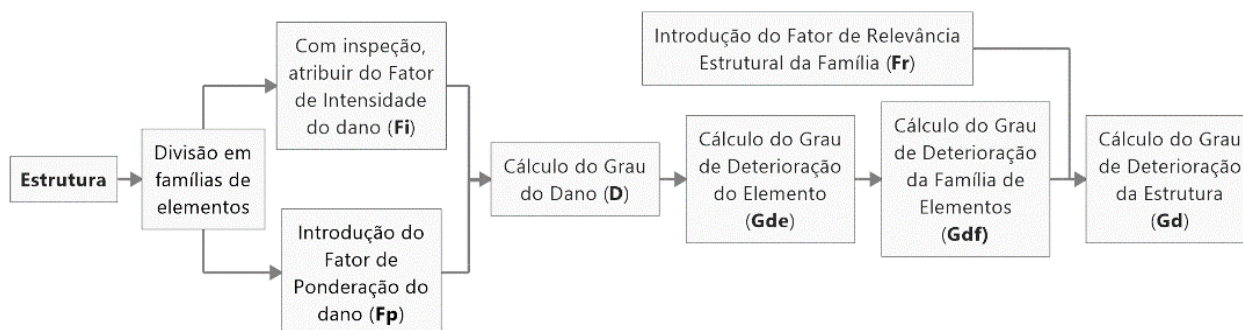


Figura 1 - Fluxograma da metodologia GDE/UnB (CASTRO,1994 - adaptado)

O acompanhamento da degradação das OAEs da região de Brasília é ação fundamental para a preservação do patrimônio histórico da humanidade revelado pela cidade. A exposição direta aos agentes ambientais e o regime dinâmico de algumas solicitações na estrutura aceleram a evolução das manifestações patológicas enfrentadas por essas estruturas. Este trabalho expõe o levantamento das condições estruturais e a avaliação de 168 pontes e viadutos do Distrito Federal, compondo o banco de dados do Sistema de Gestão de Obras de Arte Especiais do Distrito Federal, SiGOA-DF.

2. PROCEDIMENTO

A metodologia GDE/UnB foi aplicada considerando a especificidade da aplicação da mesma em OAEs bem como as alterações e modificações realizadas ao longo dos estudos de diversos autores, responsáveis pela criação e desenvolvimento da metodologia.

2.1 Abordagem da Metodologia GDE/UnB

A metodologia GDE/UnB foi aplicada seguindo suas últimas revisões e adaptações da literatura técnica. Sendo assim, a aplicação foi feita levando em conta o Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAEs proposto por Verly (2015), considerando o dano de abrasão proposto por Lauria

(2018) e utilizando constantemente o catálogo de danos propostos por Pavoni (2019). Além disso, as análises foram realizadas através de inspeções visuais com registros fotográficos dos danos encontrados, logo não foram considerados os danos de carbonatação e contaminação do concreto por cloretos, devido à necessidade de ensaios para a avaliação destas manifestações patológicas. Os cálculos da metodologia aplicada foram feitos utilizando as equações (1) e (2) para definição do grau de dano em cada caso e o grau de deterioração do elemento foi calculado em acordo com as equações (3).

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p, \text{ para } F_i \leq 2 \quad (1)$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p, \text{ para } F_i \geq 3 \quad (2)$$

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \cdot \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{(i)} - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_{(i)}} \right) \quad (3)$$

A partir dos fatores de relevância das famílias, o cálculo prossegue para o grau de deterioração da família na equação (4) e, em seguida, para o grau de deterioração estrutural da obra analisada na equação (5).

$$G_{df} = G_{dem\acute{a}x} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{dem\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}}} \right) \quad (4)$$

$$G_{d,mod} = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \cdot \sqrt{1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^k K_i \right) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}}$$

Foram utilizados os mesmos fatores de relevância estrutural das famílias de elementos da estrutura propostos na ficha de inspeção usada por Lauria (2018), porém excluiu-se o elemento pista de rolamento e foram incluídos os elementos pilares, pilares-parede, longarina e transversina, usando os fatores de relevância de acordo com Verly (2015). Seguem os valores de F_r elencados para cada família.

- Guarda-rodas $F_r = 1$
- Cortina, Contenção, Transversina $F_r = 3$
- Tabuleiro $F_r = 4$
- Pilar, Pilar-Parede, Longarina $F_r = 5$

Com isso, se procedeu com a análise utilizando a metodologia para os viadutos selecionados calculando dois valores de grau de deterioração da estrutura (G_d^* e G_d), isto é, desconsiderando e considerando, respectivamente, os valores de grau de deterioração de elementos (G_{de}) menores que 15.

Vale ressaltar que, devido as variações na distribuição e seleção de elementos estruturais em cada Obra de Artes Especial analisada, foi necessário realizar divisões específicas para diferentes

estruturas, sendo isso feito em conformidade com os princípios utilizados por Lauria (2018) e Pavoni (2019), visando uma melhor discretização das estruturas. O método de divisão se baseia na determinação de referências cardeais para identificação dos elementos.

2.2 Viadutos selecionados para inspeção

Para a seleção das OAEs a serem inspecionadas, inicialmente, foi feita uma divisão da área correspondente a região do Distrito Federal, separada por uma malha de 10 x 10, gerando 100 quadrados iguais, dividindo todo o Distrito Federal, conforme mostra a Figura 2.

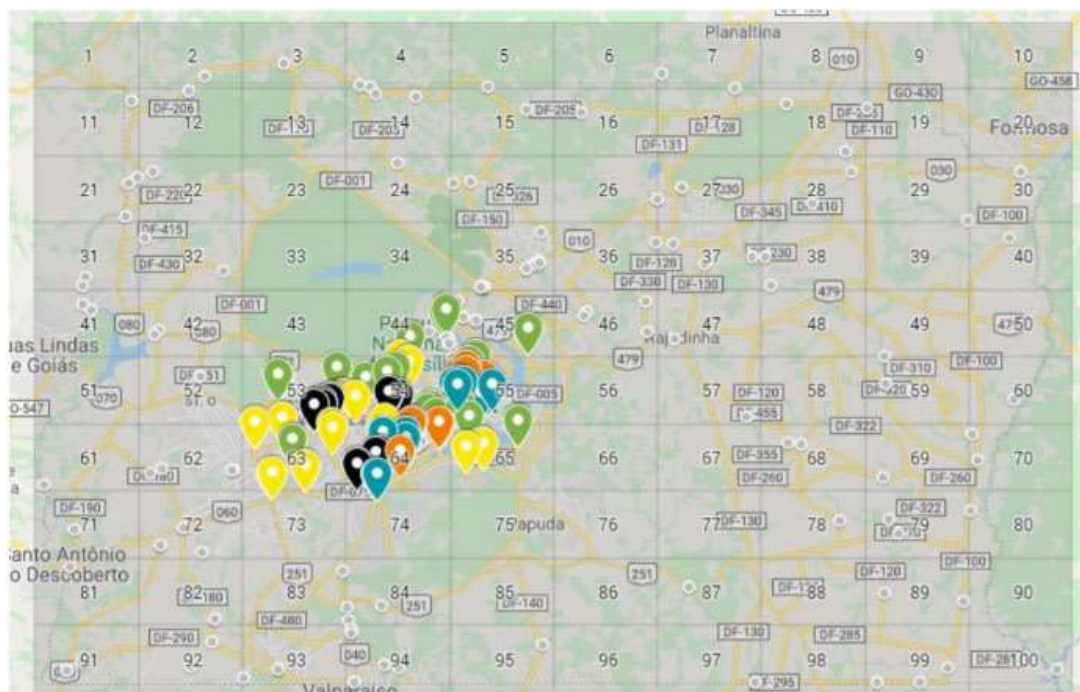


Figura 2 - Divisão da Área do Distrito Federal e das OAEs em Malha 10 x 10

No ano de 2020 foi realizado um levantamento de todos os viadutos que seriam inspecionados no Distrito Federal, priorizando o Plano Piloto de Brasília, com isso, foram cadastrados 356 OAEs sob responsabilidade do Governo do Distrito Federal. Assim, para a aplicação da metodologia GDE/UnB, foram selecionadas 168 das 356 OAEs cadastradas. Foi necessário a criação de um código de identificação para cada OAE, a fim de poder distribuí-las entre a equipe de trabalho e para que essas pudessem ser localizadas geograficamente. Tal código de identificação é composto na forma **AAA_BBB_CCC_DDD_E**, onde:

- **AAA** = Número da Malha;
- **BBB** = São os 2º, 3º e 4º dígitos da longitude – para ordenar dentro da malha da esquerda para direita;
- **CC** = São os 2 últimos dígitos da longitude – insere a precisão necessária para distinguir pontos próximos horizontalmente;
- **DD** = São os 2 últimos dígitos da latitude – insere a precisão necessária para distinguir os pontos próximos verticalmente;
- **E** = Identifica o tipo de OAE, sendo “P” para Pontes e “V” para Viadutos.

Ainda na Figura 2, observa-se no mapa as OAEs selecionadas, bem como a divisão feita entre a equipe de inspeções. Vale ressaltar que ainda existem várias OAEs, representadas pelos pontos de cor cinza, que não foram contemplados neste trabalho, podendo ser elencadas como forma de sugestão para inspeções futuras.

2.3 Procedimento de inspeção

Para início das análises, foi necessário um período de alinhamento junto a equipe de trabalho para se poder calibrar a aplicação da metodologia GDE/UnB, sendo feitas reuniões e discussões a respeito das análises e conclusões de cada integrante. Após esse balizamento, deu-se início às inspeções visuais, feitas por pelo menos duas pessoas, sendo uma delas responsável pelo preenchimento da ficha de inspeção elaborada com os respectivos danos encontrados em cada elemento das OAEs e outro indivíduo responsável pelo registro fotográfico, com o intuito de compor o banco de imagens que tornaria possível a visualização e reavaliação dos danos. Posteriormente, colocou-se as informações em planilhas programadas de modo que se obtenha o grau de deterioração da estrutura como resposta final, formando o banco de dados do Sistema de Gestão de Obras de Arte Especiais do Distrito Federal, SIGOA-DF. É válido lembrar que algumas OAEs, ou parte delas, tiveram seu acesso impossibilitado, pois seriam necessários equipamentos mais sofisticados para vencer barreiras físicas e garantir a segurança dos responsáveis pela vistoria, prejudicando algumas inspeções. Além disso algumas das estruturas a serem inspecionadas não eram acessíveis sem autorização do órgão gestão responsável.

Para obter condições de avaliação e registro mais seguras e menos conturbadas pelo tráfego de veículos, as inspeções ocorreram normalmente em horários pouco movimentados, focado nos fins de semana, no turno da manhã ou começo da tarde. Foram utilizados capacetes, botas e coletes refletivos, em atendimento à segurança do trabalho. A ficha de inspeção foi utilizada para a identificação, quantificação e análise das manifestações patológicas encontradas. Utilizou-se câmera fotográfica digital para registrar e catalogar os danos evidenciados em famílias em cada OAE inspecionada.

3. RESULTADOS

As inspeções de todas as OAEs forneceram informações de 2107 elementos estruturais e também foram constatadas 4539 manifestações patológicas. As famílias de elementos consideradas foram tabuleiro, pilar, transversina, guarda rodas, cortina e longarina. As manifestações patológicas consideradas foram corrosão de armaduras, fissuras, cobrimento deficiente, desagregação, deslocamento, abrasão do concreto, manchas, infiltração de água, eflorescência, flechas, deslocamento por empuxo, falhas de concretagem e desvio construtivo de geometria.

Nesta seção serão apresentados alguns resultados quantitativos referentes aos dados coletados, além de uma breve análise acerca da OAE mais crítica inspecionada.

3.1 Análise geral das OAEs inspecionadas

Do total de OAEs cadastradas no Distrito Federal, 47,2% foram inspecionadas e apresentadas neste trabalho, observando-se o valor do Grau de Deterioração (Gd) mais elevado de 150,84 (nível crítico). O menor valor de Gd calculado para as estruturas inspecionadas foi de 0,91, correspondente a um nível baixo de deterioração de acordo com os critérios estabelecidos por Euqeres (2011). O Grau de Deterioração médio das estruturas inspecionadas foi de 29,33, o que também corresponde a um nível de deterioração baixo pelos mesmos critérios. Os valores máximo, mínimo e médio calculados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Panorama geral das OAEs levantadas e inspecionadas

Descrição	Gd	Nível
Gd Máximo	150.84	Crítico
Gd Mínimo	0.91	Baixo
Gd Médio	29.33	Médio

Considerando-se as 5 OAEs mais críticas, observa-se uma variação de 58% na comparação entre o primeiro e o quinto valor de Gd, sendo os quatro primeiras OAEs classificadas em nível crítico e a quinta em nível sofrível. As 5 OAEs menos críticas são todas classificadas em nível baixo, sendo a variação entre o primeiro e o quinto valor de aproximadamente 306%. A relação das 5 OAEs mais críticas e das 5 OAEs menos críticas é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação das OAEs mais críticas e menos críticas inspecionadas

5 OAEs Mais Críticas		5 OAEs Menos Críticas	
OAE	Gd	OAE	Gd
Viaduto 2 sobre acesso à Ponte Costa e Silva	150.84	Viaduto na DF-002 Conjunto Nacional	3.70
Viaduto 1 de acesso ao Guará	142.84	Viaduto na DF-002 final da Asa Sul 2	3.68
Ponte 1 sobre Córrego Riacho Fundo	133.20	Viaduto na DF-002 em frente ao CONIC	1.87
Viaduto sobre a DF-003 acesso SIA	120.70	Viaduto sobre a via S2 ao lado do Prédio Gilberto Salomão	1.26
Viaduto sob o Eixo Monumental próximo à catedral militar 2	95.24	Viaduto na DF-002 Sul em frente ao BRB 2	0.91

A Tabela 3 expõe a classificação das 168 OAEs inspecionadas em relação aos níveis de deterioração, bem como a distribuição das mesmas nos intervalos definidos por Euqeres (2011). Observa-se que a maior parte das OAEs do Distrito Federal se encontram nos níveis baixo e médio, seguidos pelos níveis alto, sofrível e crítico, respectivamente.

Tabela 3 - Classificação das OAEs inspecionadas de acordo com o nível de deterioração

Nível de Deterioração	Gd	OAEs	%
Baixo	0 - 15	78	46.4%
Médio	15 - 50	59	35.1%
Alto	50 - 80	19	11.3%
Sufrível	80 - 100	8	4.8%
Crítico	> 100	4	2.4%

Analisando-se as famílias dos elementos inspecionados, conforme exposto na Tabela 4, observa-se que as famílias de tabuleiros, pilares e guarda rodas são as de maior grau de deterioração médio. Ademais, a Tabela 5 mostra a quais famílias pertencem as 30 manifestações patológicas de maior intensidade encontradas, sendo as fissuras e a corrosão de armaduras em pilares os danos mais críticos constatados.

Tabela 4 - Análise das famílias de acordo com o Grau de Deterioração da Família médio

Família	GDF Médio	Elementos Inspeccionados
Tabuleiro	36.51	555
Pilar	25.25	966
Guarda Rodas	23.68	326
Cortina	22.10	88

Transversina	18.20	76
Longarina	16.72	85
Cortina Central	11.61	11

Tabela 5 - Famílias das 30 manifestações patológicas de maior intensidade

Dano / Família	TOTAL	Cortina	Guarda Rodas	Pilar	Tabuleiro	Transversina
Corrosão de armaduras	9	0	1	5	2	1
Fissuras	15	2	2	11	0	0
Cobrimento deficiente	1	0	0	0	1	0
Desagregação	3	0	0	3	0	0
Desplacamento	2	0	0	0	1	1

Por fim, pode-se listar as manifestações patológicas mais comumente encontradas, expostas na Figura 4. Observa-se que os danos mais recorrentes são as manchas (24,59%), seguidas da infiltração de água (13,20%), da eflorescência (13,10%) e da corrosão de armaduras (11,03%).

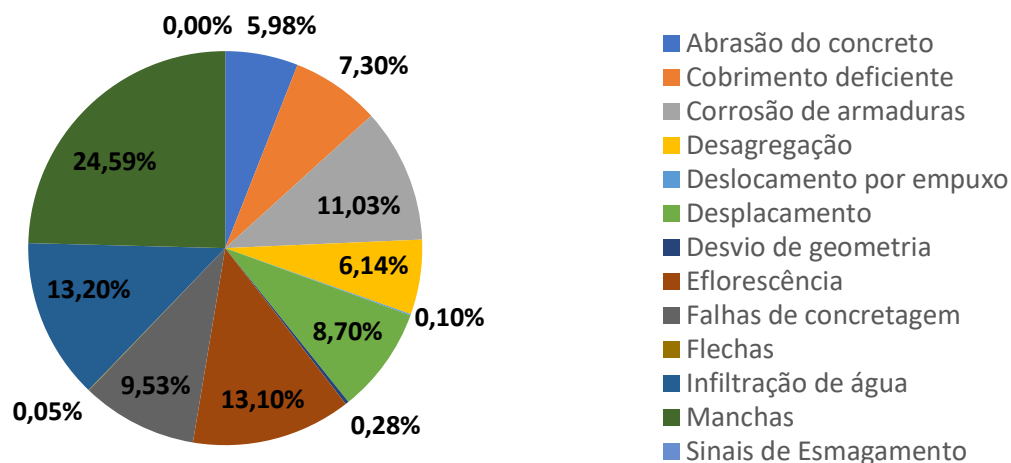


Figura 4 - Recorrência das manifestações patológicas

3.2 Análise da OAE mais crítica

A OAE mais crítica dentre as vistoriadas foi o Viaduto 2 sobre acesso à Ponte Costa e Silva, cujo código é 064_789_22_89_V. Para sua vistoria, a estrutura foi dividida entre os seguintes elementos: 2 guarda-rodas, 6 pilares e 4 tabuleiros. As Tabelas 6, 7 e 8 exemplificam as planilhas utilizadas para a inspeção de cada família de elemento do viaduto em questão, demonstrando os danos e seus fatores de ponderação, além do fator de intensidade que foi atribuído após a avaliação, e, por fim, o resultado do grau de deterioração de elemento (Gde).

Tabela 6 - Grau de deterioração do Guarda-Rodas Leste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas Leste</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3	3	24	34,67
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3	1	2,4	
		Desplacamento	3	2	4,8	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	1	1,6	
		Manchas	3	1	2,4	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Abrasão do Concreto	3		0	

Tabela 7 - Grau de deterioração do Pilar Norte-Oeste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar Norte-Oeste</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3		0	146,58
		Corrosão de armaduras	5	4	100	
		Desagregação	3	4	60	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3	3	24	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2	2	3,2	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3		0	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 8 - Grau de deterioração do Tabuleiro Centro-Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro Centro-Norte</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	1	2,4	62,14
		Corrosão de armaduras	5	3	40	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3	1	2,4	
		Eflorescência	2	4	40	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	1	2,4	
		Abrasão do concreto	3		0	

A partir dos valores do Gde, é possível fazer o cálculo do grau de deterioração das famílias (Gdf) e, por fim, o cálculo do grau de deterioração da estrutura (Gd). A Tabela 9 resume o resultado de todos os índices para todos os elementos.

Tabela 9 - Resultados obtidos para o Viaduto 064_789_22_89_V

Elemento	Grau de Deterioração do Elemento (Gde)	Grau de Deterioração da Família (Gdf)	Fator de Relevância (Fr)	Grau de Deterioração Estrutural (Gd)	Nível de Deterioração da Estrutura
<i>Guarda Rodas Leste</i>	34,67	39,19	1	150,84	Crítico
<i>Guarda Rodas Oeste</i>	13,33				
<i>Pilar Sul-Leste</i>	145,65	190,37	5		
<i>Pilar Sul-Oeste</i>	146,12				
<i>Pilar Centro-Leste</i>	0,00				
<i>Pilar Centro-Oeste</i>	1,60				
<i>Pilar Norte-Leste</i>	28,00				
<i>Pilar Norte-Oeste</i>	146,58				
<i>Tabuleiro Sul</i>	12,67	71,75	4		
<i>Tabuleiro Centro-Sul</i>	13,24				
<i>Tabuleiro Centro-Norte</i>	62,14				
<i>Tabuleiro Norte</i>	5,12				

Observa-se a partir da tabela que a família dos pilares obteve Gdf crítico, pois estão acima do valor 100, tendo recomendação de intervenção imediata. Uma das causas para isso é o elemento Pilar Norte-Oeste, que obteve o maior Gde da estrutura, devido à grande perda na seção de armaduras expostas, sendo considerada a manifestação patológica do tipo corrosão de armadura com Fator de Intensidade (Fi) igual a 4, além de dano por desagregação, deslocamento e falhas de concretagem. A Figura 5 expõe o nível de deterioração em um dos elementos de pilar inspecionados.



Figura 5 - Elemento pilar com corrosão de armadura e deslocamento

Ademais, foram observados em 3 dos 4 tabuleiros deterioração por eflorescência e por corrosão de armadura, sendo o Tabuleiro Centro-Norte avaliado como em pior situação. A Figura 6 representa a intensidade do dano eflorescência para os tabuleiros.



Figura 6 – Elemento tabuleiro com eflorescência

Nota-se que a família dos guarda-rodas é a que possui o melhor estado de conservação da estrutura, com Gdf igual a 39,19. Fazendo o cálculo do grau de deterioração do viaduto, obteve-se um valor de Gd igual a 150,84, o que está compreendido pelo nível crítico, obtendo a recomendação de intervenção imediata de acordo com Euqueres (2011).

4. CONCLUSÕES

Para o presente trabalho aplicou-se a metodologia do Grau de Deterioração de Estruturas desenvolvida pela Universidade de Brasília (GDE/UnB) em OAEs de Brasília-DF.

O menor valor de Gd calculado para as estruturas inspecionadas foi de 0,91, correspondente a um nível baixo de deterioração de acordo com os critérios estabelecidos por Euqueres (2011). O Grau de Deterioração médio das estruturas inspecionadas foi de 29,33, o que também corresponde a um nível de deterioração baixo pelos mesmos critérios. A OAE mais crítica dentre as vistoriadas foi o Viaduto 2 sobre acesso à Ponte Costa e Silva (código 064_789_22_89_V), com um valor de Gd igual a 150,84, o que está compreendido pelo nível crítico, obtendo a recomendação de intervenção imediata. Do estudo, observa-se que a maior parte das OAEs estão nos níveis baixo e médio de deterioração, seguidos dos elementos com níveis alto, sofrível e crítico, respectivamente. Além disso, percebeu-se que os danos mais recorrentes são as manchas, infiltração de água, eflorescência e corrosão de armaduras.

O estudo demonstrou a aplicabilidade de um método eficiente, capaz de facilitar e simplificar a periodicidade de inspeções em OAEs, permitindo que se compreenda o funcionamento e propagação dos danos com o tempo. Por fim, a aplicação da metodologia GDE/UnB permite estipular um período máximo para intervenção.

Por fim, os resultados obtidos no presente trabalho mostram um panorama geral do estado de conservação de praticamente metade das OAEs levantadas no Distrito Federal, algumas das quais em situação crítica e cuja manutenção não deve ser negligenciada, exigindo intervenção imediata, indicando sinal máximo de alerta. Busca-se, dessa forma, auxiliar na tomada de decisões que evitem acidentes e otimizem a vida útil dessas estruturas essenciais para um bom fluxo da mobilidade urbana.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília, essencial no processo de formação e aprendizado do conteúdo e habilidades necessárias para a elaboração deste e outros trabalhos.

Ao Grupo de Estudos de Tecnologias da Engenharia Civil da Universidade de Brasília – GETEC-UnB.

À comissão organizadora do CONPAT 2021, pela oportunidade da submissão deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

Boldo, P. (2002), Análise Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Publicação E.DM-001A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 295 p.

Castro, E. K. (1994), Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado, Publicação Nº: E.DM-004A/94, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155 p.

Chaves, L. (2020) Avaliação de Obras de Arte Especiais da cidade de Brasília pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília. UnB

Euqeres, P.; (2011). Metodologia de Inspeção em Estruturas de Pontes de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 168 p.

Fonseca, R. P. (2007). A Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Propostas de Manutenção. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 006 A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 213p.

Klein, D., Gastal F., Campanolo, J.L & Silva Filho, L. C. (1991). “Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte”, XXV Jornada Sul Americana de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, pp.185–196, novembro.

Lauria, M. L. M. (2018) Avaliação dos Viadutos do Eixo Rodoviário Sul de Brasília pela Metodologia GDE/UnB. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília,

Lopes, B. A. R. (1998), “Sistema de Manutenção Predial para Grades Estoques de Edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”. Dissertação de Mestrado, Publicado Nº: E.DM-011A/98, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 308p.

Mitre, M. P. (2005); Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto / M. P. Mitre – São Paulo, 148p.

Pavoni, F. B. (2019) Avaliação das Obras de Arte Especiais do Eixo Rodoviário Norte de Brasília pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, [S. l.].

Pereira, M. S. (2020), Avaliação de Obras de Arte Especiais da cidade de Brasília (lote 1) pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília. UnB

Saraiva, C. (2020), Avaliação de Obras de Arte Especiais da cidade de Brasília pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília. UnB

Verly, R. C. (2015). Avaliação de Metodologias de Inspeção como Instrumento de Priorização de Intervenções em Obras de Arte Especiais. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-015A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 178p.

Identificação e análise de manifestações patológicas em estruturas metálicas dos terminais de ônibus na cidade de Manaus

H. M. MURCHIE.^{1*}, A. R. M. Colares¹; R. P. VASCONCELOS¹.

*Autor de Contacto: helenammurchie@gmail.com

¹Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil.

RESUMO

O presente trabalho teve objetivo de analisar, diagnosticar e indicar possíveis soluções para as manifestações patológicas encontradas nas estruturas metálicas de cinco terminais de ônibus de Manaus. Para tanto, foram realizadas visitas técnicas com registro de informações e imagens que possibilitaram identificar as manifestações mais frequentes. Da análise dos resultados foi possível observar que a corrosão esteve presente em todos os terminais, sendo as corrosões uniforme, em frestas e em torno do cordão de solda as de maior incidência, estando presentes em 100% dos casos. Essas manifestações patológicas foram classificadas quanto ao grau de risco em cada terminal. Foi feita indicação de tratamento conforme o grau de risco, que variou desde limpeza e proteção química até substituição das peças.

Palavras chave: terminais; patologia; metálicas; corrosão; Manaus.

RESUMEN

El siguiente trabajo tuvo como objetivo analizar, diagnosticar e indicar posibles soluciones a las manifestaciones patológicas encontradas en las estructuras metálicas de cinco terminales de autobuses de Manaus. Para ello, se realizaron visitas técnicas con registro de información e imágenes que permitieron identificar las manifestaciones más frecuentes. Del análisis de los resultados se pudo observar que la corrosión se presentó en todos los terminales, siendo las corrosiones uniformes en las fisuras y alrededor del cordón de soldadura, a las de mayor incidencia, estando presentes en el 100% de los casos. Estas manifestaciones patológicas se clasificaron según el grado de riesgo en cada terminal. La indicación de tratamiento también fue hecha según el grado de riesgo, que iba desde la limpieza y protección química hasta la sustitución de piezas.

Palabras clave: terminales; patología; metálicas; corrosión; Manaus.

ABSTRACT

This work intended to analyze, to diagnose and to indicate possible solutions to the pathological manifestations found at metallic structures of five bus terminals at Manaus. For this, technical visits took place, with information and images records that helped to identify the most frequent problems. It was noticed that corrosion was present in all terminals, being uniform, in cracks and by the weld bead the most incident situations, with 100% occurrence. These pathological manifestations were classified by the degree of risk in each terminal. The treatment indication varied according to the degree of risk, like to clean the pieces, to do chemical protection and to replace some pieces.

Keywords: terminals; pathology; metallic; corrosion; Manaus.

1. INTRODUÇÃO

O transporte coletivo urbano tem importância fundamental na qualidade de vida e desenvolvimento de uma metrópole. É responsável pelo deslocamento das pessoas, facilitando a interligação entre as diversas regiões das cidades e incorporando-se aos diferentes segmentos da sociedade, na medida que grande parte da população o utiliza para alcançar seus locais de atividade diárias, permitindo a mobilidade para o trabalho, o acesso à educação, hospitais e lazer, conforme afirmou Ferro (2013). Em Manaus, o transporte coletivo por ônibus se torna ainda mais importante, dada a inexistência de outros meios como metrô ou trem. Nesse sentido, é essencial que o poder público busque maneiras de alcançar eficiência e qualidade, pois há impacto direto no desenvolvimento econômico local (Jammal, 2010). Ações de manutenção devem ser atividades regulares, de modo a garantir condições mínimas de conforto para os usuários. Neste contexto, deve-se dar atenção à estrutura dos terminais de integração, uma vez que o transporte coletivo em Manaus se dá através de um sistema integrado de transporte caracterizado por um sistema de transbordo tronco alimentado com integração físico-tarifária em terminais fechados, conhecidos como terminais de integração. No total são cinco terminais espalhados pela cidade. Segundo Morlok (1978, apud Souza, 2009), os terminais de integração são alguns dos elementos principais dentro de um sistema de transporte. A estrutura física destes reflete diretamente na qualidade do transporte coletivo. Um bom acompanhamento da situação dos terminais, analisando possíveis patologias construtivas, faz-se necessário para assegurar a qualidade dos serviços prestados. Desta forma, o objetivo da pesquisa foi analisar, diagnosticar e indicar soluções para as patologias das estruturas metálicas desses terminais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Transporte Coletivo em Manaus.

A evolução do transporte público está intimamente ligada ao desenvolvimento das cidades. Em Manaus, iniciaram-se diversas obras de infraestrutura, especialmente a pavimentação de ruas, no período do ciclo da borracha, no qual houve a chegada de um grande contingente de pessoas e movimentação da economia. A princípio, foram instalados bondes elétricos que circulavam no perímetro urbano. A partir de 1947, introduziram-se ao transporte coletivo os ônibus de madeira que atendiam regiões que anteriormente não era possível com os bondes (Rodrigues; Oliveira, 2016). Atualmente, o transporte público manauara fundamenta-se em sua frota de ônibus e micro-ônibus. O sistema adotado em dezembro de 2002 é composto por linhas de ônibus que se ligam através da terminais de integração fazendo a conexão entre bairros e o centro (Manaus, 2019). Na zona sul da cidade situam-se os terminais 1 e 2, na zona norte, os terminais 3 e 6 e na zona leste, os terminais 4 e 5. O mapa da Figura 1 aponta essa distribuição. Tais terminais são dotados de estruturas de concreto e metálica, sendo o último tipo o escopo do presente trabalho. O terminal 6 não foi objeto de estudo por, à época da pesquisa de campo, ainda não ter sido construído.



Figura 1 – Distribuição dos terminais de ônibus na cidade de Manaus. Fonte: Google Maps, adaptado pelos autores (2021).

2.2 Fatores de ocorrência de manifestações patológicas nas estruturas metálicas

As manifestações patológicas, segundo Castro (1999), são oriundas da atuação de agentes agressivos. Um mesmo agente pode causar efeitos diversos em edificações, o que vai depender do tipo de material empregado e, conseqüentemente, da resistência da estrutura. No caso das estruturas metálicas, Brinck (2004) classificou as patologias em três categorias: adquiridas, transmitidas e atávicas. A primeira categoria se refere às patologias oriundas da ação de agentes agressivos externos, ou seja, relaciona-se com questões do meio em que está inserido, como por exemplo atmosfera, umidade e vibrações. As patologias transmitidas são originadas pela falta de conhecimento técnico ou vícios construtivos na fase de execução da obra. Por fim, as patologias atávicas resultam de uma má concepção de projeto, diante da escolha de materiais ou até mesmo erros de cálculos. Essas patologias comprometem a segurança e a funcionalidade da estrutura. Outro fator importante é a identificação dos mecanismos de deterioração, que, segundo Bolina et.

al. (2019), trata-se da identificação do processo promotor da deterioração, seja ele químico, físico, biológico ou mecânico (Tabela 1).

Tabela 1 – Mecanismos de deterioração e formas de ação na estrutura. Fonte: Bolina et. al. (2019, adaptado pelos autores).

MECANISMO	AÇÃO NA ESTRUTURA
Químico	Promove alteração na constituição química do material.
Físico	Promove alteração volumétrica através de ação térmica ou higroscópica.
Biológico	Promove mudança ou conversão das propriedades do material base pela ação de microrganismos.
Mecânico	Devidos a esforços externos, dependem da capacidade resistiva do material e, em geral, culminam em fissuras características.

O principal fenômeno patológico encontrado nas estruturas metálicas é a corrosão, definida por Callister (2012) como um processo de deterioração de um material devido a reação química ou eletroquímica com o ambiente associada ou não a esforços mecânicos. Normalmente, é um processo espontâneo que produz alterações prejudiciais no material original, inviabilizando sua finalidade pelo prejuízo à durabilidade e, conseqüentemente, ao desempenho (Liubartas, 2015). A corrosão é, segundo Bolina et. al. (2019), intrínseca aos metais, ocorrendo, por exemplo, durante o processo de fabricação de peças metálicas, dadas as altas temperaturas envolvidas, sendo a corrosão eletroquímica a mais frequente, tendo relação com o estado de tensão e fatores climáticos, como temperatura e umidade. Existe, segundo Rodrigues (2020), uma variedade de formas pela qual a corrosão ocorre, e seu reconhecimento pode ser feito por meio de sua aparência, causa e forma de ataque. Gentil (1999) classifica a corrosão em diferentes tipos, conforme sua morfologia, fatores mecânicos, meio corrosivo, causa ou mecanismo. A mais comum, chamada de corrosão uniforme, é um ataque eletroquímico que ocorre de maneira homogênea por toda superfície do metal que está exposto, ocorrendo perda uniforme de espessura, habitualmente conhecido como ferrugens. Santos (2020) afirma que esse tipo de corrosão é um dos mais fáceis de controlar, ver e proteger pois, em geral, está associado à desproteção do local. Outro tipo de ataque eletroquímico é a corrosão em frestas causada devido ao acúmulo de poeira ou soluções corrosivas em frestas ou reentrâncias como parafusos, porcas, arruelas, juntas rebitadas ou parafusadas. Quando a corrosão origina pequenas cavidades no topo da superfície horizontal do material, ela é conhecida como corrosão tipo pite, causando perda de material, muitas vezes não detectável até a falha. Gasparoni e Rodrigues (2020) afirmam que a corrosão por pite, em geral, é de difícil visualização, dado o pequeno diâmetro e elevada profundidade. A chamada corrosão por placas se localiza na superfície, formando placas com escavações. Já a corrosão por esfoliação se processa de forma paralela à superfície, transfigurando para formas de plaquetas alongadas. O empoamento por hidrogênio é caracterizado pela formação de bolhas, devido a penetração do átomo de hidrogênio no material metálico. A corrosão em torno do cordão de solda, conforme Gasparoni e Rodrigues (2020), ocorre pela formação de pilha galvânica entre os metais da matriz e o metal da solda. Há ainda a corrosão erosão causada pela combinação de um ataque químico e desgaste mecânico.

O meio ambiente também tem grande influência nos processos corrosivos, tendo como um dos fatores causadores principais a ação da atmosfera, que depende da umidade relativa, temperatura e presença de gases, conforme explicou Castro (1999). Maia et. al (2015) afirmam que a chuva é normalmente ácida, sendo um agente agressor que merece especial atenção. Além, disso, Bolina et. al. (2019) atentam para a relação agressividade do meio *versus* qualidade do material base, sendo essencial para a análise de causalidade das ocorrências de manifestações patológicas e durabilidade das estruturas, pois é o que define o grau de susceptibilidade ao ataque. Carvalho

(2011) expõe que em uma área de operação de transporte motorizado, como no caso dos terminais de integração de ônibus, há grande emissão de gases poluentes como monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e enxofre, que quando aliada à elevada umidade relativa do ar, como ocorre na cidade de Manaus, torna suscetível e acelerado o processo de corrosão.

3. MÉTODOS UTILIZADOS

Os terminais de integração, como parte essencial da operação de transporte, devem atender as necessidades básicas do usuário, a fim de que exerçam seu direito à cidadania. As edificações devem satisfazer condições mínimas de aspectos de habitabilidade, manutenibilidade e uso, expressas através de parâmetros estabelecidos pela norma técnica, dispondo aos usuários condições de uso, segurança e bem-estar que garantirão a realização de atividades regulares sem que haja interferência do meio em que está inserido (Brinck, 2014). A ocorrência de manifestações patológicas pode significar que o desempenho está insatisfatório, promovendo o encurtamento da vida útil da edificação, caso não ocorra algum tipo de intervenção técnica. Esse envelhecimento precoce compromete aspectos estéticos, sociais e econômicos, além de diminuir a capacidade funcional do sistema e colocar em risco a segurança dos usuários (Zuchetti, 2015).

Isto posto, foi realizado levantamento bibliográfico em trabalhos acadêmicos, artigos científicos e materiais didáticos sobre patologias da construção civil, especificamente em estruturas metálicas, com intuito de aprofundamento de conhecimento sobre o tema. Com a disponibilização da documentação dos terminais de integração pela Secretaria Municipal de Infraestrutura de Manaus (Seminf) foi possível fazer uma análise preliminar dos memoriais descritivos, projetos básicos e executivos e relatórios fotográficos dos cinco terminais de integração de ônibus. Como exemplo, a figura 2 mostra o *layout* do Terminal 2. Além disso, a Seminf deu autorização para pesquisa de campo e disponibilizou acompanhamento as visitas técnicas através de um funcionário. Para o trabalho de campo foi feita a inspeção predial seguindo a Norma de Inspeção Predial Nacional do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2012). Neste contexto, foi realizada a identificação das anomalias através de análise visual e tátil, mapeamento e registros fotográficos para posterior estudo de causas e efeitos, diagnósticos e listagem das manifestações encontradas para confecção do relatório de causas, caracterização do grau de urgência e sugestão de reparos e medidas preventivas. Para viabilizar o estudo, foram eleitas quatro perguntas norteadoras, postas quando identificada uma anomalia:

- 1 – Por que ocorre?
- 2 – Como ocorre?
- 3 – Qual o nível de gravidade?
- 4 – Como resolver?

As respostas a esses questionamentos alimentaram os resultados desta pesquisa e o fluxo de trabalho se deu como mostra a figura 3.

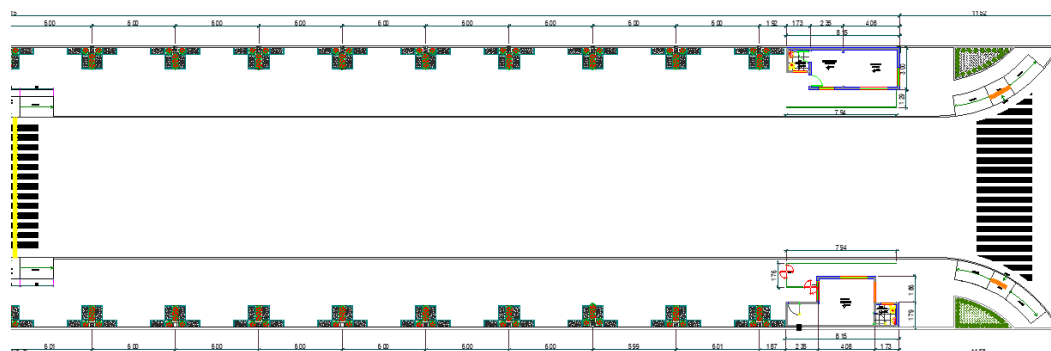


Figura 2 - *Layout* do Terminal de Integração 2. Fonte: SMTU (2016).



Figura 3 - Fluxo de trabalho seguido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos por meio da pesquisa de campo foram analisados chegando aos resultados contidos na Tabela 2 e Figura 4. Em todos os terminais foram encontradas avarias por choque mecânico, além de corrosão nas estruturas metálicas, diferenciando-se pela morfologia e gravidade da situação. Em relação a morfologia, houve ocorrência de corrosão uniforme, corrosão em frestas e a corrosão em torno do cordão de solda em 100% dos terminais. A corrosão por esfoliação mostrou-se presente em 80%, já a corrosão por placas e o empolamento por hidrogênio em 60%. A corrosão por pite apresentou-se em apenas 20% dos casos.

Tabela 2 - Ocorrência das manifestações patológicas por terminal de integração.

Manifestação patológica	TERMINAL (ano de construção)					Ocorrência	
	T1 (2001)	T2 (2016)	T3 (2002)	T4 (2002)	T5 (2002)	Absoluta	Percentual
Corrosão Uniforme	x	x	x	x	x	5	100%
Corrosão por placas			x	x	x	3	60%
Corrosão por pites	x					1	20%
Corrosão em frestas	x	x	x	x	x	5	100%
Corrosão por esfoliação	x		x	x	x	4	80%
Corrosão em torno de cordão de solda	x	x	x	x	x	5	100%
Empolamento pelo hidrogênio			x	x	x	1	60%
Choque Mecânico	x	x	x	x	x	5	100%

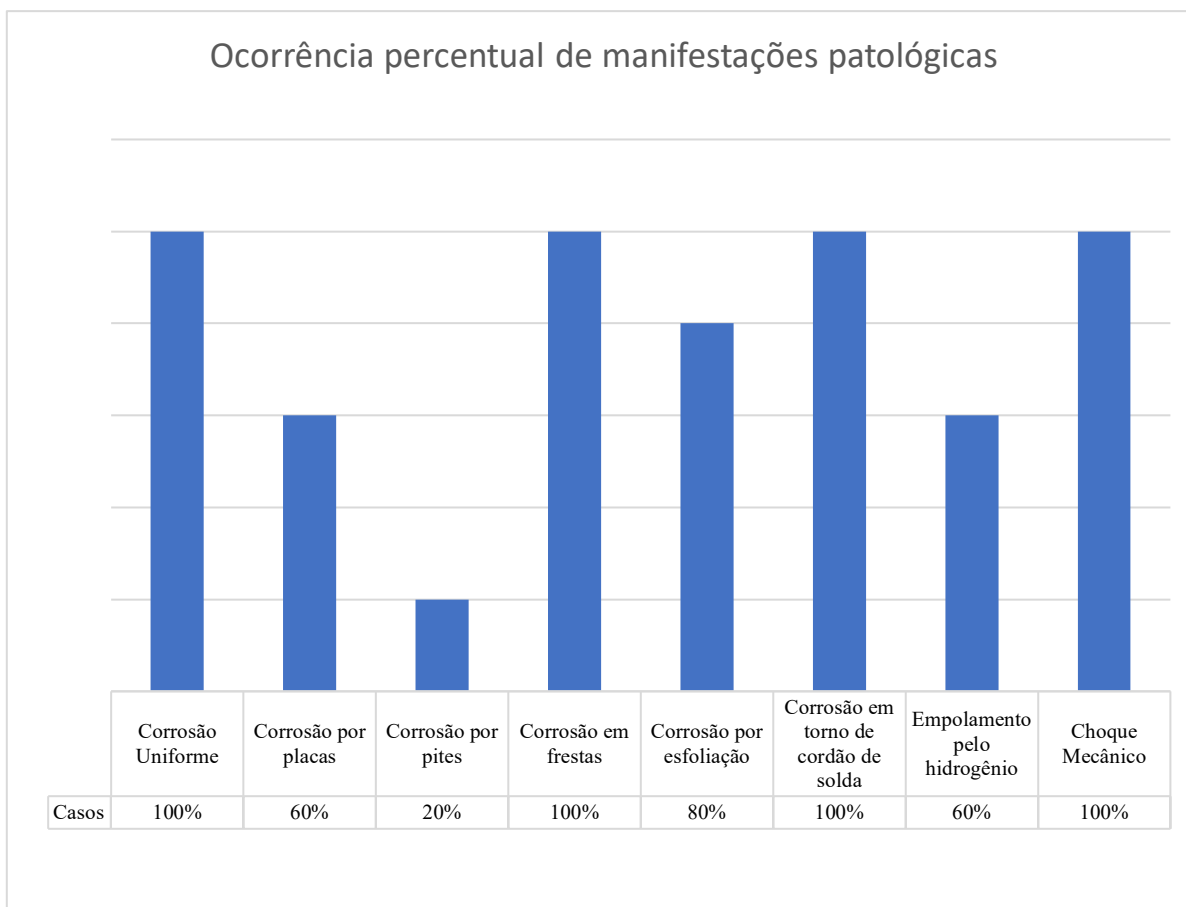


Figura 4 - Ocorrência percentual das manifestações patológicas.

4.1 Terminal 1

As plataformas do terminal 1, à época, eram compostas de vigas e pilares metálicos, assim como a estrutura de cobertura, os gradeamentos externos e internos de proteção das escadas dos mezaninos, corrimãos e portões. Nos pilares e vigas foi verificado o início de um processo de oxidação do metal com aparecimento de ferrugem (Figura 5-A). Os pilares, na sua maioria, não apresentavam mais a pintura de proteção e as vigas continham dejetos de pombos (Figura 5-B), o que se pode considerar como agravantes do processo de oxidação encontrado.

Na cobertura, as terças metálicas não continham qualquer tipo de pintura, sendo constatado uma grande ocorrência de corrosão uniforme por toda extensão do terminal (Figura 5-C). Foi verificado também a existência de danos gerados por choque mecânicos nas telhas, ocasionando pontos de infiltração que intensificam o processo de corrosão. Em relação ao gradeamento externo, os danos encontrados foram ocasionados por choques mecânicos devido a atos de vandalismo e invasão. Já nas grades de proteção das escadas e corrimãos, identificou-se um alto grau de deterioração da estrutura metálica, com perda significativa de material devido ao processo de corrosão em frestas e por esfoliação (Figura 5-D). Essas áreas afetadas continham um grande acúmulo de sujeira e detritos, tornando passível a retenção de umidade.



Figura 5 - A: Pilar oxidado; B: Viga contendo dejetos de pombos; C: Corrosão uniforme nas terças da cobertura; D: Corrosão em fresta e por esfoliação com perda de material no gradeamento das escadas.

Nos corrimãos também foi observado ocorrência de corrosão em torno do cordão de solda (Figura 6-A). Os portões do mezanino apresentaram pintura desgastada, com ocorrência de corrosão do tipo uniforme e por pites (Figura 6-B).



Figura 6 - A: Corrosão em torno do cordão de solda; B: Corrosão por pite nos portões do mezanino

4.2. Terminal 2

O terminal 2, localizada no bairro Cachoeirinha, recebeu uma reforma em 2016, constituindo estruturas metálicas na cobertura e esquadrias. Dentre todos os terminais, as estruturas metálicas do T2 apresentam-se em melhor estado de conservação, contendo pintura em toda sua extensão. Foram observados apenas casos pontuais de corrosão na cobertura, localizadas em ligações de chapa em torno de parafusos (Figura 7-A). Nas esquadrias verificou-se pontos de corrosão uniforme próximo a áreas de infiltrações (Figura 7-B).

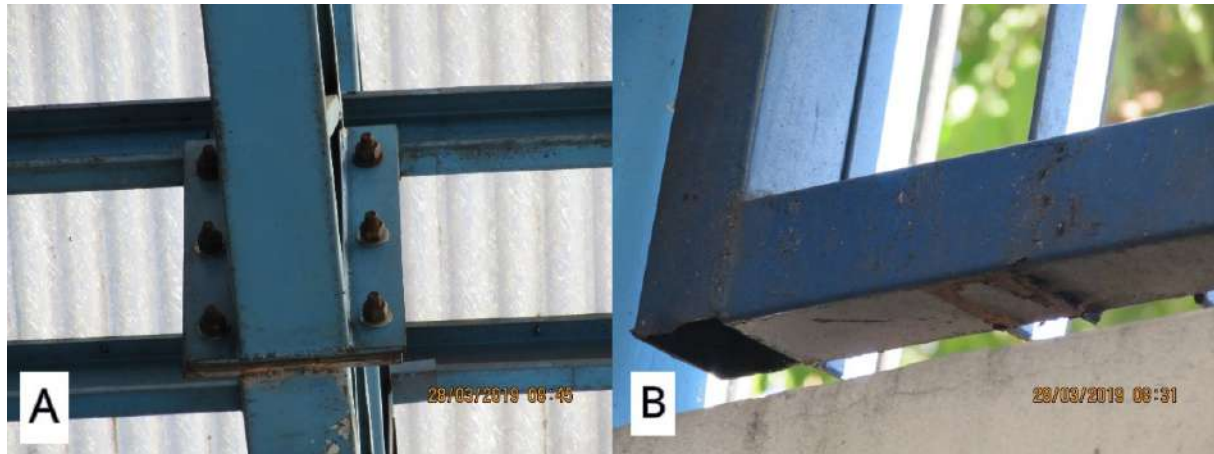


Figura 7 - A: Corrosão em frestas nas ligações de chapa da cobertura; B: Corrosão nas esquadrias.

4.3 Terminais 3, 4, 5

Os terminais 3, 4 e 5, localizados nas zonas norte e leste da cidade, possuem o mesmo modelo de projeto arquitetônico e estrutural, composto por estrutura metálica na cobertura, guarda-corpos, escadas, corrimões e tubulações pluviais. Foram constatados nos terminais pontos de infiltração de água devido a danos por choque mecânico e desgaste químico, por conta da ação atmosférica, nas telhas e calhas dos sistemas de coberturas. As treliças espaciais tinham pintura, porém com sinais de desgaste na sua maioria (Figura 8-A). Os tipos de corrosão uniforme e em frestas foram as com maior ocorrência nessas estruturas, agravadas pelo acúmulo de poeira, dejetos de pombo e pontos de infiltração. Em alguns casos, como no T3, observou-se a perda de material (Figura 8-B). Nos guarda-corpos e corrimões foi observado desgaste da pintura, com presença de oxidação e ferrugem, além de empolamento por hidrogênio (Figura 8-D). Em locais de grande circulação de pessoas, além de oxidação, também foi encontrado fissuras nos corrimãos metálicos. Possivelmente, o atrito entre as mãos dos usuários e os corrimãos gera um processo de desgaste na estrutura que favorece o mecanismo da corrosão, levando a fenômenos em cadeia de oxidação, perda de resistência e, por fim, aparecimento de fissura e fendas (Figura 8-C). Assim como corrimões, as tubulações apresentaram-se com corrosão, na maioria dos casos, uniforme.

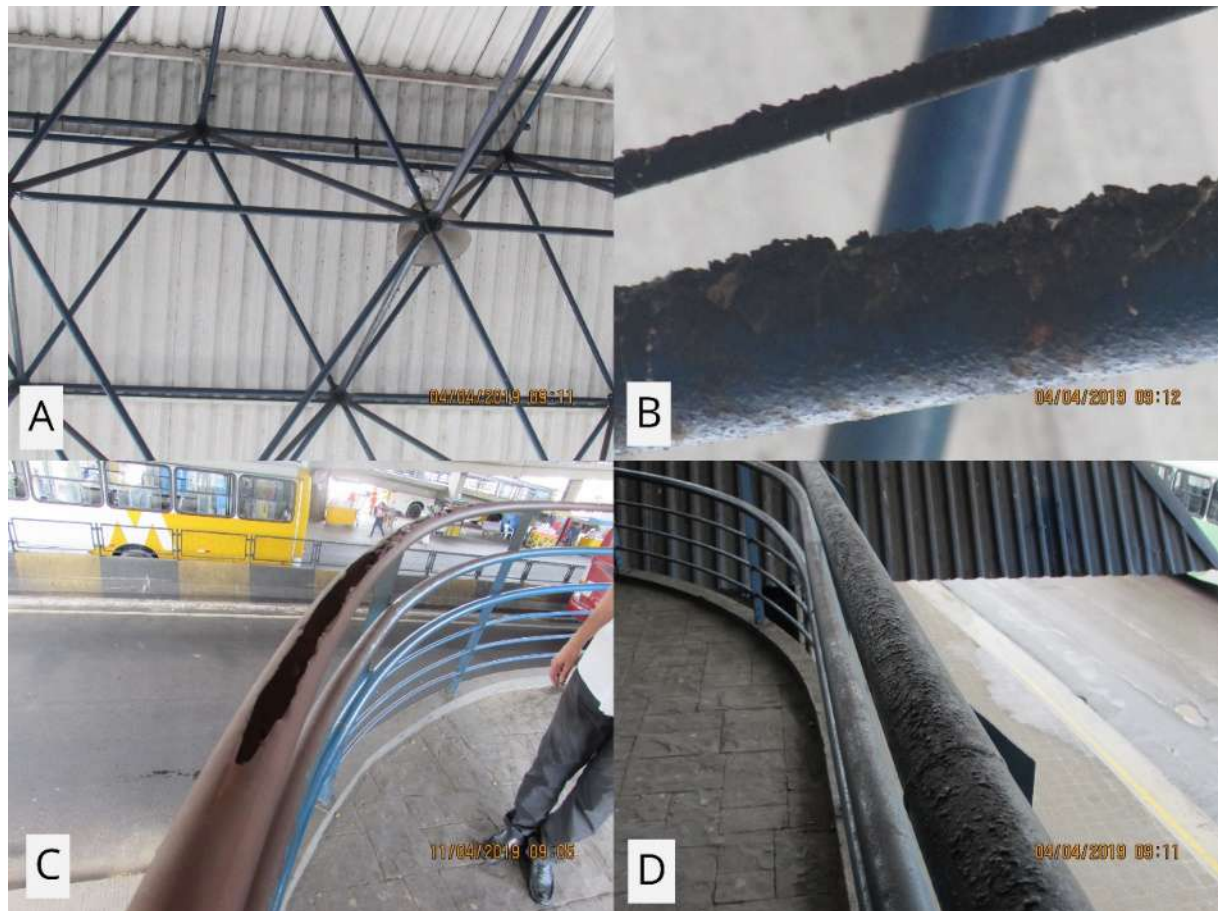


Figura 8 - A: Estrutura da cobertura dos terminais; B: Perda de material devido a corrosão na cobertura do T3; C: Corrimões oxidados com fendas no T4; D: Empolamento por hidrogênio no T4.

Os piores casos de deterioração do material devido a corrosão foram encontrados na base dos pilares metálicos das escadas dos terminais. Nestes locais, a corrosão ocorre, principalmente, por meio de esfoliação e por placas. Há uma grande perda de material, e, em alguns casos, total perda da função estrutural (Figura 9).



Figura 9 - A: Corrosão em placa e por esfoliação no pilar metálico da escada do T5; B: Perda de material no pilar da escada.

4.4 - Classificação das manifestações quanto ao grau de risco

Segundo a Norma de Inspeção Predial Nacional (IBAPE, 2012), as anomalias podem ser classificadas quanto ao grau de risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio. Quando ocorre risco de provocar danos à saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente, tendo perda do desempenho e funcionalidade classificamos como crítico (1). Quando ocorre risco de provocar perdas parciais de desempenho e funcionalidade sem prejuízo direto ao sistema classificamos como médio (2). E quando ocorre risco de provocar pequenos prejuízos relacionados a estética sem comprometer a funcionalidade da edificação classificamos como mínimo (3). A Tabela 3 denota a classificação em relação ao grau de risco das manifestações patológicas encontradas nos terminais de integração.

Tabela 3 - Classificação das manifestações patológicas quanto ao grau de risco.

Manifestação Patológica	T1	T2	T3	T4	T5
Corrosão Uniforme	2	3	2	2	2
Corrosão por placas			1	1	1
Corrosão por pites	2				
Corrosão em frestas	1	3	1	1	1
Corrosão por esfoliação	1		1	1	1
Corrosão em torno de cordão de solda	3	3	2	2	2
Empolamento pelo hidrogênio			3	3	3
Choque Mecânico	2	2	2	2	2

De modo geral, o terminal 1 apresentou grau de risco de mediano a crítico, sendo encontrado casos que expunham os usuários a risco de acidentes com possibilidade de contaminação, prejudicando sua saúde e segurança. O terminal 2 classificou-se como grau de risco mínimo, sendo baixas as ameaças de danos a edificação. A similaridade dos terminais 3, 4 e 5, tanto em relação a *layout* e sistemas estruturais como em idade, leva-os a apresentar problemas semelhantes com grau de risco de mediano a crítico, uma vez que foram encontrados casos que podem causar perda da função estrutural e, conseqüentemente, prejuízo ao sistema e à segurança dos usuários. Como solução de reparo dos elementos que apresentaram manifestações de corrosão com grau de risco mínimo e mediano, como é o caso das estruturas de cobertura dos terminais, se recomendou realização de limpeza dos elementos corroídos com jato de areia ao metal quase branco, padrão visual 2½, aplicando em seguida um primer anticorrosivo e uma pintura inibidora e preventiva de novos processos corrosivos. A utilização de pistola de pintura é importante, visando a obtenção de camadas espessas da película protetora. Já para os elementos que apresentaram um grau de risco crítico, na qual a corrosão danificou a peça estruturalmente, propôs-se substituição parcial ou total do elemento, a depender da extensão do dano, sendo necessário que o novo elemento receba também tratamento preventivo, garantindo segurança ao sistema estrutural. A questão dos custos para os reparos não foi avaliada por se entender que estava fora do escopo da pesquisa. Além disso, deve-se destacar que é fundamental também que haja planos de manutenção, para garantir a atualização das condições funcionais das estruturas, para que se possa programar intervenções de conservação antecipadamente, isto é, que haja programação para retoque anual da pintura, limpeza, e garantia das condições de utilização dos elementos metálicos.

5. CONCLUSÃO

A funcionalidade do transporte coletivo está intimamente associada aos elementos que compõem o sistema, como é o caso dos terminais de integração de ônibus. Assim, a presença de manifestações patológicas nas estruturas metálicas desses terminais pode causar danos à ergonomia e desempenho desses serviços, assim como põe em risco a segurança dos usuários. A deterioração do metal, por meio do processo de corrosão, foi verificada em todos os terminais, com formas diversas de manifestação. Em casos mais severos, gerou preocupação quanto à segurança estrutural e funcionalidade da edificação devido à redução significativa de material. As principais manifestações patológicas encontradas foram a corrosão uniforme, a corrosão em frestas, corrosão em torno do cordão de solda e o choque mecânico, seguidas da corrosão por esfoliação e por placas. As maiores ocorrências dessas manifestações foram observadas na parte das coberturas, que apresentavam grande acúmulo de poeira, advinda das partículas geradas pela queima de combustíveis fósseis dos ônibus, dejetos de pássaros e pontos de infiltração que favorecem a umidade. Deve-se levar em consideração também a acidez da água das chuvas que, no médio e longo prazo, contribuem para o agravamento do problema. Além disso, notou-se anomalias em elementos não-estruturais como guarda-corpos e corrimãos, principalmente onde havia acúmulo de lixo. Os choques mecânicos foram verificados no gradeamento externo, telhas e guarda-corpos entre plataformas, provocados por atos de vandalismo e colisão dos ônibus. Os elementos afetados pelas manifestações patológicas passam a impressão visual de estarem em fim de vida útil, causando sensação de insegurança nos usuários e funcionários dos terminais. Tais elementos quando sofrem corrosão podem tomar formato cortante, com perigo agravado pela presença de óxido de ferro e umidade, que favorecem a proliferação de bactérias locais. Além disso, a perda de material causa a perda da função estrutural. Por esses motivos, a maioria dos terminais, com exceção do terminal 2, foram classificados com um grau de risco mediano à crítico, sendo seus elementos passíveis de tratamentos para recuperação através de limpeza com jatos de areia e aplicação de primer e pintura inibidora, com especificações adequadas às características dos problemas. Essa diferença do T2 para os outros quatro pode ser associada ao fato de ser o de menor idade, tendo sido exposto a agentes agressivos por tempo inferior aos demais, que foram construídos entre 2001 e 2002. Apesar disso, a realização de manutenção preventiva é importante para todos os terminais, a fim de que se possa evitar ou reduzir as falhas, assegurando a segurança e o desempenho da edificação durante sua vida útil.

Os resultados da pesquisa foram entregues à Secretaria Municipal de Infraestrutura em junho de 2019. Em outubro do mesmo ano, como atividade obrigatória do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e sem publicação de resumo ou artigo em anais, o relatório final foi apresentado no Congresso de Iniciação Científica (XXVIII CONIC-UFAM), evento da Universidade Federal do Amazonas. Em 2020 ocorreram mudanças significativas no sistema de transporte urbano de Manaus, como a reconstrução do T1, entregue em 17 de maio de 2021, construção do T6 e intervenções de conservação nos demais terminais.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria Municipal de Infraestrutura de Manaus pelo apoio prestado durante as visitas técnicas e consulta aos projetos, também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsas, e à Universidade Federal do Amazonas pelo incentivo às atividades de pesquisa por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica.

7. REFERÊNCIAS

- BOLINA, F. L. et. al. (2019), “*Patologia de estruturas*”. Oficina de Textos, São Paulo: SP.
- BRINCK, F. M. (2004), “*Efeito da Corrosão na Integridade Estrutural da Ponte Metálica Marechal Hermes*”. 2004. 227 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto: MG. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6637/3/DISSERTA%C3%87%C3%83O_EfeitoCorros%C3%A3oIntegridade.pdf>. Acesso em: 02 set. 2018.
- CALLISTER, W. D; RETHWISCH, D. G. (2012), “*Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*”. 8. ed. LTC, Rio de Janeiro: RJ.
- CASTRO, E. M. C. (1999), “*Patologia dos Edifícios em Estrutura Metálica*”. 204 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto: MG. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp104704.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2018.
- CARVALHO, C. H. R. (2011), “Emissão Relativas de Poluentes de Transportes Motorizados de Passageiros nos Centros Urbanos Brasileiros”. Ipea, Brasília: DF. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf>. Acesso em: 6 out. 2018
- FERRO, S. R. O. P. B; FONSECA, V. (2013), “*Transporte Público Urbano: Condições dos Terminais de Integração da Região Metropolitana de Aracaju/SE*”. In: Interfaces Científicas: Direito, v. 1, n. 2, p.9-17, Aracaju: SE. Mensal. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/direito/article/download/310/221>>. Acesso em: 6 ago. 2021.
- GASPARONI, A. G.; RODRIGUES, L. M. (2020), “*Corrosão de estruturas metálicas em águas e sua proteção*”. RFB Editora, Belém: PA. Disponível em: <<https://deposita.ibict.br/bitstream/deposita/210/2/CORROS%C3%83O%20DE%20ESTRUTURAS%20MET%C3%81LICAS.pdf>>. Acesso em 04 de ago. 2021.
- GENTIL, V. (1996), “*Corrosão*”. 3. ed. LTC, Rio de Janeiro: RJ.
- GOOGLE Maps (2021), “*Mapa da cidade de Manaus*”. Disponível em: <maps.google.com>. Acesso em 31 mai. de 2021.
- INSTITUTO Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (2012), “*Norma De Inspeção Predial Nacional*”. Ibape, São Paulo: SP. Disponível em: <<http://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/12/Norma-de-Inspe%C3%A7%C3%A3o-Predial-IBAPE-Nacional.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2019.
- JAMMAL, M. F. (2010), “*Análise dos Requisitos de Qualidade do Transporte Coletivo Urbano de São José do Rio Preto - SP - Usando o Método QFD*”. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos: SP. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4299/3508.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 2 set. 2018.

LIUBARTAS, D. et al. (2015). “*A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas*”. *Inovae*, v. 3, n. 1, p.92-110, São Paulo: SP. Quadrimestral. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/382>>. Acesso em: 07 ago. 2021.

MAIA, D. J. et al. (2015). “*Experimento sobre a influência do pH na corrosão do ferro*”. *Química Nova na Escola*, v. 37, n. 1, p.71-75, São Paulo: SP. Trimestral. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc37_1/11-EEQ-69-13.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2021.

MANAUS. Prefeitura de Manaus. Instituto Municipal de Mobilidade Urbana (2019), “*Terminais de Integração*”. Disponível em: <<http://transporte.manaus.am.gov.br/terminais-de-integracao/>>. Acesso em: 2 set. 2019.

RODRIGUES, P. R. S.; OLIVEIRA, V. M. (2016), “*Transporte Coletivo Por Ônibus Em Manaus: Análise Das Linhas No Contexto Norte-Sul*”. Manaus: AM. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/transporte-coletivo-por-onibus-em-manaus/146516>>. Acesso em: 4 out. 2018.

SANTOS, M. R. (2020), “*Manual de uso, operação e manutenção de edificações em estruturas metálicas*”. 95 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, Aracaju: SE. Disponível em: <<https://repositorio.ifs.edu.br/biblioteca/bitstream/123456789/1481/1/Maria%20Rita%20dos%20Santos.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2021.

SOUZA, M. H. (2009), “*Contribuição metodológica para localizar terminal de integração de passageiros do transporte hidro-rodoviário urbano*”. 238 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro: RJ. Disponível em: <http://www.pet.coppe.ufrj.br/index.php/pt/producao/teses-de-dsc/doc_download/155-contribuicao-metodologica-para-localizar-terminal-de-integracao-de-passageiros-do-transporte-hidro-r>. Acesso em: 12 ago. 2018.

SUPERINTENDÊNCIA Municipal de Transportes Urbanos (2016), “*Planta Baixa – Terminal 2*”. Prefeitura de Manaus, Manaus: AM.

ZUCHETTI, P. A. B. (2015), “*Patologias Da Construção Civil: Investigação Patológica Em Edifício Corporativo De Administração Pública No Vale Do Taquari/RS*”. 128 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado: RS. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/939/1/2015PedroAugustoBastianiZuchetti.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

Estudo do comportamento de diferentes tipos de cimentos na mitigação das Reações Álcali-Agregado (RAA)

Marina Munaretto. Copetti¹, Cristiane Carine dos. Santos², Tássia. Fanton^{3*}, Ana Paula Maran⁴, Cristian Dauinheimer Miranda⁵.

tassiafanton@gmail.com

¹ Secretaria Acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, Brasil

² Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maira, Brasil.

⁴ Secretaria Acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, Brasil

⁵ Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, Brasil

RESUMO

A Reação Álcali-Agregado (RAA) resulta na manifestação de expansões, ocasionando sérios efeitos em estruturas de concreto. Buscando meios de mitigar estes efeitos, se desenvolveu esta pesquisa com o objetivo de realizar um estudo comparativo da mitigação da expansão da RAA em barras de argamassa pelo método acelerado, conforme estabelece a ABNT NBR 15577-5. Para tal estudo foram utilizadas composições de agregado reativo, confirmado por meio de análise petrográfica, com aglomerantes cimentícios dos tipos CP II F 32, CPII E 40, CP IV e CP V com adição de 8% de metacaulim, sendo o CPIV o que apresentou o melhor desempenho. Verificou-se que além do equivalente alcalino, a presença de adições também tem uma grande influência na RAA.

Palavras- chave: RAA; Patologia; Concreto; Adições minerais; Agregado reativo.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais antigos e que tem o uso mais disseminado na construção civil. Fazem parte da sua composição aglomerante hidráulico - cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo, água, podendo ainda conter aditivos químicos e adições. Algumas propriedades fazem com que esse material seja o mais aplicado na engenharia, desde a facilidade de executar elementos diversos, em variedade de dimensões e geometria, ao baixo custo e maior disponibilidade.

As primeiras publicações sobre reação álcali-agregado, reação esta que ocorre entre os álcalis do concreto em estado endurecido, datam o ano de 1916 no Brasil, mas houve estudos maiores no ano 1963. A preocupação maior sempre foi com obras de grande porte como barragens, e parte de usinas hidrelétricas. Mas por volta de 2004, na cidade de Recife foram identificados casos dessa patologia em edifícios acometendo blocos e sapatas de fundações com idades entre 3 a 20 anos. Com o aumento de conhecimento na área, percebeu-se uma incidência na maioria dos estados brasileiros com maior volume no Nordeste.

2. PATOLOGIAS DO CONCRETO

Os fenômenos patológicos habitualmente apresentam manifestação externa característica, a partir da qual se pode ter uma ideia dedutiva quanto à natureza, à origem e aos mecanismos dos fenômenos envolvidos.

A retração e fluência estão entre os principais fatores que afetam a integridade de uma estrutura em concreto, podendo citar também a Reação Álcali-Agregado (RAA), pois sua característica expansiva a torna uma manifestação patológica de difícil controle e tratamento, podendo produzir degradação significativa da resistência e rigidez do concreto em diferentes tipos de estruturas. (Balabuch, Felix, Carrazedo, 2019).

No mundo, em aproximadamente 35 países, existem diversas obras com estruturas de concreto afetadas por reação álcali-agregado. Antigamente, quando se falava em reação álcali-agregado, pensava-se em obras de barragem e obras de grande porte. Atualmente as reações podem ser encontradas em diversos tipos de estruturas de concreto por isso os órgãos que estudam o concreto com mais afinco desenvolveram um guia prático para prevenção de reação álcali-agregado, guia prático para inspeção e diagnóstico da reação álcali-agregado e também um guia de ação frente as estruturas afetadas pela reação álcali agregado em conjunto com a ABNT 15577 (BATTAGIN, SILVEIRA & MUNHOZ, 2016).

A deterioração induzida pela RAA nos compósitos cimentícios é um problema sério sem nenhuma solução simples, embora existam inúmeros métodos tradicionais que tentam impedir esta reação tais como a escolha do agregado de maneira adequada e que não seja reativo; a utilização de cimentos com um teor alcalino baixo; a adição de materiais pozolânicos e assim por diante, o fato é que este problema é cada vez mais presente em concretos de cimento Portland. Além disso, a reparação das estruturas afetadas é um empreendimento muito caro. (BALABUCH, 2018).

A fissuração que ocorre no concreto devido à RAA pode contribuir com outros problemas que afetam a durabilidade das estruturas como, por exemplo, a corrosão das armaduras. Segundo o CBDB (Comitê Brasileiro de Barragens, 1999), a micro-fissuração junto à superfície dos agregados e a perda de aderência podem levar a perdas de resistência e à redução do módulo de elasticidade do concreto.

Assim sendo, esta pesquisa sobre adições minerais e tipos de cimento, na atenuação da reação álcali-agregado ocorrida nas estruturas de concreto por ela afetadas, mostra-se relevante para o desenvolvimento do conhecimento técnico-científico sobre o assunto.

2.1 Reação Álcali-agregado (RAA)

A RAA é um tipo de reação expansiva bastante conhecida devido ao grande número de casos registrados no mundo. A RAA ocorre devido ao processo químico que provém da reação dos compostos mineralógicos do agregado com hidróxidos alcalinos originários do cimento, água de amassamento e agentes externos, os quais estão dissolvidos na solução dos poros de concreto.

O produto resultante dessa reação é um gel cristalino expansivo na presença de umidade, podendo originar fissuras, aumento de permeabilidade, diminuição da resistência e conseqüentemente a ruptura da estrutura. Por trazer tanto risco as obras civis e não havendo um método eficiente na solução desse problema quando instalado a melhor solução técnico/econômica para se combater a RAA é a prevenção (SANCHEZ,KUPERMAN, HELENE,2008).

Os ensaios, regidos pela norma NBR 15577-1(2018), estabelecem limites de expansão em um determinado corpo-de-prova, concluindo se este é potencialmente reativo ou potencialmente inócuo. A utilização de areia considerada reativa em concreto, somada a um ambiente úmido, geram patologias muitas vezes irreversíveis. A fim de evitar esse problema, adiciona-se material de característica pozolânica que, em algumas quantidades inibem a reação, tornando o agregado que antes era considerado potencialmente reativo, em potencialmente inócuo, conhecido como mitigação.

A deterioração do concreto causada pela reação álcali-agregado foi identificada pela primeira vez no ano de 1940, na Califórnia – EUA, por Stanton, quando se constatou inexplicáveis expansões em estruturas de diversos prédios escolares, pontes, pavimentos e construções portuárias. Ao investigar, Stanton chegou a conclusão que as expansões estavam relacionadas ao uso de cimento com alto teor de álcalis e que as deteriorações ocorridas foram devido à reação álcali-sílica (HOBBS, 1988).

A reação se manifesta no concreto por um padrão de fissuração, expansão e conseqüente deslocamento dos elementos estruturais, o que causa ainda a desagregação de fragmentos da superfície. Algumas vezes, ocorre a exsudação de gel sílico-alcalino resultante da reação, que se deposita na superfície do concreto (PAULON, 1981). Segundo Bonato (2015), a reação álcali-agregado, é a reação química que ocorre no interior de uma estrutura de concreto, acontece entre os álcalis do cimento e os minerais dos agregados, sendo que geralmente os álcalis ou hidróxidos alcalinos também podem advir da água de amassamento, de aditivos químicos, de adições pozolânicas, entre outros.

No Brasil, existe uma norma específica para a análise da reatividade álcali-agregado: ABNT NBR 15577 (2018). Esta norma está dividida em 6 partes:

- Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto;
- Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto;
- Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto.
- Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado;
- Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado;
- Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto.

As reações álcali-agregado podem ser de três tipos: reação álcali-sílica, reação álcali-silicato e reação álcali-carbonato, cada tipo dependente da composição mineralógica reativa do agregado. Diante aos problemas gerados por essas reações, diversos estudos têm procurado maneiras de minimizar estes efeitos. De acordo com Monteiro *et al.* (1997), a ação mais empregada para

minimizar e até suprimir a reação álcali-agregado é substituir parcialmente o cimento por adições minerais, principalmente materiais pozolânicos.

Os materiais pozolânicos que são comumente utilizados para substituir parcialmente o cimento Portland, são a cinza volante, cinza de casca de arroz, escória de alto forno e sílica ativa.

2.2 Uso de adições minerais para mitigação de RAA

Segundo Mehta (2008), a utilização de adições minerais tem influência benéfica sobre a durabilidade do concreto, devido aos efeitos físicos associados com o tamanho das partículas, que são geralmente mais finas que as do cimento Portland, e pelas reações pozolânicas e cimentíceas. De acordo com a ASTM C 618/19 e a ABNT NBR 12653: 2015, pozolana é um material que, por si só, possui pouca ou nenhuma atividade cimentícea, porém, quando finamente dividida e na presença de água, reage com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades cimentantes, reação na qual é chamada de reação pozolânica.

As pozolanas podem se originar tanto de materiais naturais como: tufos vulcânicos, terras diatomáceas, argilas calcinadas; assim como de subprodutos e resíduos industriais (cinza volante, sílica ativa e cinza de casca de arroz). Elas podem ser utilizadas como substituição de parte do cimento ou como adição em percentuais variáveis em relação à massa de cimento. A adição de materiais pozolânicos, além de combaterem a expansão causada pela reação álcali-agregado, melhora outras propriedades do concreto, como a permeabilidade, a resistência ao calor, a difusividade, e o tamanho da zona de transição, devido à presença de partículas sólidas menores. Existem muitas proposições que buscam explicar o efeito da incorporação de adições minerais pozolânicas na reação álcali-agregado.

Segundo TIECHER (2006) as adições pozolânicas impedem a reação álcali-agregado pois ao reagirem com o hidróxido de cálcio do cimento Portland provocam uma diminuição do pH da solução dos poros, inibindo assim a reação.

Outro fator que combate a RAA com adições minerais é que a sílica presente nestas reage com os álcalis do CP antes da sílica presente nos agregados do concreto, e esta reação que ocorre primeiramente não é prejudicial, pois o produto silicoso, finamente dividido, é inofensivo por não acarretar em expansões (DIAMOND, 1984, apud TIECHER, 2006).

Atualmente no Brasil são produzidos cimentos Portland com variadas porcentagens de adições, nessas opções têm-se dois tipos com altas porcentagens de adições, que podem ser usados para prevenir o desencadeamento da reação álcali-agregado.

3. METODOLOGIA

Em virtude do histórico encontrado em fundações de subestações na região central de Minas Gerais fez-se um estudo metódico para evitar futuros problemas, o agregado em questão não poderia ser alterado devido distância da obra. Então buscou-se fazer um estudo comparativo de mitigação apenas trocando o aglomerante da mistura para encontrar melhor solução para evitar esse propenso problema.

3.1 Agregado e aglomerantes

Nesse estudo foi utilizado o agregado da cidade de Salinas do estado de Minas Gerais foram realizados coleta e ensaios de agosto de 2018 a fevereiro de 2019. Foram recolhidos os agregados, tipos de cimentos e metacaulim e realizado o estudo de mitigação.

Estudos anteriores (relatórios ABCP) indicaram que essa região tem agregados potencialmente reativos. Com o intuito de contribuir com subsídios para a mitigação da expansão desses agregados

foi realizado o ensaio prescrito pela NBR 15577-5, onde usou os cimentos (CP IV 32 - CP II E – 40 - CP II F 40 e CP V + 8% de metacaulim).

Portanto, este estudo apresenta os resultados dos ensaios referentes à determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado prescrito pela ABNT NBR 15577-5, indicado para avaliar a eficiência de cimentos com adições de materiais pozolânicos ou escórias de alto-forno em inibir a expansão de agregados classificados como potencialmente reativos pela metodologia prescrita pela ABNT NBR 15577-4. O tipo de cimento variou conforme estudo, onde o agregado foi o mesmo em todo o estudo.

3.1.1 Análise petrográfica

A análise petrográfica dos agregados foi realizada seguindo as prescrições normativas da NBR 15577-3 e efetuando-se a visualização das amostras por técnicas microscópicas para se determinar as características mineralógicas dos agregados. O diagnóstico do agregado quanto a sua reatividade também foi feito em função da presença de minerais reativos e a avaliação do ângulo de extinção ondulante identificado no quartzo tensionado via microscopia de luz polarizada, de acordo com o procedimento descrito por Dolar-Mantuani (1983).

Na Figura 1 segue esquematizada a determinação do ângulo de extinção ondulante em microscópio petrográfico. O objetivo é avaliar a qualidade da brita como agregado para concreto do ponto de vista mineralógico, no que se refere a sua potencialidade à reação álcali-agregado (RAA).

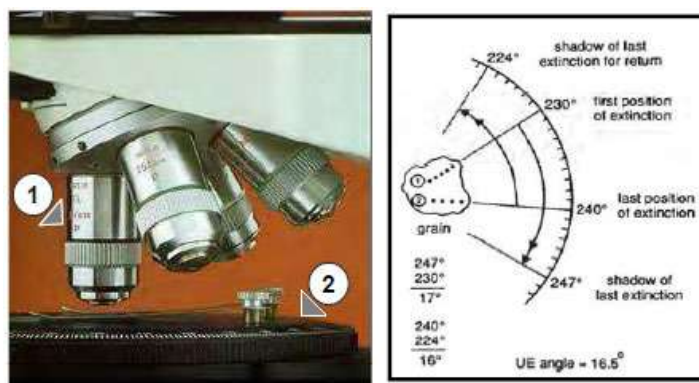


Figura 1 -Análise petrográfica. a) Detalhe do microscópio petrográfico – objetivas (1) e mesa giratória (2); b) Determinação do ângulo de extinção ondulante na mesa giratória. Fonte: MANTUANI, 1981 apud POOLE, (1992).

3.1.2 Método Acelerado de Barras de Argamassa

O ensaio acelerado em barras de argamassa foi realizado para a determinação da propensão dos agregados estudados à reação álcali-agregado. O Método Acelerado de Barras de Argamassa é normatizado no pela ASTM C-1260 (2014) e ABNT NBR 15577-4 (2018), e é, devido à sua velocidade de avaliação, o método mais utilizado no mundo (SANCHEZ, 2008).

O ensaio consiste na confecção e imersão de barras de argamassa em uma solução de hidróxido de sódio a 80 °C por um período de 30 dias, fazendo-se leituras de expansão aos 16 e 30 dias contados a partir de sua moldagem, e em períodos intermediários (ABNT NBR 15577-4, 2018). No instante de moldagem foram controladas as condições do ambiente (umidade e temperatura) por meio de um relógio termo-higrômetro. Após 24 ± 2 h de cura nos moldes, efetuou-se o acondicionamento das barras em recipiente com água destilada, mantendo-se na temperatura de 80°C durante 24 ± 2 h. Sequencialmente, realizou-se a primeira medição das barras, sendo as mesmas posteriormente transferidas para um banho térmico de NaOH 1N a 80 °C.

A Figura 2 demonstra onde as amostras receberam o banho térmico NaOH 1N controlado à 800°C.



Figura 2 - Banho térmico NaOH 1N controlado à 800C. Fonte: Próprio Autor (2020).

A retirada e retorno de cada barra do banho térmico para leitura foi realizado num período de tempo inferior a 1 min. A Figura 3 representa a retirada das amostras para as leituras.



Figura 3- Instante de retirada da barra do banho térmico. Fonte: Próprio autor (2020).

A ASTM C-1260 (2014) define um limite de expansão de 0,20% aos 16 dias, acima do qual a reação é considerada deletéria.



Figura 4 - Equipamento de leitura de expansões. Fonte: Próprio autor (2020).

Expansões entre 0,10% e 0,20% são classificadas como potencialmente deletérias, e abaixo de 0,10%, como inócuas. Já a ABNT NBR 15577-4 (2018) classifica como potencialmente inócua a reação com expansão abaixo de 0,19% aos 30 dias, e acima desse limite como potencialmente reativa.

No caso da avaliação da mitigação da reação álcali-agregado pelo método acelerado NBR 15577-5, foi testada a mistura: (Brita + CP IV RS – 32), (Brita + CP II Z 40), (Brita + CP II F – 32) e (Brita + CP V ARI - RS + 8% de metacaulim). Substituiu-se o metacaulim em cima da massa de cimento, ou seja 404,8 g de cimento e 35,8g de metacaulim.

A Tabela 1 apresenta a composição dos materiais utilizada para a preparação de três barras de argamassa de (25 x 25 x 285) mm. A amostra de agregado foi previamente britada e pulverizada, utilizando-se um britador de mandíbulas, marca Renard, modelo

BMA 125.80, em seguida peneirada até obtenção da distribuição granulométrica indicada. Este procedimento foi realizado em todas as amostras. A quantidade de materiais utilizadas em cada moldagem das barras é a mesma, o que muda é o aglomerante. O aglomerante A é o cimento CP IV RS 32, o aglomerante B é o cimento CP II F 40 e o aglomerante CP II E 40 e o aglomerante D é o CP V + METACAULIM.

Tabela 1 – Composição dos materiais

Abertura nominal das peneiras (mm)		Massa (g)
Agregado	4,8 - 2,4	99,0
	2,4 - 1,2	247,5
	1,2 - 0,6	247,5
	0,6 - 0,3	247,5
	0,3 - 0,15	148,5
Cimento A, B, C e D.		440,0
Água destilada (a/c = 0,47)		206,8

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise petrográfica

A análise petrográfica foi realizada primeiramente ao microscópio estereoscópico, sendo complementada por observações de lâmina delgada ao microscópio óptico de luz transmitida. A Tabela 2 demonstra a síntese das características petrográficas.

Tabela 2 – Síntese das características petrográficas.

Mineralogia	Principal	Quartzo
-------------	-----------	---------

	Subordinada	Opacos, carbonatos, sericita
	Reativa/Deletéria	Quartzo microgranular(20-30%)
Cor		Cinza escuro
Estrutura		Foliada
Textura		Granolepidoblástica/ Xistosa
Granulação		Inequigranular. Média(5mm a 1 mm) a fina(<1mm)
Deformação do agregado		Foliação marcada pela orientação das micas
Feldspato(Texturas potencialmente reativas)		Não ocorre
Quartzo deformado(<extinção ondulante)		15° a 30°
Quartzo microgranular(%)		>15%
Microfissuração		Fraco
Tipo		Rocha britada
Grau de alteração		Rocha sã
Propriedades físico-mecânicas		Rocha muito coerente
Tipo de rocha		Metamórfica
Classificação petrográfica		Quartzo xisto
Reatividade potencial		Potencialmente reativa

A rocha é constituída principalmente por quartzo e feldspato dispostos em uma textura granolepidoblástica xistosa, podendo-se classificar a rocha como um quartzo de xisto. Por meio do estudo petrográfico a amostra foi considerada potencialmente reativa com relação a sua reatividade frente aos álcalis do concreto. A reatividade da amostra está relacionada à presença de quartzo microgranular em teores de 15% constituintes totais da amostra.

4.2 Método Acelerado de Barras de Argamassa

Os ensaios acelerados em barras de argamassa foram realizados com agregado potencialmente reativo. Os ensaios de reatividade foram realizados até a idade de 28 dias, como especifica a norma. O gráfico ilustrado na figura 5, apresenta os resultados dos ensaios realizados utilizando o cimento CP IV RS - 32, CP II E 40, CP II F 32 e CP V + metacaulim destacando-se os valores aos 28 dias de cura em solução de NaOH 1N a 80°C.

A Figura 5 ilustra a evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura

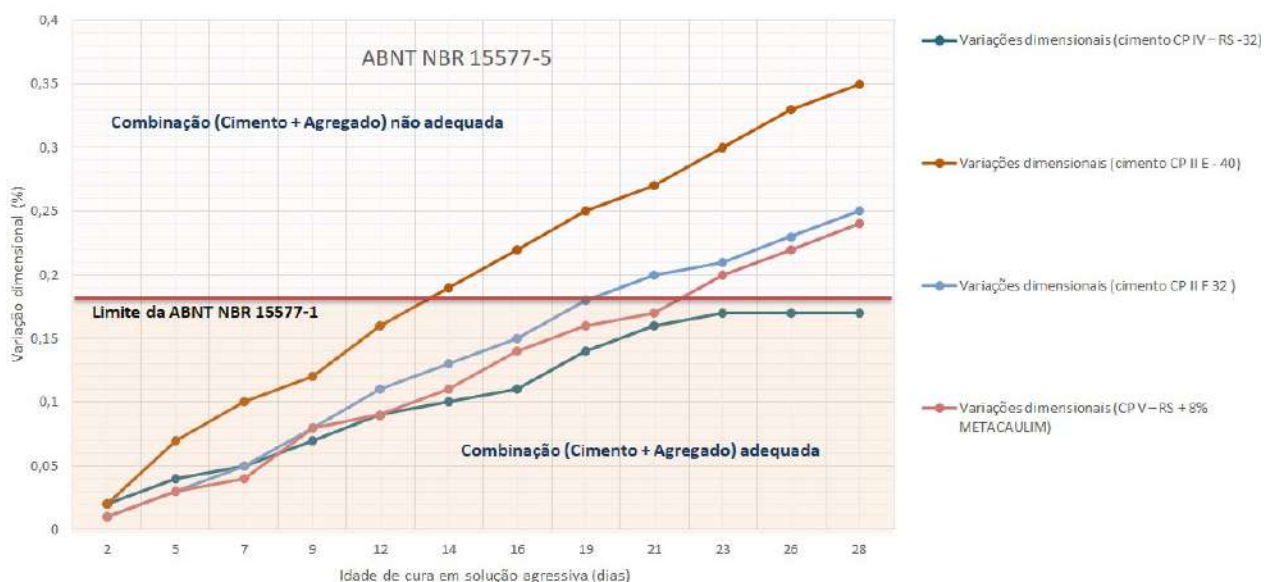


Figura 5 - Evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura. Fonte: Próprio autor (2021).

Com relação à avaliação da mitigação da reação álcali-agregado pelo método acelerado ABNT NBR 15577-5, a parte 1 da norma estabelece que a comprovação da mitigação da reação é obtida quando a expansão for menor que 0,19% aos 30 dias (28 dias de cura em solução alcalina).

4.2.1 Amostra CP IV RS – 32

A amostra que foi utilizado cimento CP IV RS-32, apresenta expansão for menor que 0,19% aos 28 dias, como pode ser analisado no gráfico ilustrado na figura 5.

Em estudo realizado por TIECHER (2006), concluiu-se que o CP IV, ou cimento Pozolânico, gerou menores expansões comparando-se com os outros tipos de cimento, então se recomenda que na execução de grandes obras sujeitas a reação álcali-agregado seja utilizado o CP IV.

4.2.2 Amostra CP II E 40

Os ensaios acelerados indicaram a maior tendência à reação na amostra CP II 40, possuindo expansões elevadas nas primeiras idades, sendo aos 14 dias facilmente caracterizados como potencialmente reativo. Os cimentos CPII F32 E CPV + Metacaulim confirmaram sua reatividade aos 19 e 21 dias. O cimento CP IV apresentou-se dentro do índice sendo considerado não reativo.

4.2.3 Amostra CP II F 32

O agregado quando combinado com o cimento CP II-F-32 apresentou valor de expansão superior de 0,10% aos 14 dias de cura em solução alcalina, indicando que a combinação especificadamente ensaiada não é adequada, o agregado é reativo e esse tipo de cimento não conseguiu inibi-lo.

4.2.4 Amostra CP V + 8% metacaulim

A amostra de brita (Salinas) quando combinada com o cimento (CP V ARI – RS adicionado 8% de metacaulim), apresentou valor de expansão superior a 0,19% aos 28 dias de cura em solução alcalina, indicando que a combinação especificadamente ensaiada não é adequada, o agregado é potencialmente reativo e o cimento não inibiu a expansão devido à reação álcali-agregado nos níveis requeridos.

A grande presença de gel característico da RAA no CPV-ARI está de acordo com os resultados apresentados por este no ensaio acelerado das barras de argamassa, em que foi o cimento que mais apresentou expansão, e o único em que a reação foi classificada como deletéria.

Nem sempre é possível limitar os álcalis totais, principalmente em concreto mistura com alto teor de cimento. Nesse caso, a influência dos álcalis agressivos pode ser mitigada pelo uso de adições minerais, como escória granulada de alto-forno moída, cinzas volantes, sílica ativa ou metacaulim. Esses materiais reduzem e imobilizam os álcalis o suficiente para prevenir ou controlar o RAA. Essa prática foi aceita em todo o mundo e contribui também para a melhoria ambiental. No entanto, as próprias adições minerais podem contribuir com alguns álcalis à mistura. A vantagem das adições minerais é que elas têm um conteúdo alcalino ativo consideravelmente menor do que o cimento Portland, uma vez que seus álcalis geralmente estão amarrados em suas fases vítreas e são liberados a uma taxa muito mais lenta do que o cimento Portland. Os mecanismos pelos quais as adições minerais suprimem a expansão da RAA envolvem complexidade álcalis para reduzir as concentrações de íons hidroxila e alterar as taxas de difusão de álcalis e cálcio nos locais de reação, resultando na formação de produtos de reação não expansivos inofensivos.

Existem dois tipos de cinzas volantes, Classe F e Classe C (ASTM C618, 2019), distinguidas por seu teor de cal (CaO), com cinzas de Classe C com maior teor de cal, geralmente excedendo 10% ou até 20%. Para fins de prevenção do RAA expansivo, a proporção mínima permitida de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ para cinzas da classe F é de 70% e para cinzas da classe C é de 50%. Um requisito adicional para cinzas volantes é um limite máximo de 1,5% para os álcalis disponíveis, conforme determinado.

Ao analisar os resultados, podemos identificar que a amostra CP II 40 apresenta maior expansão, e a amostra CP IV RS-32 apresentou o melhor resultado, com expansão máxima aos 28 dias menor que 0,19. Sendo assim pode-se considerar que o cimento CP IV RS-32, é o mais adequado para mitigar a reação álcali-agregado dentre as amostras analisadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maneira óbvia de impedir a RAA é evitar o uso de agregados reativos a álcalis. Muitos tipos de rochas que ocorrem naturalmente são potencialmente reativos. Isso enfatiza a importância de testar fontes de agregados novas ou não testadas para RAA antes de serem usadas no concreto. No entanto, há ocasiões em que não é possível evitar um agregado reativo a álcalis. Nesses casos, a mistura com um agregado não reativo pode reduzir o problema. Outra medida é excluir os constituintes suscetíveis de RAA por beneficiamento (extração e trituração seletivas, separação de meios pesados, etc.). Como alternativa, deve-se prestar atenção à redução ou minimização dos álcalis na mistura ou modificação do ambiente para eliminar a umidade

Os resultados estão, em geral, de acordo com a bibliografia, que apresenta o CPV-ARI como pouco resistente à RAA, o CPIV-RS como bom inibidor, bom desempenho em contato com a reação álcali-agregado. Índícios da RAA, como a presença de gel, também são observados por diversos autores, mesmo para cimentos que não sofrem com a reação. O desempenho ruim do CPV-ARI, mesmo sendo o cimento com menor equivalente alcalino entre os avaliados, pode ser justificado por sua elevada pureza e ausência de adições capazes de controlar o desenvolvimento da reação álcali-agregado. De forma análoga, o bom desempenho do CPIV-RS tem como justificativa seu teor de até 50% de adição de material pozolânico, que promove reações capazes de inibir a RAA no cimento Portland. Desta forma, conclui-se que, além do equivalente alcalino, a presença de adições também tem uma grande influência na reação álcali-agregado no cimento Portland.

6. REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-1, **Agregados – Reatividade álcali-agregado**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653, **Materiais pozolânicos -Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete**. C618-19. Philadelphia, United States of America, 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1260. **Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.

BATTAGIN, A.; SILVEIRA, A.L.; MUNHOZ, F.; BATTAGIN, I. Associação Brasileira de Cimento Portland. **A evolução da cultura da prevenção da reação álcali-agregado no mercado nacional**. In: Concreto e construções. Ano 44. Ed. Ibracon, Jul-Set 2016.

BALABUCH, T. J. R.; FELIX, E. F.; CARRAZEDO, R. **Modelagem numérica do concreto sujeito à reação álcali-agregado acoplada aos efeitos de retração e fluência**. 2019.

BALABUCH, Tito José Rodrigues. **Análise numérica das deformações do concreto sujeito à reação álcali-agregado considerando os efeitos de retração e fluência**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BONATO, Luciano Cezar. Reação alcali-agregado, principais causas e estudo de reatividade potencial. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. Guia Básico de Segurança de Barragens, São Paulo, 1999.

DOLAR-MANTUANI, Ludmila. Handbook of concrete aggregates: A petrographic and technological evaluation. **NOYES DATA CORP., MILL RD. AT GRAND AVE., PARK RIDGE, NJ 07656, USA, 1983, 345**, 1983.

HOBBS, D. W.. **Alkali-silica reaction in concrete**. London: 1988.

MONTEIRO, P.J.M.; PREZZI, M. ; SPOSITO, G. The alkali-silica reaction, part I ACI Materials Journal, USA, v. 94, n. 1, p. 10-17, jan. 1997.

MEHTA, P. K.. **Concreto Sustentável**. Revista Técnica. São Paulo: 2008.

POOLE, A.B. Introduction to alkali-aggregate reaction in concrete. In: SWAMY, R. M. (Ed.). **The Alkali-aggregate reaction in concrete**. New York: Taylor & Francis Elibrary, 2003. p. 1-29.

PAULON, V. A. Reações álcali-agregado em concreto. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 125, 1981.

SANCHES, L.F.M. Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação das reações álcali-agregado em concretos. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2008. 170p.

SANCHEZ, L., KUPERMAN, S., HELENE, P. **Reação álcali-agregado – Método Acelerado Brasileiro de Prismas de Concreto (ABCPT)**. Anais de 50º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2008 – 50CBC0223, 2008.

TIECHER, Francieli. **Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado**. UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Revisão sobre a influência da corrosão em estruturas de concreto armado e seus principais métodos de proteção e reabilitação

B. B. Mariani^{1*}, M. S. C. Silva²

*Autor de Contato: brunabmariani@gmail.com

¹ Área 1 - Faculdade de Ciência e Tecnologia, ÁREA1/CBES, Salvador-BA, Brasil.

² Área1 – Faculdade de Ciência e Tecnologia, ÁREA 1/CBES, Salvador-BA, Brasil.

Resumo

Embora o concreto armado seja considerado um composto de alta durabilidade, alguns mecanismos de degradação podem levar à sua deterioração. A degradação associada à corrosão é uma das principais manifestações patológicas relacionadas à deterioração das estruturas de concreto armado. Por isso, estudos que buscam medidas de proteção do aço, contra os efeitos da corrosão são essenciais. O presente estudo faz uma pesquisa bibliográfica a respeito dos processos de degradação de armaduras de estruturas de concreto armado devido à contaminação por cloretos e por carbonatação, além de apresentar seus principais métodos de proteção e reabilitação. Os resultados da pesquisa demonstraram que os métodos de proteção, quando utilizados corretamente, possuem grande potencial para aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: Degradação de Estruturas; Concreto Armado; Corrosão.

Resumen

Aunque el hormigón armado se considera un material compuesto de gran durabilidad, algunos mecanismos de degradación pueden provocar su deterioro. La degradación asociada a la corrosión es una de las principales manifestaciones patológicas relacionadas con el deterioro de las estructuras de hormigón armado. Por tanto, son fundamentales los estudios que busquen medidas para proteger el acero de los efectos de la corrosión. El presente estudio realiza una investigación bibliográfica sobre los procesos de degradación de armaduras de estructuras de hormigón armado por contaminación por cloruros y carbonatación, además de presentar sus principales métodos de protección y rehabilitación. Los resultados de la investigación mostraron que los métodos de protección, cuando se utilizan correctamente, tienen un gran potencial para aumentar la durabilidad de las estructuras de hormigón armado.

Keywords: Degradación de Estructuras; Concreto armado; Corrosión.

Resumo

Although reinforced concrete is considered a highly durable composite, some degradation mechanisms can lead to its deterioration. Degradation associated with corrosion is one of the main pathological manifestations related to the deterioration of reinforced concrete structures. Therefore, studies that seek measures to protect steel against the effects of corrosion are essential. The present study makes a bibliographical research about the reinforcement degradation processes of reinforced concrete structures due to chloride and carbonation contamination, besides presenting its main protection and rehabilitation methods. The research results showed that protection methods, when used correctly, have great potential to increase the durability of reinforced concrete structures.

Keywords: Degradation of Structures; Reinforced Concrete; Corrosion.

1. INTRODUÇÃO

A corrosão é uma das manifestações patológicas mais recorrentes em estruturas de concreto armado. Trata-se do processo em que o metal presente no aço das armaduras, interage com o meio ambiente, ocorrendo uma diferença na concentração de íons dissolvidos no interior do concreto (RIBEIRO et al. 2018), podendo estar associada à fatores físicos (causados por variação de temperatura), mecânicos (vibrações e erosão), biológicos (micro-organismos) e químicos, que estão associados à presença de agentes agressores e contaminantes.

A deterioração de estruturas devido à corrosão da armadura é um dos principais problemas associados à durabilidade do concreto e, tanto a gravidade do problema, como a frequência de ocorrência de corrosão da armadura, evidenciam a necessidade de buscar soluções que contribuam para minimizar a incidência e evolução do processo corrosivo nas estruturas de concreto (VIEIRA, 2003).

Desta forma, considerando a necessidade de aprofundamento do tema e os grandes prejuízos às estruturas, gerados pela corrosão, o presente artigo buscou fazer uma pesquisa bibliográfica, sobre os mecanismos de deterioração das estruturas, investigando a deterioração precoce do concreto armado influenciada pela corrosão, uma das principais causas da degradação em estruturas de concreto, apresentando métodos de prevenção e recuperação.

2. CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto é um material compósito, não inerte, altamente utilizado na indústria da construção civil devido à disponibilidade de materiais para sua fabricação e uma diversificada aplicação, desde simples estruturas habitacionais até grandes e complexas obras. É constituído basicamente de cimento, água e agregados (grauído e miúdo) aditivos químicos e armaduras.

O aço presente no concreto encontra-se envolto em uma proteção física, onde a espessura do revestimento representa uma barreira física, que dificulta a entrada de agentes agressivos. Quando o concreto que envolve a armadura não é executado de forma correta, a espessura de revestimento da armadura, pode não atuar como uma barreira, permitindo assim, a penetração de agentes agressivos, como o dióxido de carbono (CO_2) e os íons cloro (Cl^-), que são os principais responsáveis pela corrosão nas estruturas de concreto armado (OLIVEIRA, 2017).

2.1 Princípios da Corrosão

A corrosão é a deterioração de um material, metálico ou não metálico, como polímeros, concretos (compósitos) e cerâmicos, pela ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar ligada ou não a esforços mecânicos. No caso das estruturas em concreto, a corrosão pode se apresentar em diferentes formas, comprometendo um ou vários trechos ao longo da estrutura, podendo ser classificada das seguintes formas: uniforme, puntiforme ou por pite, intergranular, transgranular e fragilidade pelo hidrogênio.

A corrosão uniforme ou generalizada ocorre quando toda extensão da armadura é exposta ao agente agressor, ocasionando reações de oxidação e perda uniforme de espessura. O ataque uniforme é uma forma de corrosão eletroquímica que ocorre com intensidade equivalente ao longo da totalidade de uma superfície exposta, frequentemente deixando para trás uma incrustação ou um depósito (CALLISTER, 2002).

Na corrosão puntiforme ou por pite há um desgaste em pontos ou áreas localizadas, denominadas de pites. Pites são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior do que o seu diâmetro (GENTIL, 2014).

Segundo Gentil (2014), a corrosão intergranular é a que se processa entre os grãos da rede cristalina do material metálico. Quando submetida a solicitações mecânicas, pode sofrer fratura frágil,

perdendo toda condição de utilização. Já a corrosão transgranular é a que se processa em intragrãos da rede cristalina, levando também a fratura quando houver sollicitação mecânica.

Já a corrosão ocasionada pelo hidrogênio atômico é chamada de fragilização por hidrogênio, a qual se difunde para o interior do aço ocasionando a fragilização da armadura e conseqüentemente uma possível fratura na armadura.

Segundo Vieira (2010), a corrosão também pode ser classificada segundo a natureza do processo em química e eletroquímica. A deterioração química, também chamada seca ou oxidação, ocorre na ausência de água e em temperatura acima do ponto de orvalho, ocorre por uma reação gás-metal e forma uma película de óxido. É um processo lento e não provoca deterioração na superfície metálica, exceto se existirem gases agressivos na atmosfera. No concreto armado pode atingir a pasta cimento e os agregados, causando expansão do concreto, lixiviação, vulnerabilidade a ácidos, dentre outras manifestações. A deterioração eletroquímica é o processo de corrosão mais comum na natureza. Ocorre na presença de água líquida devido à formação de pilhas eletroquímicas ou células de corrosão, atacando a armadura do concreto.

O processo de corrosão das armaduras no interior do concreto pode ser classificado como corrosão eletroquímica, que por sua vez ocorre em meio aquoso, havendo a necessidade de um eletrólito, diferença de potencial, oxigênio e agentes agressivos (CANTUÁRIA, 2005).

Andrade (2001), explica que o mecanismo de corrosão eletroquímica é baseado na existência de um desequilíbrio elétrico que pode ocorrer entre metais diferentes ou entre partes distintas de um mesmo metal, configurando o que se chama de pilha de corrosão ou célula de corrosão.

No caso do concreto armado, o processo de corrosão eletroquímica é consequência do fluxo de íons e elétrons entre a região anódica e catódica, através de um eletrólito, que é a própria extensão da armadura. O ferro (Fe), metal presente entre 95 a 97% do aço, libera íons de ferro para o meio iônico, e elétrons fluem do ânodo para a região catódica através do meio eletrônico, onde reage com o oxigênio e a água, dissolvidos no eletrólito formando íons hidroxila (OH^-). A água presente na interface entre o concreto e a armadura conduz a hidroxila de volta ao ânodo, a qual reage com os íons de ferro, gerando hidróxido de ferro. A representação esquemática do processo de corrosão eletroquímica é apresentada através da Figura 1.

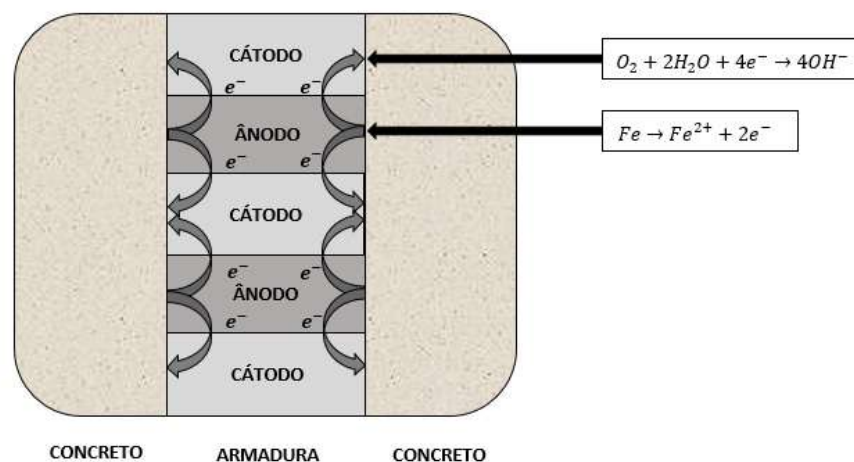


Figura 1 – Representação do processo de corrosão eletroquímica (Adaptado de SOUSA, 2018). A presença das regiões anódica e catódica implica na formação de uma pilha eletroquímica. Portanto, como em uma superfície metálica está presente um grande número de microrregiões anódicas e catódicas, há a formação de uma grande quantidade de pilhas eletroquímicas. A presença de diferentes potenciais eletroquímicos que resultam na formação da pilha é causada pela ocorrência de heterogeneidades físicas e/ou químicas na superfície (CALDAS, 2003).

O Diagrama de Pourbaix (Figura 2) se baseia em dados da termodinâmica para determinar o comportamento e a estabilidade do metal em três domínios: imunidade, passivação e corrosão. O estágio inicial é denominado domínio de imunidade, onde o metal se encontra abaixo do seu potencial de equilíbrio, permanecendo estável para todos os valores de pH. Nesse estágio não há ocorrência de corrosão. No domínio de passivação o metal é coberto por uma fina camada de óxidos e hidróxidos, conhecida como camada de passivação, a qual atua como mecanismo de proteção, impedindo que a corrosão avance no metal. No domínio de corrosão ocorre uma instabilidade na camada passivadora que ocasiona a corrosão no metal.

Nas estruturas em concreto armado, a elevada alcalinidade do concreto (pH entre 12,5-13,5) favorece a formação de uma película passivadora protetora envolta do aço, resultante de uma reação eletroquímica no domínio de passivação.

Existem algumas teorias para explicar a composição da película passivadora, a mais aceita aponta a formação de uma película composta de duas camadas: uma mais interna, composta principalmente por magnetita e outra mais externa, composta por óxidos férricos (NAGAYAMA; COHEN, 1962 *apud* FIGUEIREDO; MEIRA, 2013).

De acordo com o Diagrama de Pourbaix (Figura 2), a armadura se mantém estável em domínio de passivação desde que o concreto apresente valores de pH superiores a 9 em uma faixa usual de potencial de corrosão de +100mV a -400mV em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio. Dessa forma, o concreto proporciona uma alta proteção contra corrosão à armadura, como verificado na Figura 2(a). Quando o metal se encontra em contato com soluções contendo íons cloretos, caso das armaduras de concreto contaminado por cloretos, a armadura estará estável baixando o potencial de corrosão para a zona de passivação perfeita do diagrama de Pourbaix (potencial X pH) para sistema ferro-água com cloretos, como pode ser observado na Figura 2 (b). No caso de estruturas novas, o potencial de proteção deve estar na zona de passivação imperfeita, na qual não é possível o início de corrosão por pites na superfície passiva (RIBEIRO *et al.*, 2018).

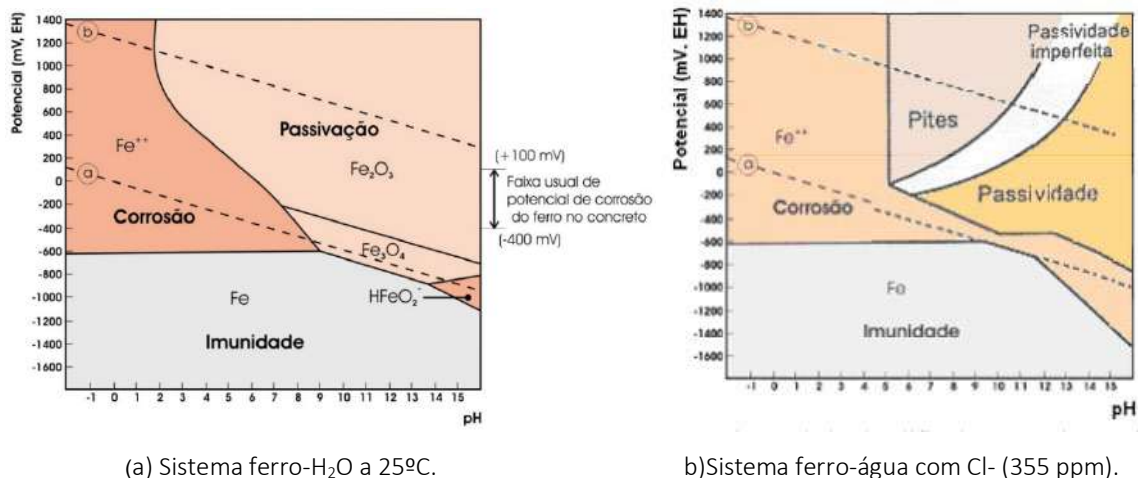


Figura 2. Diagrama de Pourbaix (potencial X pH) (SANTOS, ALBUQUERQUE E RIBEIRO, 2016).

O processo de corrosão ocorre por um desequilíbrio eletroquímico no interior do concreto, devido à penetração de agentes agressores que alteram as condições internas de equilíbrio, destruindo a camada passivadora da armadura. Segundo a ABNT NBR: 6118:2014, os dois principais agentes agressores causadores da despassivação são os íons cloretos e a carbonatação devido, principalmente, ao gás carbônico presente na atmosfera ou em águas agressivas.

a) Carbonatação

Na carbonatação, o dióxido de carbono (CO_2) penetra nos poros do concreto reagindo com a água (H_2O) e com o hidróxido de cálcio, ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), proveniente das reações de hidratação da pasta cimento, formando o carbonato de cálcio insolúvel (CaCO_3). A carbonatação tem sempre o carbonato de cálcio como produto, o qual diminui o pH do concreto de 12,6 a 13,5 para valores próximos de 8,5 a 9, possibilitando a quebra da camada passivadora do aço, acelerando assim seu processo de deterioração, como mostra a Figura 3.

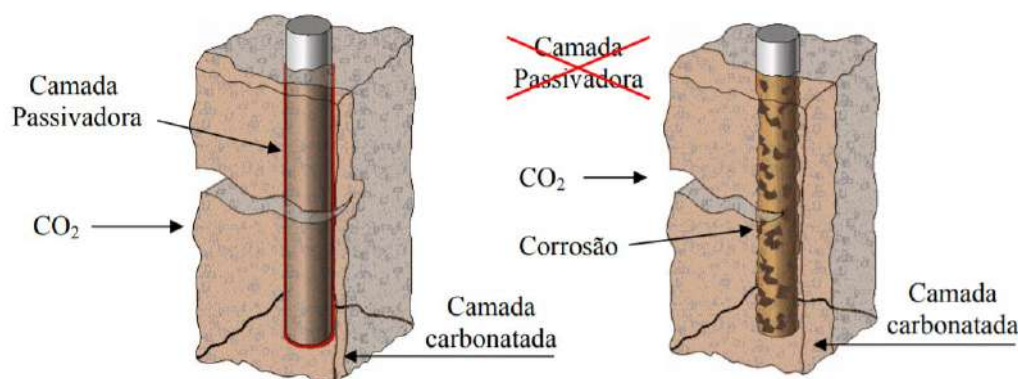


Figura 3 – Representação esquemática da frente de carbonatação (Adaptado de Tutti *et al.*, 2000).

Segundo Montenor, as reações oriundas do processo de carbonatação ocorrem em quatro etapas - 1ª Etapa: Penetração gasosa do dióxido de carbono (CO_2) no interior do concreto; 2ª Etapa: O dióxido de carbono (CO_2) dissolvido nos poros do concreto reage com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); 3ª Etapa: Reação com os silicatos e aluminatos; 4ª Etapa: O produto final da reação de carbonatação é sempre carbonato de cálcio insolúvel, que, ao se difundir nos poros do concreto, reduz o índice de porosidade, criando assim uma zona de pH distintos.

b) Ação de Íons Cloreto

Dentre os agentes agressores mais comuns do concreto armado temos os íons cloreto (Cl^-), os quais atuam tanto no concreto, quanto na armadura, destruindo a camada passivadora do aço, independente do nível de alcalinidade do concreto. As reações abaixo demonstram como o Cl^- se comporta no interior do concreto armado, mostrando sua influência, tanto no concreto, quanto na armadura.

O íon cloreto (Cl^-) reage com a água formando o ácido clorídrico (HCl), o qual baixa o pH do concreto, quebrando a camada passivadora do aço.

O íon cloreto (Cl^-) reage com íon ferro (Fe) formando o cloreto férrico (FeCl_3), o qual reage com a hidroxila (2OH^-), resultando em hidróxido de ferro $\text{Fe}(\text{OH})_2$ e em uma sobra de íons cloreto disponíveis para reagir novamente, tornando cíclico o processo de reação no interior da estrutura. Diferente da carbonatação, a despassivação da armadura por íons cloreto pode ocorrer independente da alcalinidade do concreto, sendo necessária apenas a presença de Cl^- nas proximidades da armadura para acontecer. O processo de corrosão causado por íons cloreto não acontece de forma generalizada, como na carbonatação, mas ocorre de maneira localizada e pontual, e se dando em forma de pites, como mostra a Figura 5.

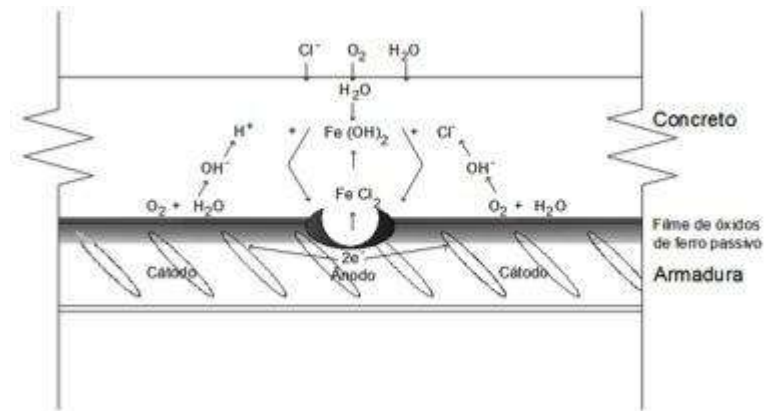


Figura 5. Formação do pite de corrosão pela ação dos cloretos (TREADAWAY, 1988).

O ataque de íons cloreto tende a ocorrer com maior frequência em regiões litorâneas, devido à exposição das estruturas ou sua proximidade com mar. O vento exerce papel importante no processo, pois arrastam os íons cloreto presente na atmosfera em direção às estruturas, possibilitando o a penetração de cloretos no concreto.

Dentro do contexto da corrosão das armaduras, há a necessidade de destinar atenção especial à agressividade do macroclima e microclima, haja vista que um dos ambientes de maior agressividade para o concreto armado é a atmosfera salina, principalmente pela ação da maresia, de águas saturadas de sais em contato direto com a estrutura ou névoa salina (FIGUEIREDO, 2005).

2.2 Fatores aceleradores de corrosão

2.2.1 Concentração do dióxido de carbono (CO_2) no meio ambiente

A concentração atmosférica de dióxido de carbono em torno do concreto é um parâmetro importante na velocidade do processo de carbonatação, à medida que quanto maior a quantidade de CO_2 no ambiente externo, mais rapidamente a estrutura tende a ser carbonatada. A taxa de carbonatação é igualmente superior em ambientes fechados, devido à renovação do ar não ser constante como em ambientes abertos, o que explica o alto índice de incidência de carbonatação em garagens cobertas, proveniente da emissão do CO_2 oriundo da exaustão de veículos. O CO_2 está presente em cerca de 0,03% do volume de ar atmosférico, sendo assim, a NBR 6118/2014 classifica a agressividade do meio em relação a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera.

2.2.2 Umidade relativa do ar

A carbonatação é um processo físico-químico, isto quer dizer que para que o gás carbônico difuso nos poros do concreto inicie o processo de reação, é necessário que haja a presença de um meio aquoso, um eletrólito que permita que o CO_2 reaja com o hidróxido de cálcio, originando o carbonato de cálcio. Desse modo, o teor de umidade exerce um papel importante na velocidade em que a carbonatação acontece. Nos poros secos, o gás carbônico consegue penetrar mais facilmente, porém não ocorrem reações devido à ausência de um meio aquoso. Em contrapartida, quando os poros do concreto estão saturados, a velocidade de difusão é relativamente mais lenta, pois a velocidade em que o CO_2 se difunde na água é quatro vezes menos do que no ar, como mostra a Figura 6.

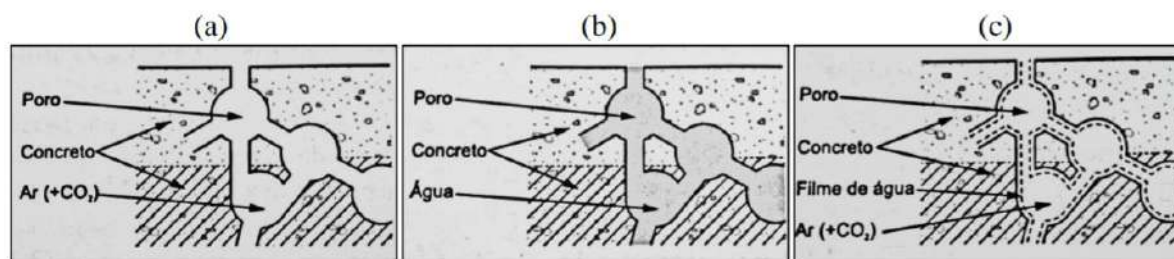


Figura 6. Representação esquemática da carbonatação do concreto: a) poros totalmente secos; b) poros saturados com água; c) poros parcialmente preenchidos com água (concreto com umidade relativa normal ao meio). Adaptado de Cascudo et al. (1997).

Segundo Gouthier (2012), se os poros estiverem totalmente saturados, não ocorrerá carbonatação, mas ocorrerá difusão iônica dos cloretos. Se os poros estiverem parcialmente saturados, ocorrerá tanto carbonatação quanto penetração dos cloretos. Se os poros estiverem completamente secos, não ocorrerá carbonatação, mas poderá ocorrer o ataque por cloretos, caso os mesmos entrem em contato com o concreto através de umidade do ar (caso das estruturas situadas em ambiente de atmosfera marinha), o que permitiria a penetração de íons cloretos por difusão iônica.

A temperatura apresenta uma grande influência sobre os coeficientes de difusão, sendo que a dependência do coeficiente de difusão com a temperatura pode ser expressa pela lei de Arrhenius, na qual o incremento de temperatura provoca o incremento da velocidade das reações químicas segundo uma lei exponencial (CALLISTER, 2002).

2.2.3 Características do concreto

A qualidade do concreto exerce grande influência sobre a porosidade da estrutura. Concretos mais porosos facilitam a difusão de agentes contaminantes para o interior da estrutura. A relação água/cimento define as características dos poros do concreto, influenciando diretamente sua qualidade. Quanto menor a relação a/c, maior será a resistência do concreto e a proteção contra agentes agressores, em contra partida, quanto maior a relação, maior será a porosidade da pasta de cimento endurecido, o que torna o concreto mais vulnerável a difusão de CO_2 e íons cloreto, e, portanto, mais suscetível a degradar.

Outro fator de influência direta na qualidade é o tempo de cura. Bazan (2014) explica que quanto maior o tempo e a qualidade do processo de cura, maior será o ganho das propriedades do concreto, apresentando uma menor porosidade e conseqüentemente uma menor permeabilidade a agentes agressores.

O concreto atua não apenas como uma proteção eletroquímica para as armaduras, mas também como uma barreira física, sendo assim, a altura de cobertura adequada retarda o tempo em que agentes agressores dissolvidos no concreto possam chegar até as armaduras. A NBR 6118:2014 relaciona os cobrimentos mínimos necessários, em função da classe de agressividade em que a estrutura está exposta.

2.3 Métodos de Proteção

2.3.1 Revestimentos

A definição do tipo de revestimento a ser utilizado para proteção de fachadas de edificações, não deve ser realizada levando em consideração apenas o aspecto estético, tendo em vista que os materiais que

irão compor o revestimento devem apresentar uma boa resistência às ações externas. Os principais tipos de revestimentos utilizados para esta finalidade são os revestimentos argamassados, cerâmicos e pétreos (NASCIMENTO, 2016). Se tratando de estruturas de concreto armado, sua função é envolver a superfície do concreto, impedindo a entrada de agentes agressores. Nesse caso, além da camada de cobrimento de concreto, que atua como uma barreira de proteção física para as armaduras, é criada uma camada extra de proteção. Além dos métodos de revestimentos convencionais, estudos apontam que revestimentos de geopolímeros à base de metaculim e revestimentos argamassados modificados com polímeros, apresentam efeitos ainda mais retardadores da penetração de cloretos no concreto (AGUIRRE-GUERRERO; ROBAYO-SALAZA; GUTIÉRREZ, 2017; BRENNAN *et al.*, 2013).

Além disso, revestimentos acrílicos também oferecem um nível de proteção satisfatório contra a carbonatação, enquanto os revestimentos elastoméricos podem proteger os vergalhões da corrosão de íons cloreto (ZAFEIROPOULOU; RAKANTA; BATIS, 2011).

2.3.2 Inibidores de corrosão

Inibidor de corrosão é um composto químico que quando introduzido no concreto em quantidades reduzidas, pode evitar ou diminuir corrosão das armaduras sem afetar negativamente as propriedades físicas ou microestrutura do concreto (POLITO, 2006).

Em estruturas que sofrem com a corrosão, os inibidores podem ser utilizados como aditivos no concreto de reparação, ou em pontos específicos, a depender do percentual de degradação. O tipo mais comum utilizado nas estruturas é o nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), um inibidor anódico que ao reagir com o íon ferroso cria uma película aderente de óxido de ferro ao redor da armadura.

Os inibidores podem ser utilizados em diferentes aplicações, o mais recomendado é a adição junto à pasta de cimento como método preventivo em novas estruturas. Pode-se aplica-los também juntamente com argamassa de proteção durante o processo de reabilitação em estruturas já degradadas, bem como pintura de revestimento no exterior das estruturas.

Apesar da ampla utilização no processo de recuperação, a aplicação recomendável dos inibidores é durante o período de concepção das estruturas. A adição de inibidores na pasta cimento retarda o processo de corrosão, prolongando a vida útil da estrutura. Segundo Grosser (2015), os inibidores são de fácil aplicação e oferecem a vantagem de utilização in-situ sem causar problemas durante o processo.

De acordo com a origem, podem ser sintéticos, que são produzidos artificialmente e naturais, que não são agressivos ao meio ambiente. Segundo sua constituição química, os inibidores podem ser classificados de acordo com sua natureza em orgânicos ou inorgânicos.

Os inibidores orgânicos incluem principalmente aminas e ésteres. Eles oferecem proteção pela adsorção e formação de um filme monomolecular na superfície da armadura e às vezes retardam a chegada de íons cloretos na armadura. Normalmente, há um grupo de moléculas orgânicas que se adsorvem ao metal e uma cadeia não polar hidrofóbica orientada perpendicular a esta superfície (FREIRE, 2005).

Algumas investigações têm sido feitas recentemente sobre o uso de substâncias naturais para a inibição de corrosão dos metais em ambientes ácidos. Pesquisas de substâncias naturais inibidoras da corrosão têm atraído uma atenção considerável porque elas possuem um baixo custo, são propícias ecologicamente e não constituem uma ameaça ao ambiente (BOLINA, 2008).

2.3.3 Proteção Catódica

A proteção catódica é um método eletroquímico utilizado no processo de oxirredução para controle da corrosão. Consiste na aplicação de uma fonte externa de energia ligada ao ânodo, que seja mais eletronegativa que o aço em estado de corrosão, a fim de produzir uma corrente catódica contínua

entre a armadura e o eletrodo externo, revertendo o potencial de corrosão e assumindo o papel do ânodo, tonando então a armadura catódica. A zona posterior de abrangência se torna zona neutra, ou seja, não suscetível à corrosão.

A aplicação da corrente de proteção reduz a velocidade de corrosão do metal, baixando o potencial, para valores inferiores ao potencial de equilíbrio do metal no meio ambiente exposto, isto é, para a zona de imunidade do diagrama potencial-pH, ou para a zona de passivação, dependendo do metal e do ambiente a que está exposto. Na prática, não é necessário eliminar completamente a corrosão (proteção total ou imunidade), mas sim reduzir a velocidade de corrosão para valores insignificantes (LOURENÇO, 2014).

Existem dois métodos principais para aplicação da proteção catódica: método por do ânodo galvânico ou ânodo por sacrifício e método tradicional por corrente impressa. Na proteção por ânodos de sacrifício o metal a proteger é conectado diretamente a um metal ativo com potencial de corrosão inferior, que se dissipa gradualmente, gerando assim uma corrente iônica entre o ânodo e a armadura. Os metais mais utilizados como ânodos de sacrifício são: zinco, ligas de magnésio e algumas ligas de alumínio. No método por corrente impressa utiliza-se um gerador exterior de corrente contínua ligada ao anodo. O cátodo é a superfície da armadura e o concreto o eletrólito. O método por corrente impressa é o mais utilizado em estruturas de concreto armado em contato com a atmosfera.

Segundo SOUZA (2014), a corrente elétrica gerada no processo também provoca modificações químicas no concreto. A principal reação que ocorre na interface entre o concreto e o aço é a redução de oxigênio e a produção de íons hidróxido, como mostra a Figura 7.

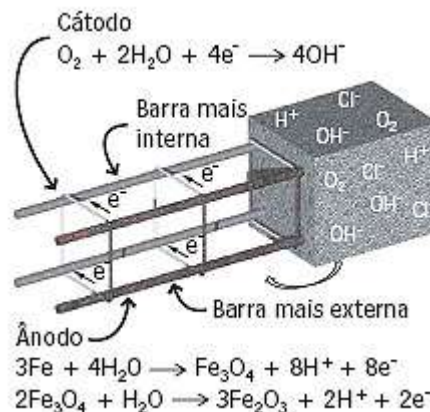


Figura 7. Representação esquemática da produção de íons hidróxido. Fonte: Adaptado de Vieira et al. (2010).

Apesar de contribuir para o aumento do pH do concreto e da restauração da camada passivadora, a produção de hidrogênio pode causar fragilidade na armadura por consequência da penetração do hidrogênio atômico.

A reparação da estrutura degradada requer a eliminação superficial do concreto danificado ao redor da zona de exposição. Neste caso deve-se analisar a deterioração no interior, caso haja uma perda de 10% da seção nominal de projeto, é necessário que haja um reforço estrutural. Caso contrário, deve ser feita a retirada do concreto para que se realize uma limpeza nas armaduras e a instalação do ânodo por sacrifício ou do gerador de corrente iônica, tornando toda a superfície das armaduras em cátodo. A zona posterior de abrangência se torna então uma zona neutra, ou seja, não gera corrosão. Após a estabilidade do processo, o concreto é recomposto através da aplicação de uma argamassa de reparação.

2.4 Métodos de Recuperação

2.4.1 Realcalinização

A realcalinização é um procedimento empregado para reestabelecimento do pH do concreto carbonatado utilizando soluções de álcalis, com ou sem o uso de corrente elétrica, para níveis alcalinos que possibilitem a reconstituição da película passivadora do aço. É considerada tanto uma medida preventiva, quanto corretiva, e apresenta a vantagem de não exigir a retirada prévia do concreto carbonatado.

Segundo Araújo (2009), existem três métodos para a realcalinização do concreto. O primeiro é através da difusão e absorção de uma solução alcalina para o interior do concreto, através de ação capilar e forças hidráulicas, sem que haja a qualquer dependência de campo elétrico e de fluxo de corrente (realcalinização química), como mostra a Figura 8. O segundo e o terceiro são considerados realcalinização eletroquímica. O segundo ocorre através da produção de íons hidroxila, devido à reação catódica na superfície das armaduras, como mostra a Figura 9. E o terceiro ocorre através de um fluxo-osmótico, que transporta a solução alcalina para o interior dos poros.

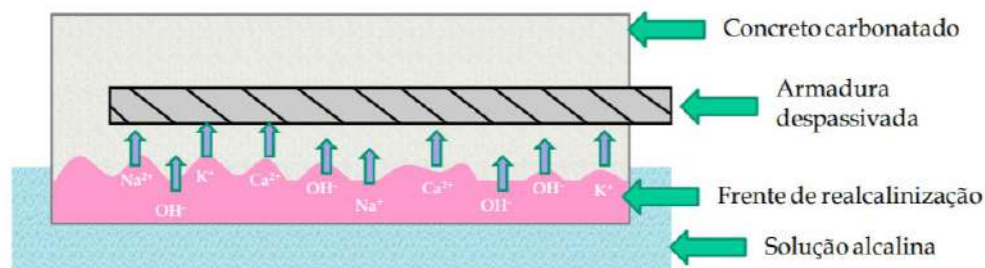


Figura 8. Esquema da realcalinização química. Adaptado de Araújo et al. (2004).

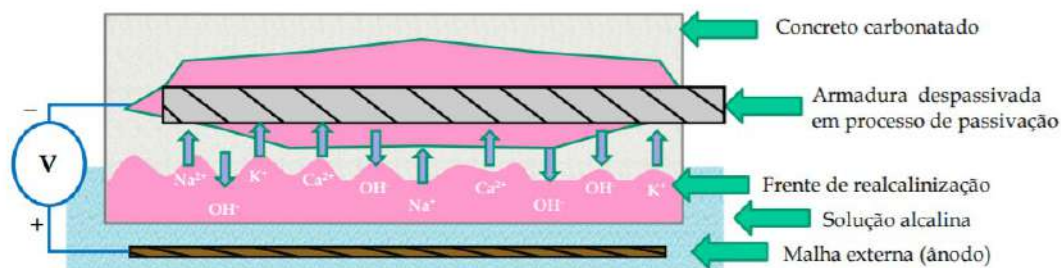


Figura 9. Princípio da realcalinização eletroquímica. Adaptado de Araújo et al. (2004).

2.4.1 Dessalinização

A dessalinização, também chamada de extração eletroquímica de cloretos, é o processo de restauração da estrutura degradada que consiste em remover os íons cloreto mediante a aplicação de uma corrente elétrica contínua, sem que haja a necessidade da retirada do concreto contaminado. Monteiro (2002) explica que a dessalinização consiste na aplicação de um campo elétrico entre a armadura no interior do concreto e um eletrodo constituído por uma malha metálica fixada externamente à superfície do concreto e colocada no interior de um reservatório de eletrólito. Com a aplicação da corrente, íons negativos são atraídos para o ânodo colocado externamente a

superfície do concreto. Ocorre também a migração de cátions (Na^+) para as armaduras e produção de íons hidroxila (OH^-) na superfície das armaduras, como consequência das reações catódicas. Esse processo está descrito abaixo, pela Figura 10, bem como seus elementos e a movimentação dos íons cloretos.

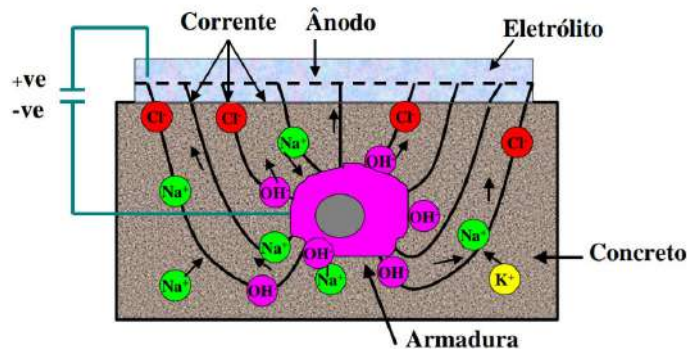


Figura 10. Princípios da extração eletroquímica de cloretos. Fonte: Adaptado de NCT *et al.* (1996).

3. CONCLUSÕES

A corrosão nas armaduras do concreto armado pode ser evitada utilizando métodos de proteção aplicados diretamente na armadura ou na mistura do concreto. Além disso, proteger a superfície do concreto a partir de métodos de revestimento adequados também é imprescindível. Esses produtos de proteção de superfície tendem a elevar a vida útil do concreto armado e das edificações em geral.

Nos ataques causados por carbonatação, utilizam-se mais frequentemente como métodos de proteção, as técnicas de aplicação de revestimentos e inibidores de corrosão. Podendo-se utilizar a realcalinização para recuperação de estruturas carbonatadas. Já para a degradação causada por íons cloreto, o método de proteção mais utilizado e também mais frequente na literatura é a proteção catódica.

4. AGRADECIMENTOS

Área 1 - Faculdade de Ciência e Tecnologia, ÁREA1/CBES, Brasil

5. REFERENCIAS

AGUIRRE-GUERRERO, A. M.; ROBAYO-SALAZAR, R.A.; GUTIÉRREZ, R. M. A novel geopolymer application: Coatings to protect reinforced concrete against corrosion. Applied Clay Science, Volume 135, Pages 437-446, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 238p. Rio de Janeiro, 2014.

ANDRADE, J.J.O. Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: Iniciação por cloretos. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001, 249 p

- BAZAN, G.C.G. Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo. Trabalho de Conclusão de curso. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2014, 151 p.
- BOLINA, C.D.C. Inibidores de corrosão: Avaliação do desempenho frente a corrosão do aço induzida por carbonatação e cloretos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiânia: 2008.
- BRENNA, A.; BOLZONI, F.; BERETTA, S.; ORMELLESE, M. Long-term chloride-induced corrosion monitoring of reinforced concrete coated with commercial polymer-modified mortar and polymeric coatings. *Construction and Building Materials*, Volume 48, Pages 734-744, 2013.
- CANTUÁRIA, L.L.; CARDOSO, E.N. Análise do processo de passivação das armaduras no concreto. Trabalho de conclusão de curso. Coordenação de Construção Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Goiânia: 2005, 81 p.
- CASCUDO, Oswaldo. O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas. 1ª ed. Goiânia: Editora UFG, 1997. 237p.
- CEB. Durability of concret structures. Report of CEB-RILEM Internacional Workshop. Copenhagen: 1983; CEB Bulletin D'Information. N9 152, 1984.
- FIGUEIREDO, Enio Pazini. Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. Cap.27, p.829-855.
- GENTIL, V. Corrosão. 6ª ed, Rio de Janeiro: LTC, 2014. 210-221 p.
- GOUTHIER, M, R. Deterioração das estruturas de concreto armado – estudo de caso. Dissertação de especialização em engenharia civil. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2012.
- GROSSER, F. N. Inibidores orgânicos de corrosão – Estudos com compostos naturais, obtidos de diversas espécies de mentas. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, julho de 2015.
- LOURENÇO, M. Zita. Corrosão em estruturas de concreto armado: técnicas Eletroquímicas para a reabilitação de estruturas. 1º edição, Rio de Janeiro, Elsevier, 2014.
- NASCIMENTO, MATHEUS LEONI MARTINS. Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios. [Distrito Federal] 173p., ENC/FT/UnB, Mestrado em Estruturas e Construção Civil, 2016.
- Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
- OLIVEIRA, G. A. Avaliação da durabilidade de concretos contendo agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCC). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.
- POLITO, G. Corrosão em estruturas de concreto armado: Causas, mecanismos, prevenção e recuperação. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2006, 191 p.
- RIBEIRO, D. V. Corrosão. In: RIBEIRO, D. V; SALES, A.; SOUSA, C. A. A.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z.; HELENE, P. *Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- SOUZA, C, A, C. Corrosão em estruturas de concreto armado: Métodos de proteção e aumento da durabilidade do concreto armado. In: RIBEIRO, D. V. 1º edição, Rio de Janeiro, Elsevier, 2014.
- VIEIRA, F.M.P. Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concretos com adição de sílica ativa. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2010, 242 p.
- ZAFEIROPOULOU, T.; RAKANTA, E.; BATIS, G. Performance evaluation of organic coatings against corrosion in reinforced cement mortars. *Progress in Organic Coatings*, Volume 72, Issues 1–2, Pages 175-180, September–October 2011.

PATOLOGIA DE EDIFICAÇÕES NO ESTADO DO PARÁ

S. RAIOL^{1*}, D. OLIVEIRA², P. HELENE³

*Autor de contato: socorroraiolb22@gmail.com

¹Instituto de Criminalística, Centro de Perícias Científicas “Renato Chaves”, Pará, Brasil

² Universidade Federal do Pará, Pará, Brasil

³ Universidade de São Paulo USP, PHD Engenharia, São Paulo, Brasil

RESUMO

Este estudo é sobre as manifestações patológicas em edificações no Estado do Pará, suas origens, agentes causadores, mecanismos de ocorrências e consequências, e conforme a sua extensão, as manifestações patológicas podem levar a edificação ao colapso. Para tanto foi realizada a análise que correspondeu ao registro de 2879 ocorrências de problemas patológicos, que foram objeto de perícias do Centro de Perícias Científicas “Renato Chaves” do Estado do Pará, entre os anos de 2011 a 2018 e filtrados para 514, os quais atenderam ao tema desta pesquisa, e culminou na demonstração das origens das manifestações patológicas, através de gráficos, inclusive através do método de demonstração e combinação de dados, utilizando o método de georreferenciamento de dados. E para exemplificar são apresentados dois casos periciais de edificações colapsadas.

Palavras-Chaves

Construção civil; patologia das construções; estruturas de concreto.

BUILDINGS' PATHOLOGY IN PARÁ STATE

ABSTRACT

This study is about the pathological manifestations in buildings in the State of Pará, their origins, causative agents, mechanisms of occurrences and consequences, and according to their extension, the pathological manifestations can cause the building to collapse. To this end, the analysis was carried out, which corresponded to the record of 2879 occurrences of pathological problems, which were the subject of expertise from the Center of Scientific Expertise “Renato Chaves” of the State of Pará, between the years 2011 to 2018 and filtered to 514, which met the theme of this research, and culminated in the demonstration of the origins of pathological manifestations, through graphics, including through the method of demonstration and combination of data, using the method of georeferencing data. For example, two expert cases of collapsed buildings are presented.

Key words

Construction; building pathology; concrete structures.

1. INTRODUÇÃO

As construções de modo geral, seja um imóvel, obras de arte especiais e outros, desde sua concepção até a entrega da edificação, necessitam de cuidados técnicos para poderem atender ao

seu objetivo durante sua vida útil, contemplando a durabilidade, desempenho e funcionalidade e atender às necessidades do ser humano como um todo. Entretanto as edificações, com o passar do tempo, vão envelhecendo e, dependendo do ambiente em que estão construídas, vão apresentando problemas crescentes de degradação, comprometendo a sua funcionalidade e estabilidade, Mehta e Monteiro (1994).

Essas doenças podem ser invisíveis ou apresentarem-se como manifestações patológicas que podem ocorrer em qualquer fase da vida da edificação. Após a conclusão da edificação alguns desses problemas patológicos podem ser evitados ou minorados através de manutenção preventiva, e quando forem diagnosticadas, seja na sua supra estrutura como na sua infraestrutura, precisarão de uma terapia, uma adoção de medidas para restabelecer a integridade da edificação, visando o bem estar de seus usuários.

A partir de então surgiu uma ciência para análise desse problema, chamada patologia das construções, que é uma ciência que estuda os sintomas, os mecanismos, os agentes causadores da ocorrência de determinada manifestação patológica, Souza e Ripper (1998).

De acordo com Helene *et al.* (2011), uma manifestação patológica é a expressão resultante de um mecanismo de degradação e a patologia é uma ciência formada por um conjunto de teorias que serve para explicar o mecanismo e a causa da ocorrência de determinada manifestação patológica. Em função disso, fica claro que a patologia é um termo muito mais amplo do que manifestação patológica, uma vez que ela é a ciência que estuda e tenta explicar a ocorrência de tudo o que se relaciona com a degradação de uma edificação.

Diante das considerações abordadas, um dos pontos que chama a atenção é que para reduzir o número de edificações que apresentem muitos problemas patológicos, estas deverão ser submetidas a um programa de manutenção periódica, além de contarem com um projeto e construção em conformidade com as normas técnicas vigentes.

Segundo Cunha *et al.* (1996), as normas brasileiras de projeto de estruturas em concreto, mais especificamente a NBR 6118 (ABNT, 2014), preconizam verificações nos níveis dos estados limites de serviço e estados limites últimos. Portanto, para a análise do colapso de uma estrutura de concreto armado, é indispensável a verificação da estabilidade global da estrutura, referente aos esforços solicitantes através dos carregamentos impostos na estrutura, bem como os deslocamentos e as deformações decorrentes dos efeitos de 2ª ordem, sofridos pela estrutura, afim de determinar se a estrutura executada, atende ao Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU), conforme o que prevê as recomendações do item 10 (Segurança e estados limites) da ABNT NBR 6118.

E para tanto, considerando a complexidade para se identificar de imediato as origens e os agentes causadores, que levam uma edificação ao colapso, Raiol e Maciel (2013) propuseram um roteiro com métodos utilizados, para elucidação das causas de um acidente estrutural em edificações de concreto armado, o qual é submetido ao que preconiza as normas técnicas específicas, referentes a todos os fatores peculiares ao sinistro, e contemplam várias etapas exibidas conforme proposto no fluxograma da Figura 1.

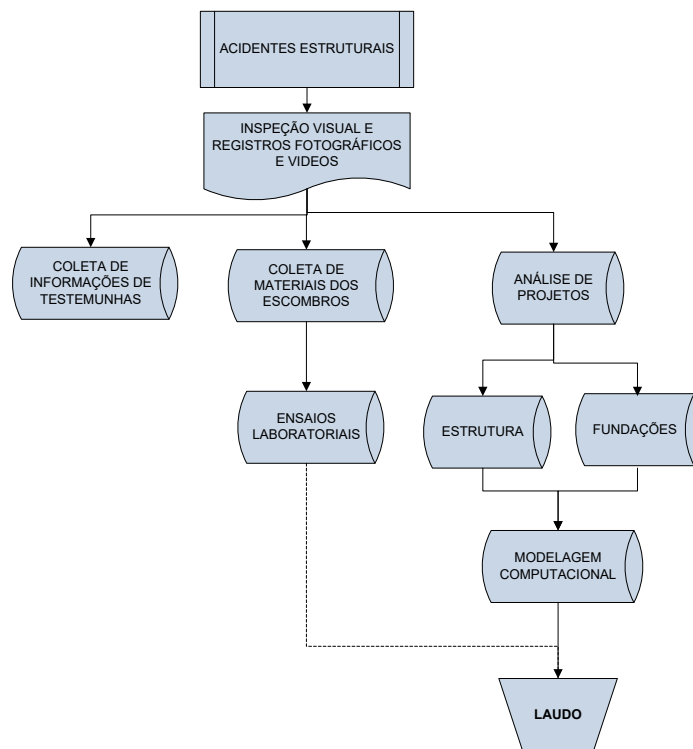


Figura 1: Fluxograma de metodologia para avaliação de acidentes estruturais

2. ACIDENTES NO ESTADO DO PARÁ

No estado do Pará, assim como em outros estados do Brasil e no mundo, a engenharia civil vem sofrendo com falhas, erros e escolhas equivocadas, que podem, inclusive, causar desabamentos, como os já ocorridos nas últimas décadas, conforme, por exemplo, o mostrado na Figura 2.



Figura 2. Desabamento do edifício Raimundo Farias ocorrido em 1987, que apresentava 13 andares, e estava em fase de execução. 39 operários vieram a óbito. Belém/Pa.

Por conta de acidentes como o relatado na Fig. 2, foi constituído o Centro de Perícias Científicas “Renato Chaves” que começou a realizar perícias em edificações em 1990, através do Instituto de Criminalística, setor de Engenharia Legal, que atendeu vários casos importantes entre eles os dois relatados a seguir.

Em 2008 ocorreu o desabamento do reservatório elevado (Figura 3a, 3b e 3c) ocorrido em 2008, situado no município de Marabá, com capacidade para 2.000.000 litros, vitimando fatalmente dois operários. Formato cilíndrico composto de anel externo de 8,25 m de diâmetro e 0,25 m de

espessura e anel interno de 1,45 m de diâmetro e espessura de 0,25 m e altura total de 57,10 m, dividida em seis células.

O diagnóstico indicou que o desabamento ocorreu em virtude do rompimento das lajes intermediárias, no trecho do apoio do pilar central, e do esmagamento da base do pilar externo (anel), no trecho de apoio nas cintas radiais, devido à ausência de armadura de punção nas lajes intermediárias, conforme Laudo de Exame nº 103/2008, Livro 1216, F. 204 a 220 do Instituto de Criminalística.

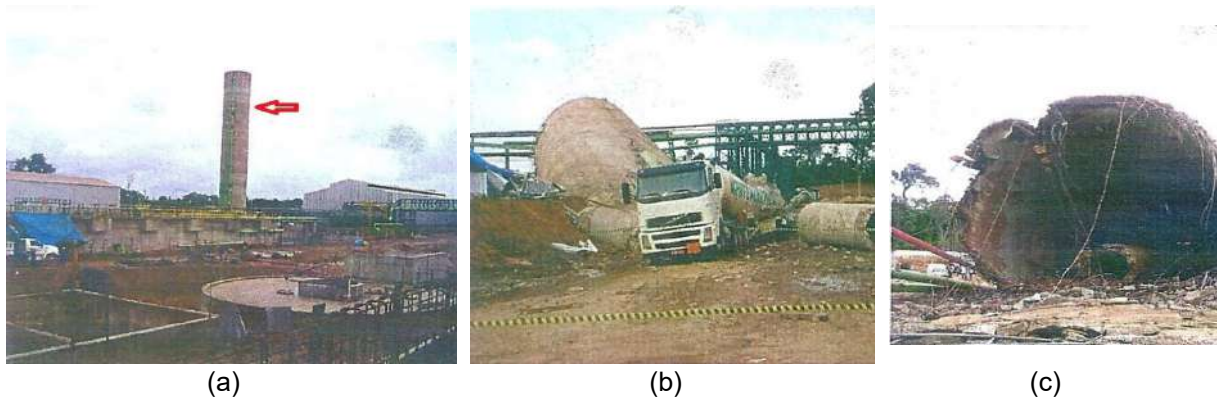


Figura 3. a) Vista geral da área da siderúrgica antes do acidente; b) Vista geral do colapso; c) Vista da base do reservatório.

Relata-se também o colapso de um edifício em Belém, ocorrido em 2011. As figuras 4a, 4b, 4c, 4d e 4e, mostram o edifício que desabou em Belém em 2011, vitimando três pessoas, sendo dois operários e a moradora da casa adjacente. O Laudo de Exame nº 124/2011, Livro 010/ENG descreve o diagnóstico que apontou erro no sistema estrutural proposto no projeto estrutural, não consideração da ação do vento e não satisfazia a condição necessária de um modelo capaz de garantir a estabilidade global do edifício de trinta e quatro pavimentos, distribuídos em quatro áreas de uso comum, como subsolo, térreo, 1º nível e 2º nível e trinta pavimentos tipo e uma cobertura, totalizando uma altura de 104,7 m. O edifício se encontrava em fase de acabamento e possuía o concreto especificado com uma resistência de 35 MPa para a superestrutura e 20 MPa para as fundações.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 4. a) Vista do edifício (seta) pouco antes de colapsar; b), c), d) e e) escombros do edifício após o seu desabamento.

Por conta desses vários exemplos, neste artigo propõem-se, uma metodologia para análise global de problemas patológicos.

3. METODOLOGIA

Trata-se de uma visão pericial, através de análise espacial, com a distribuição geográfica das perícias realizadas, onde foi utilizado o método de georreferenciamento de dados, com o objetivo de mapear frequência de ocorrências periciais, realizadas pelo Instituto de Criminalística no período de 2011 a 2018, indicando a localização das ocorrências, assim como apontando as origens das manifestações patológicas.

3.1 SIG aplicado na análise espacial de ocorrências de manifestações patológicas de 2011 a 2018

Com o fito de atingir o objetivo proposto na metodologia, identificaram-se os dados obtidos em planilhas Excel de todas as ocorrências periciais para posterior análise, do Instituto de Criminalística do Pará de 2011 a 2018, em seguida foram definidas as variáveis:

- **Danos não estruturais** são danos caracterizados por manifestações patológicas, os quais não atingem o sistema estrutural da edificação;
- **Danos estruturais** são danos caracterizados por manifestações patológicas constatadas nas edificações, que dão como consequência a corrosão nas ferragens, recalque nas fundações, entre outros, comprometendo os elementos estruturais de uma edificação;
- **Risco de desabamento e desabamento** é quando ocorre o colapso total ou parcial com desabamento da edificação ou quando as manifestações patológicas conduzem na interdição de local e desocupação do local, ou seja, quando às manifestações patológicas vierem a comprometer à estabilidade das edificações de modo geral.

Foram registradas 2879 ocorrências e dessa totalidade, 2630 ocorreram com danos não estruturais, 192 com estrutural e 57 com o risco de desabamento. E dessa forma, percebe-se uma representação de 91% de ocorrências de manifestações patológicas com danos não estruturais, conforme demonstrado na Tabela 1 e Figura 5.

Tabela 1. Quantidade de Perícias com ocorrências de problemas patológicos realizadas entre os anos de 2011 a 2018.

FASE DE ORIGEM	ANOS								TOTAL	%
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Danos Não Estruturais	388	358	404	365	281	316	264	254	2630	91
Danos Estruturais	25	46	25	34	19	08	26	09	192	7
Risco/Desabamento	09	07	21	10	06	00	03	01	57	2
TOTAL/ANO	422	411	450	409	306	324	293	264	2879	100

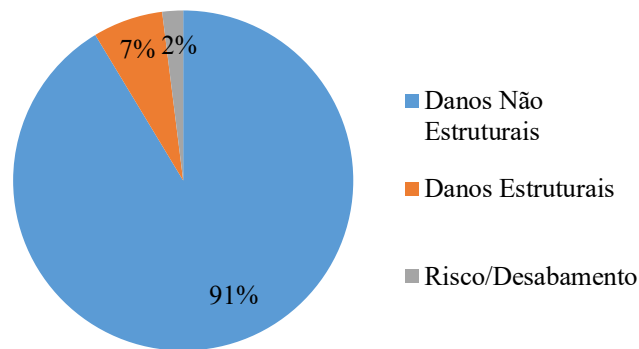


Figura 5. Distribuição da quantidade de perícias com ocorrências de problemas patológicos de 2011 a 2018.

Após esse levantamento de dados, foram filtradas 514 ocorrências, as quais atendem ao objetivo de análise das manifestações patológicas. Tratam-se de perícias realizadas em edificações residenciais, comerciais, públicas, industriais, imóveis tombados por órgãos de preservação do patrimônio histórico e arquitetônico, e obras de arte especiais. Foram apuradas as origens das manifestações patológicas, envolvendo perícias de cunho criminal e cível, identificados cinco tipos de origens das manifestações patológicas, localizadas no projeto, execução, materiais, utilização, e falta de manutenção.

Após o levantamento dos dados, obteve-se como resultado a Tabela 2, observando-se que a Execução e a falta de Manutenção se destacaram como as fases da construção com maior incidência de origem dos problemas patológicos, Figura 6.

Tabela 2. Origens das manifestações patológicas constatadas no período de 2011 a 2018

FASE DE ORIGEM	ANOS								TOTAL	%
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
PROJETO	05	09	07	14	20	01	23	04	83	16
EXECUÇÃO	25	39	48	35	22	28	27	25	249	48
MATERIAL	01	03	02	04	10	01	03	02	26	5
UTILIZAÇÃO	01	02	01	01	00	04	00	01	10	2
MANUTENÇÃO	18	15	14	13	26	20	24	16	146	29
TOTAL/ANO	50	68	72	67	78	54	77	48	514	100

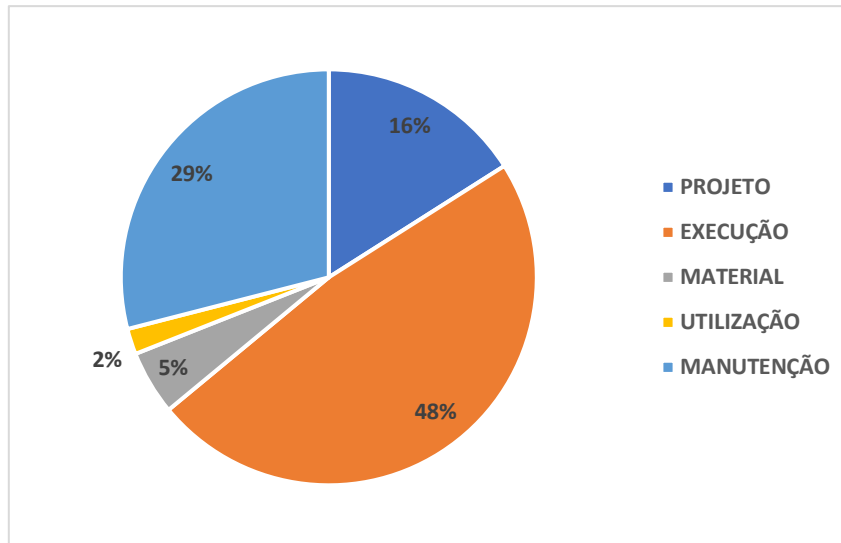


Figura 6. Distribuição de total de ocorrências e origens das manifestações patológicas no período de 2011 a 2018.

3.1.1 Técnica da análise espacial de ocorrências

A base cartográfica empregada corresponde aos arquivos vetoriais, no formato shapefile, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados das ocorrências das manifestações patológicas foram georreferenciados através do software de visualização de dados Qgis e Excel.

Existem três técnicas de análise espacial através dos mapas, denominadas Mapas de pontos; Mapas de superfícies; Mapas de densidades. Para análise inicial de pontos que representariam as ocorrências foi utilizado a técnica de análise de mapas de pontos, quando, segundo Longley et al. (2013) dentre a natureza dos dados geográficos, um ponto não possui extensão, largura ou profundidade, portanto se diz ter dimensão 0. Também é considerado como um objeto geométrico para representar ocorrências em uma localização absoluta, que pode ser usado para indicar ocorrências e representar seus padrões espaciais em mapas de pontos.

O mapa de ponto é útil, principalmente se o número de pontos for relativamente pequeno para que seja possível apreciá-los de forma individual no mapa. Na presente pesquisa adotou-se uma amostragem de 28 municípios do estado do Pará representados pela superfície administrativa dos mesmos. (Figura 7).

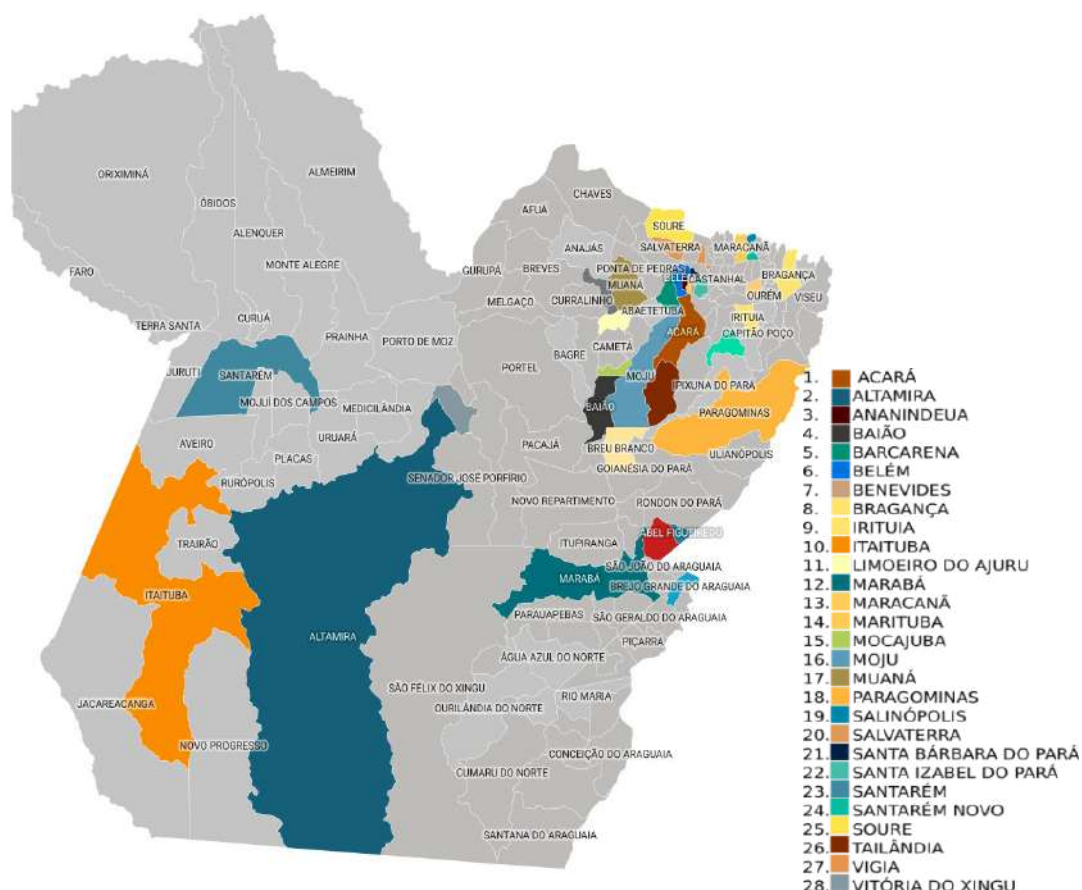


Figura 7. Amostragem dos municípios analisados do Pará.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS COM USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEORREFERENCIADAS

No universo de quase três mil perícias criminais e cíveis, foram filtradas 514 ocorrências, as quais contemplam ao objetivo desta pesquisa, resultado das análises das origens das manifestações patológicas, referente ao total de danos constatados, percebeu-se que a Execução (48%) e a falta de Manutenção (28%) representam as fases da vida útil das construções, com a maior incidência de origem das falhas de construção no estado do Pará. Para melhor compreensão e melhor visualização das análises das origens das manifestações patológicas, referente ao total de danos constatados, na Figura 10 é mostrada, através do gráfico de linhas, a incidência das manifestações patológicas, durante o período de 2011 a 2018, em que são apontadas, de forma conjunta, as origens de maior número de ocorrências (execução e manutenção), nas fases em que a edificação sofreu determinado dano.

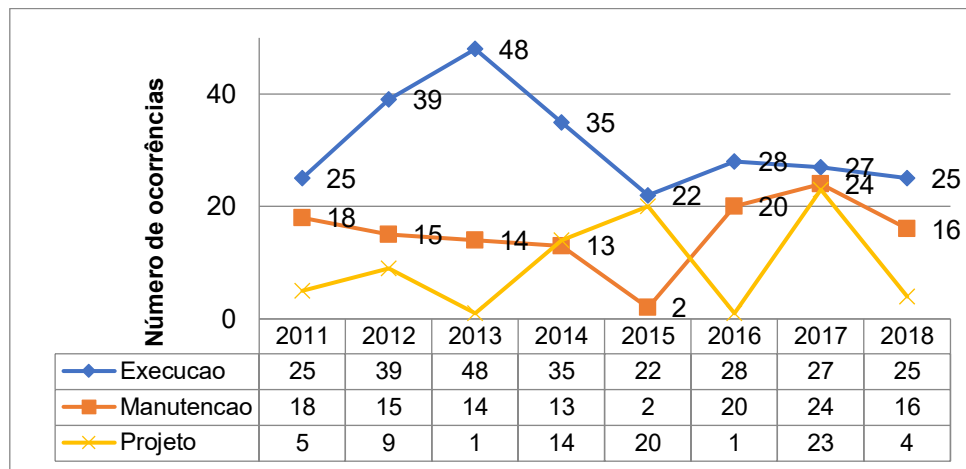


Figura 8. Distribuição das três origens, com maior número de ocorrências por ano.

As Figuras 8a, 8b e 8c mostram as repartições municipais das ocorrências durante o período de análise, extraídas do mapa (Figura 7), demonstrada no item 3. 3. 1 (Técnicas de Análise Espacial de Ocorrências), onde são apontados os municípios e as respectivas ocorrências, indicando o dano estrutural, em que foi identificada a origem dos problemas patológicos.



Figura 9. (a) Origem das manifestações patológicas na etapa de execução, período de 2011 a 2018 – Estrutural (Americano, Ananindeua, Barcarena, Belém, Marabá).

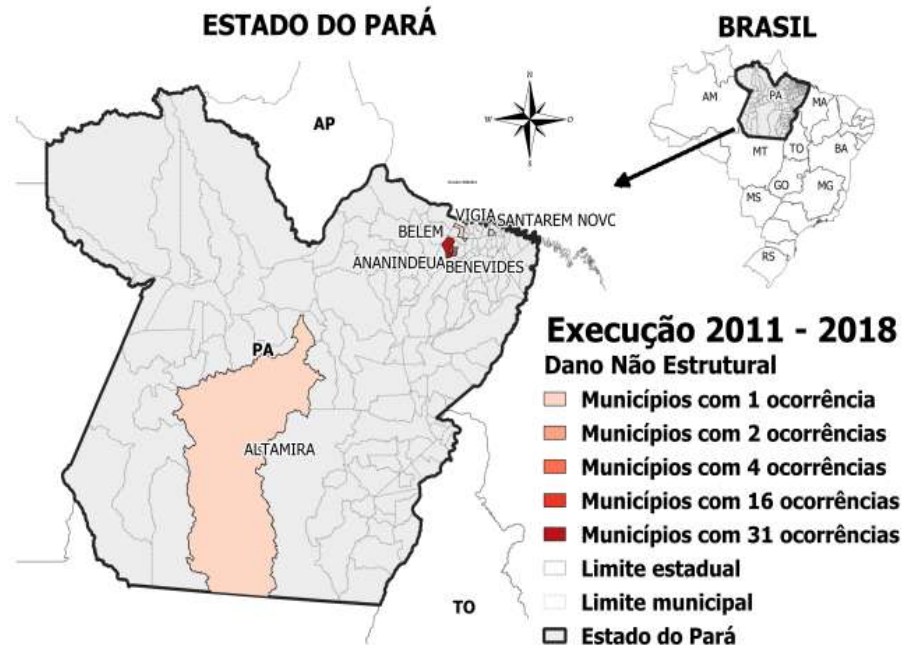


Figura 9. (b) Origem das manifestações patológicas na etapa de execução, período de 2011 a 2018 – Não Estrutural (Altamira, Ananindeua, Belém, Benevides, Marituba, Santarém Novo e Vigia).

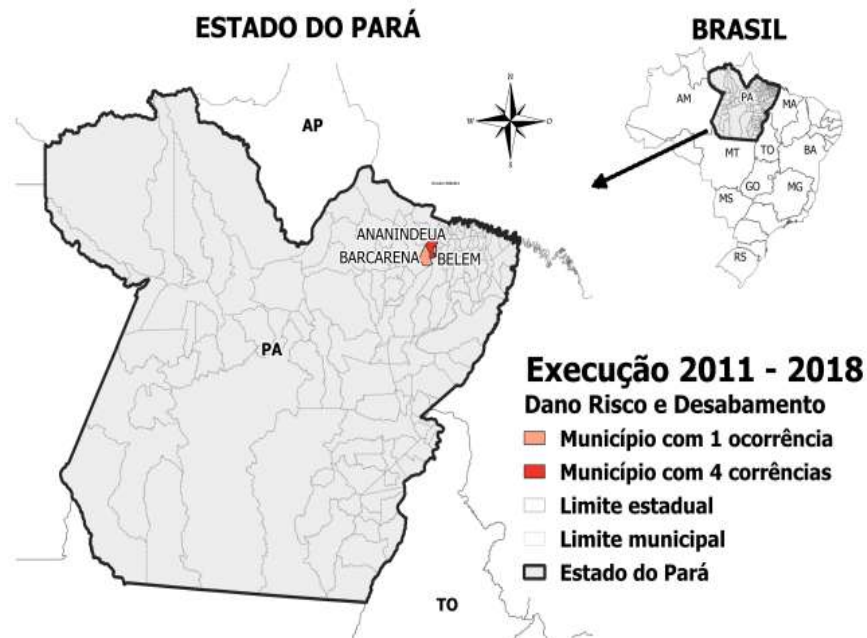


Figura 9. (c) Origem das manifestações patológicas na etapa de EXECUÇÃO, período de 2011 a 2018 – Risco e Desabamento (Barcarena, Belém, Ananindeua).

Após a utilização dos critérios de amostragem, considerando a espacialização da ocorrência, número de ocorrência por município e especificidade da ocorrência, ocorreu um filtro na

quantidade de 514 ocorrências, e com isso é demonstrado na Figura 10, que a capital Belém destacou-se em número de frequências de ocorrências, no intervalo de 147 a 195 de ocorrências amostrais entre o período de 2011 a 2018, seguido do município de Ananindeua e Marituba, ou seja, as áreas urbanas que mais solicitaram vistoria técnica.

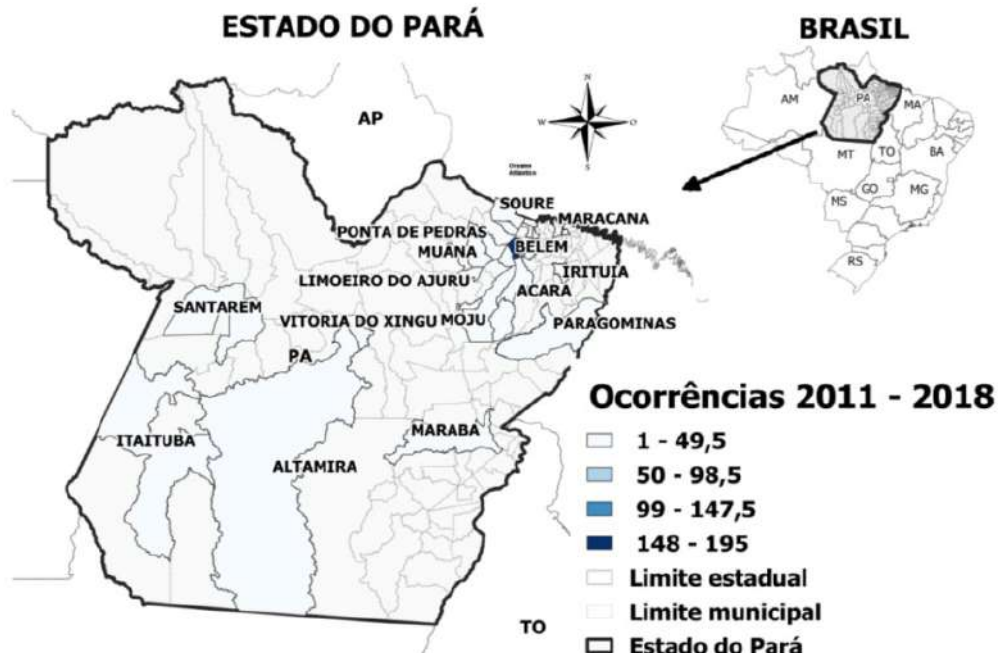


Figura 10. Mapa de destaque das ocorrências.

5. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa apresentou-se com alguns exemplos a problemática das manifestações patológicas que vêm ocorrendo no Estado do Pará, a partir da análise de 514 ocorrências registradas no sistema de perícias de cunho criminal e cível, encontrando-se grande incidência devida a falhas de execução. Na análise desenvolvida dentro do período de 2011 a 2018, resultando em uma amostragem de 514 casos periciais, em que se utilizou o sistema de informações georreferenciadas, pôde-se observar a quantidade de ocorrências patológicas, no que diz respeito aos danos e demonstrou a origem das manifestações patológicas, através de gráficos e mapas, destacando a fase de execução como a maior origem dos danos constatados, correspondendo ao maior índice de ocorrências no período aludido, o que mostra a importância de programas de atualização e treinamento de mão de obra especializada no Estado.

Na sequência, após outro filtro, dentro de uma distribuição espacial das ocorrências, considerando-se os critérios de espacialização da ocorrência, número de ocorrência por município e especificidade da ocorrência, percebeu-se que os centros urbanos como Belém, Ananindeua e Marituba apresentaram maior frequência de ocorrências, e observou-se que a capital Belém se destacou em número de frequências de ocorrências, no intervalo de 148 a 195 ocorrências amostrais no período de pesquisa. Diante dos resultados obtidos nessa pesquisa, observa-se que as manifestações patológicas constatadas são decorrentes da falta de um maior compromisso com a qualidade por parte dos construtores, dos responsáveis pela manutenção e por parte dos projetistas, nessa ordem. Neste sentido, cabe ressaltar que a qualidade da execução da edificação é prejudicada

pelo pensamento da busca desenfreada da entrega do produto pronto, para ser comercializado, e a edificação após entregue é “abandonada”, quando acreditam que a mesma não precisa de uma manutenção periódica, e por fim, muitas vezes no início de todo esse processo, na fase dos projetos específicos, em muitos casos, ocorre a não conformidade com as recomendações previstas nas normas técnicas, destacando-se no que concerne à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Perícias Científicas “Renato Chaves” por disponibilizar os laudos de perícia para consulta, por sua contribuição com informações e atenção para a pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

CUNHA, A. J. P.; LIMA, N. A.; SOUZA V. C. M. **Acidentes Estruturais na Construção Civil**, Vol. 1, Editora PINI. 1996.

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES. Instituto de Criminalística. **Laudo de Exame nº 103/2008**, Livro 1216, F. 204 a 220. Perícia Técnica em Estrutura. Impresso. Marabá, 2008.

_____. **Laudo de Exame nº 124/2011**, Livro 010/ENG. Perícia Técnica em Estrutura. Belém, 2011.

HELENE, P. R. L.; MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. IBRACON. 2011.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**, São Paulo, Pini, 1994.

RAIOL, R. S. B.; MACIEL, R. M.; **Metodología utilizada en la evaluación de accidentes estructurales**. XII Congreso latinoamericano de patología de la construcción. Y xiv congreso de control de calidad en la construcción. Cartagena de Índias/Colômbia. Vol. VII, p. 9 - 16. 2013.

SOUZA, V.; RIPPER, T.; **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Editora Pini. São Paulo, 1998.

Disponível em:

<https://www.google.com/search?q=real+class+foto+antes+do+desabamento&sxsrf=ALeKk034aDhUQj3PRVM1um6F1mmqnNu2fQ:1622507312117&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=JPvFUrX8JqFz9M%252CUvKncuKHjDaaMM%252C_&vet=1&usg=AI4_kT9CSdcl2D0N_ay0FvAt4ZXnHMdwg&sa=X&ved=2ahUKewiypu_flvXwAhU7JbkGHT1vDz4Q9QF6BAgQEAE#imgsrc=JPvFUrX8JqFz9M>. Acesso em 31/05/2021.

IDENTIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO DA PONTE PRESIDENTE DUTRA.

Anderson Henrique Barbosa^{1*}

* anderhb80@gmail.com

¹ Colegiado de Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale São Francisco, Juazeiro/BA, Brasil

RESUMO

A ponte Presidente Dutra, cuja inauguração data de 1951, une os municípios de Juazeiro/BA e Petrolina/PE, apresenta alguns sinais de que necessita passar por uma avaliação criteriosa de sua estrutura, de forma a serem corrigidas algumas manifestações patológicas desenvolvidas ao longo dos 70 anos de sua construção. Recentemente, esta passou por uma expansão, com acréscimo de duas faixas de rodagem. Função de sua idade, a ponte apresenta diversas manifestações patológicas em toda a sua extensão e vão desde a fundação ao tabuleiro (laje). O objetivo deste trabalho consiste na apresentação das manifestações patológicas observadas nesta ponte, executada em concreto armado e protendido. Manifestações patológicas como corrosão e armaduras expostas nas lajes do tabuleiro, carbonatação, perda do cobrimento foram encontrados nas vigas e lajes. Em relação ao concreto protendido, foram observadas rupturas de cabos de protensão, que gera a redução da capacidade de carga, além do desgaste das bainhas de proteção das cordoalhas, tornando-as susceptíveis à corrosão. Face ao que foi detectado, urge a necessidade de procedimentos de manutenção corretiva, de forma a conservar a vida útil da estrutura e adequá-la as mudanças de carga decorrentes do crescimento da população da região.

Palavras-Chave: Manifestações patológicas; Ponte; Avaliação qualitativa, Concreto armado; Concreto protendido.

1. INTRODUÇÃO

A ponte presidente Dutra, que interliga os municípios de Juazeiro/BA e Petrolina/PE, cuja inauguração data de 1951, sendo a segunda ponte em concreto protendido (concretos com fios ou

cabos de aço especiais de protensão) do Brasil. Um trecho em estrutura de aço formava uma estrutura elevada para passagem de barcos de médio e grande porte.

Diferente do concreto armado, o protendido consiste em um sistema com armaduras são submetidas a um esforço prévio, denominado protensão, gerando um estado de tensões capaz de melhorar a resistência e o comportamento da estrutura sob diversas condições de carregamento.

A primeira tecnologia usual no Brasil é caracterizada por armaduras protegidas por bainhas metálicas, que após a protensão, recebem a injeção de uma calda de cimento, garantindo a aderência da armadura ao concreto. Em 1997, difundiram-se as bainhas plásticas com cordoalhas engraxadas, sem a injeção de calda de cimento. Sendo importante ressaltar que as bainhas (metálicas e plásticas) e a graxa da cordoalha atuam como fatores de proteção aos agentes de corrosão do ambiente (ALVES e SANTOS, 2020).

Uma das preocupações das normas de projeto está diretamente relacionada à durabilidade, manutenção das características da estrutura. Entre as manifestações que acometem as estruturas de concreto, pode-se destacar as fissuras/trincas, corrosão e despassivação de barras, carbonatação, entre outras.

Para Pellizzer (2015), a corrosão das armaduras está diretamente associada à durabilidade de estruturas de concreto e a difusão de cloretos é reconhecidamente um dos fatores de maior importância no desencadeamento do processo corrosivo.

A corrosão das armaduras é resultado da incapacidade do concreto de exercer sua função protetora. A armadura pode perder a proteção oferecida pelo concreto (despassivação), geralmente, através da ação de elementos agressivos contidos ou originários de fontes externas que atuam sobre o concreto, reduzindo a alcalinidade ou rompendo a película protetora (SILVA, 2003).

Para Alves e Santos (2020), a corrosão no aço das estruturas em CP exige maior atenção porque os seus fios possuem diâmetros pequenos, entre 4 e 9 mm, e estão submetidos a grandes tensões. Esses dois fatores combinados em ambiente agressivo, aumenta a sensibilidade do elemento à corrosão, podendo ocorrer um fenômeno chamado corrosão sob tensão.

É evidente, pelo tempo e falta de manutenção, que a estrutura da ponte apresenta alguns sinais de que necessita passar por uma avaliação, de forma a serem corrigidas algumas manifestações patológicas desenvolvidas ao longo dos 70 anos de sua construção.

Este trabalho apresenta o resultado de uma avaliação qualitativa sobre o estado de degradação da ponte presidente Dutra, através de uma investigação técnica *in loco* para avaliar o seu estado de conservação e as manifestações patológicas encontradas.

Esta avaliação levou em consideração o previsto nas normas NBR 6118/2014 e NBR 9452/2012, esta última específica para vistoria em pontes e viadutos.

2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

São destacadas neste item algumas das manifestações patológicas associadas a estruturas de concreto armado, dentre as principais que foram encontradas na vistoria realizada neste trabalho.

- Desgaste por erosão

Pode ser definida como o desgaste causado pela passagem abrasiva dos fluidos contendo partículas finas suspensas (ANDRADE, 1992).

- Eflorescências

Processo em que o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 é dissolvido e arrastado pela presença de água. Quimicamente, a eflorescência é constituída principalmente de sais de materiais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio) solúveis ou parcialmente solúveis em água. Pela

ação da água da chuva ou da proveniente do solo, o elemento fica saturado e estes sais são dissolvidos (TAGUCHI, 2010).

Para Figueiredo et al. (2016), enquanto a eflorescência primária surge quando a água do processo de mistura do concreto emerge dos capilares, a eflorescência secundária é causada pela água externa que penetra na superfície do concreto.

- Carbonatação

O fenômeno da carbonatação do concreto ocorre devido a exposição a alta concentração do gás carbônico (CO_2), facilmente encontrado nos centros urbanos. O dióxido de carbono atinge os poros do concreto, penetra e dilui-se através da umidade presente na estrutura, assim formando o ácido carbônico (H_2CO_3).

Este ácido reage rapidamente com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), produzindo água e carbonato de cálcio (CaCO_3). O carbonato de cálcio não deteriora o concreto, porém durante a sua formação consome os álcalis da pasta e reduz o seu pH, que está entre 12,6 e 13,5, e que logo após a carbonatação reduz para valores próximos de 8,5, gerando a despassivação do aço, tornando-o vulnerável ao processo de corrosão.

A corrosão será iniciada quando houver umidade (eletrólito), diferença de potencial, agentes agressivos (CO_2 ou fuligem) e oxigênio ao redor da armadura.

- Corrosão das armaduras

O concreto confere ao aço uma barreira física que o separa e o protege do meio ambiente, mas também confere a este uma elevada alcalinidade, que permite formar uma película fina de ferrato de cálcio na superfície do aço, chamada de camada de passivação, mantendo-o inalterado por um tempo indeterminado, desde que o concreto seja de boa qualidade, e que suas propriedades físico-químicas não se alterem devido às ações externas. A camada de passivação é criada pouco depois do início da hidratação do cimento, sendo constituída de Fe_2O_3 , e adere fortemente ao aço Ferreira (2000 apud CAVACO, 2008).

Para Agra et al. (2016), o aço dentro do concreto é protegido por uma região passivadora, que impede o processo corrosivo, mas quando se reduz o pH para níveis inferiores a 11,5 ou na presença de íons cloretos, dependendo da concentração, pode-se despassivar a armadura e iniciar o processo de corrosão (patologia mais preocupante). Esse mecanismo ocorre através de processo eletroquímico na transformação do ferro metálico em ferrugem ocasionando expansão volumétrica do metal promovendo a demolição do concreto invólucro.

O processo de corrosão, com a expansão das barras como consequência, geram o destacamento da camada de cobertura (protetora), de maneira a permitir o ingresso de agentes agressivos presentes no meio.

- Trincas e fissuras

Para as trincas e fissuras, que se distinguem pela abertura, nos elementos de concreto armado, podendo-se apontar as originárias de retração, falhas na cura e às devido a sobrecargas, que além de se destacarem por representarem limites de serviço, favorecem a penetração de agentes agressivos que podem acarretar outras manifestações patológicas estruturais.

Além das manifestações acima citadas, pode-se também avaliar a perda da protensão, que pode acontecer devido ao atrito entre os cabos e a bainha, a retração e fluência do concreto, a deformação do concreto, a relaxação das armaduras e os escorregamentos dos fios e ancoragem, no decorrer do tempo durante toda a vida útil da estrutura (CARVALHO, 2012).

3. METODOLOGIA

A ponte Presidente Dutra, objeto de avaliação, apresenta extensão de 800 m sobre o rio São Francisco, interligando os municípios de Juazeiro/BA e Petrolina/PE. A seção de projeto atual da ponte pode ser visualizada nas Figuras 1 e 2.

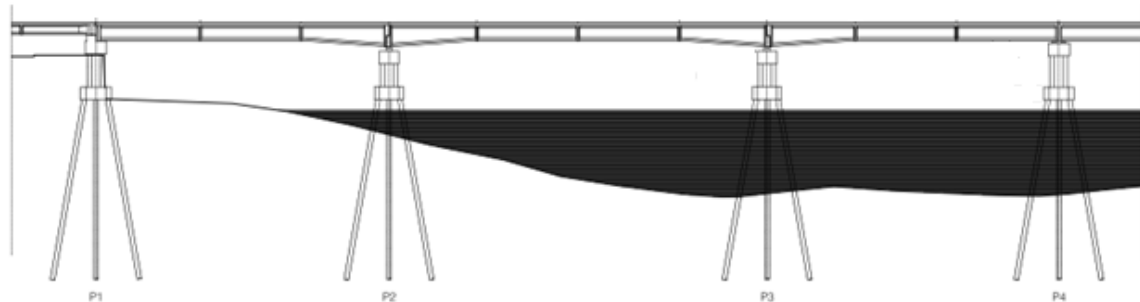


Figura 1. Seção longitudinal da ponte.

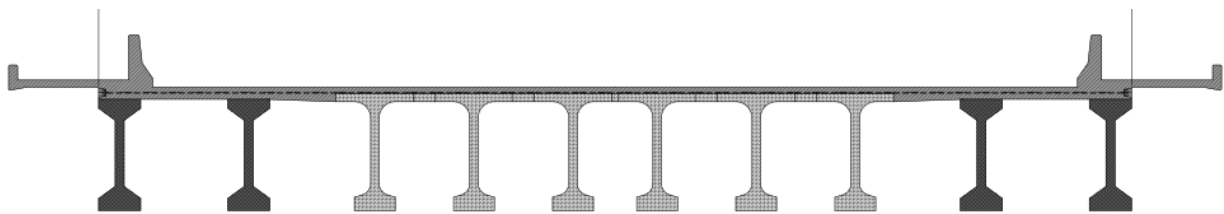


Figura 2. Seção transversal da ponte.

Vista geral da ponte pode ser visualizada nas imagens apresentadas nas Figuras 3, 4 e 5.



Figura 3. Vista da ponte observada no mapa (Google Earth).



Figura 4. Vista geral da ponte.



Figura 5. Vista da parte inferior da ponte.

O vigeamento da ponte é constituído de concreto protendido. Como identificado na Figura 2, as seções intermediárias são executadas com protensão externa, em seções I de concreto armado. Estas são da época da construção. Já as 2 vigas das extremidades, compõe uma expansão da ponte realizada nos últimos 10 anos, sendo composta de concreto protendido com os cabos de protensão internos às vigas de seção I. Neste mesmo período de expansão, pouca ou nenhuma manutenção foi realizada na ponte, sendo os registros aqui realizados posteriormente às obras de expansão.

Para a avaliação das manifestações patológicas, basicamente, foram seguidas as etapas de:

- Vistoria da ponte em toda a sua extensão, da estrutura do tabuleiro e vigeamento de suporte.
- Registro fotográfico das manifestações patológicas encontradas.

Para os casos aqui listados, a avaliação foi qualitativa e destacadas as principais patologias, sendo discutidas os possíveis impactos na capacidade resistente e sua influência nos aspectos funcionais ou estéticos.

Na análise da estrutura da ponte, foi realizado o ensaio de profundidade de carbonatação, utilizando solução de fenolftaleína, para a identificação de alguns pontos mais críticos. Como resultado deste ensaio, caso na profundidade de aplicação observada, após a retirada da amostra, foi borrifado o indicador químico que muda de cor com pH em torno de 9. Essa é uma técnica qualitativa que

indica se o concreto está ou não carbonatado, caso o pH seja maior que 9 ele apresentará coloração rosada com baixo risco de carbonatação. Já quando pH for menor que 9, ele se apresentará incolor com alto risco de carbonatação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pode-se perceber na vistoria o desgaste na parte inferior da laje, onde esta apresenta armaduras expostas e com corrosão. Detalhes desta situação podem ser visualizadas na Figuras 6 a 8. As indicações sobre as causas destas manifestações destacadas são pontos de corrosão, por vezes observados cobrimentos insuficientes, absorção de vapor d'água ao longo do tempo que ajuda no processo corrosivo das armaduras, e algumas quebras por movimentação.



Figura 6. Laje com armadura sem cobertura e com indicio de corrosão.



Figura 7. Outro ponto da laje com armadura sem cobertura e com indicio de corrosão.



Figura 8. Outro ponto da laje com armadura sem cobertura e com indicio de corrosão.

Como destacado nas Figuras 9 e 10, foram identificados pontos com indicação de eflorescências. Para avaliar a carbonatação de alguns elementos, foi realizado o teste com fenolftaleína a uma profundidade de 3 cm da superfície. Era esperado encontrar nos elementos mais antigos que estes tivessem afetados pela carbonatação, ao contrário dos elementos mais novos, executados durante a expansão, o que foi evidenciado nos testes com a ausência de coloração no teste, visualizado na Figura 11.

Percebe-se que a qualidade do concreto do tabuleiro, assim como das vigas, que a perda do cobrimento, a carbonatação e as eflorescências apontam para a necessidade de intervenção nas peças, para a manutenção da vida útil da estrutura. Por se tratar de uma atmosfera não tão agressiva, fica evidente o processo mais lento da ação do meio.

A ideia de recomposição da estrutura passa pelo tratamento das barras, para conter a corrosão presente, até mesmo a substituição da armadura de determinada área afetada, com a recomposição da camada de concreto.

Em relação ao concreto protendido, já se torna evidente a ruptura de um cabo de protensão ao examinar de longe a ponte e sob a estrutura (Figura 12 e 13).



Figura 9. Trecho da laje com indicação de eflorescência.



Figura 10. Trecho da laje com indicação de eflorescência.



Figura 11. Ponto da estrutura indicando carbonatação do concreto.



Figura 12. Vista da ruptura do cabo de protensão.



Figura 13. Vista da ruptura do cabo de protensão, por baixo da estrutura.

Ao examinar a estrutura, percebe-se que a estrutura nova não apresenta sinais de manifestações patológicas. A estrutura mais antiga, que no processo de expansão não passou por qualquer processo de manutenção, é possível observar as seguintes manifestações: cabo de protensão rompido e com afrouxamento (Figura 14 e 15); Desgaste das bainhas, com ressecamento e quebra (Figura 16 e 17).



Figura 14. Cabo de protensão com afrouxamento.

A implicação destes problemas nos cabos de protensão são críticas, pois com a ruptura/relaxamentos dos cabos, ocorre a redução da capacidade de carga estrutural, que pelo tempo em que foi projetada, se apresenta muito superior, pois houve alteração nas cargas principais, que são representadas pelos automóveis e caminhões de transporte.

Com a ruptura e a perda de eficiência dos cabos, em sua maioria, passa-se a ter a necessidade que as vigas de seção I de concreto armado apresentem solicitações para as quais não foram projetadas.



Figura 15. Cabo de protensão rompido na zona de encunhamento.

Em relação ao concreto protendido, reside a principal atenção a ser direcionada. A perda de cabos de protensão, como evidenciado nas Figuras 13 e 14, indica, entre outras coisas, a má conservação da estrutura e a redução da capacidade da carga prevista inicialmente para a estrutura da ponte. Uma análise sobre as cordoalhas, comparando as externas (caso da ponte em análise) e das internas, é que nesta última, em longo prazo, a falha das cabeças de ancoragem tem menos consequências que com cordoalhas externas. Para Mayan Tejedor (2013), com as cordoalhas internas, a força de protensão pode ser transferida ao concreto por aderência. No segundo caso, este tipo de ruptura é mais perigosa porque a falha na cabeça da ancoragem leva a uma perda total de protensão para a cordoalha considerada. Ainda para o autor, nos estados últimos com protensão externa, as falhas com pouco aviso por ductilidade insuficiente são mais usuais que com cordoalhas internas com aderência.



Figura 16. Ressecamento e quebra da bainha de protensão.



Figura 17. Ressecamento e quebra da bainha de protensão.

Uma outra preocupação se relaciona à corrosão do aço, que acontece sob tensão (stress-corrosion), que pelo fato dos cabos que compõe a cordoalha serem de pequeno diâmetro, podem fragilizar a seção da armadura e ocasionar a sua ruptura. Face a isso, dá-se importância às bainhas de proteção. As perdas de protensão consideradas na etapa de projeto não contemplam o seu completo afrouxamento, que indica a perda de protensão no cabo, como destacado no registro da Figura 14. Um outro ponto de destaque se refere a situação das seções que apresentam estas manifestações patológicas encontradas no concreto protendido, pois, como a ponte apresenta idade superior a 70 anos, a capacidade de carga considerada no projeto, mesmo visualizando a expansão das cidades no futuro, talvez não comportem a expansão das cidades face ao crescimento da agricultura irrigada da região, que proporcionou um grande crescimento populacional e aumento na densidade de veículos que trafegam pela ponte nos últimos anos. Neste tocante, carece o projeto de revisão, face que a carga foi aumentada ao longo dos anos, além da evidente necessidade de manutenção corretiva, com o restabelecimento da estrutura de protensão, revisando não só os cabos mas os encunhamentos, a substituição dos cabos rompidos e que estejam em estado de degradação significativa, além do tratamento relativo às vigas de concreto armado.

5. CONCLUSÕES

De posse das avaliações realizadas, pode-se concluir:

- Diversas patologias ao longo da extensão da estrutura foram encontradas, como corrosão acentuada, perda de cobrimento e indícios de carbonatação, principalmente no tabuleiro, tornando-se necessária uma investigação mais detalhada para o estabelecimento da situação de severidade das manifestações patológicas encontradas e suas implicações na determinação de sua vida útil
- Os problemas encontrados em relação à protensão, ruptura e afrouxamento dos cabos, fazem com que haja a redução da capacidade de carga, que vai na contramão do crescimento populacional e do aumento do número de veículos que trafegam na ponte.
- Em relação às bainhas de protensão, o estado em que se encontram inspiram sérios cuidados, pois a sua quebra por ressecamento propiciam que as cordoalhas fiquem sujeitas à ação do meio ambiente, com forte potencial para corrosão, como observado em diversos pontos nas lajes e vigas de concreto armado.

- Em resumo, dada a gravidade do que foi observado, a ruptura dos cabos de protensão reduz a capacidade de carga da ponte, assim como o estado destes cabos, que perdem sua funcionalidade. Além disso, o estado de conservação da parte de concreto armado também preocupa, pela idade e falta de conservação, com a corrosão das armaduras da laje do tabuleiro, que pode gerar algum dano parcial nesta estrutura. Neste tocante é mister que a ponte passe por um criterioso processo de manutenção corretiva, de maneira a conferir a conservação da vida útil da ponte.

6. REFERENCIAS

AGRA, T. M. S.; MONTEIRO, E. B.; ALCÂNTARA, P. S. X.; LIMA, N. M. V.; BURLE, E. C. L. S. Manifestações patológicas em reservatório de Concreto armado por movimentação térmica dos elementos estruturais. Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural – SEMIPAR, UPE, Recife – PE, 2016.

ANDRADE, M. C. Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. Tradução e adaptação de Antônio Carmona e Paulo Helene. 1. ed. São Paulo: Pini, 1992. 104 p. ISBN 85- 7266- 011- 9

ALVES, C. R. M. B.; SANTOS, A. F. C. Estruturas pré-moldadas de concreto protendido – comportamento da estrutura e manifestações patológicas. Revista Boletim do Gerenciamento, n.17, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452 - Vistoria de pontes e viadutos de concreto. Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO, R. C. Estruturas em concreto protendido. Ed Pini, 2012.

CAVACO, J. R. Z. Patologias nas estruturas de concreto armado. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2008.

FIGUEIREDO, A.; COSTA, V.; PEDROZA, T.; SOUZA, L.; SILVA, D. Considerações sobre a água como agente causador das manifestações patológicas em estruturas de concreto. Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural – SEMIPAR, UPE, Recife – PE, 2016.

MAYÁN TEJEDOR, C. Patologias, recuperação e reforço com protensão externa em estruturas de pontes. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

PELLIZZER, G. P. Análise mecânica e probabilística da corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

SILVA, S.J.H. Análise de estruturas de concreto armado sujeitas à corrosão de armadura por cloretos através do método dos elementos finitos. Dissertação (Mestrado em Engenharia), 171f, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

TAGUCHI, M. K. Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações. Dissertação de Mestrado em Construção Civil – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

Investigação das manifestações patológicas no prédio de uma unidade de saúde na cidade de Gravatá-PE

A. J. Bento^{1*}, D. C. M. Neves¹, E. C. B. Monteiro^{1,2}

*Contato do autor: adegilsonjose19@gmail.com

¹ Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

² Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil

RESUMO

A manutenção predial é essencial durante o uso das edificações e a conservação das unidades de saúde é de suma importância para o bem estar da população. O objeto de estudo deste artigo teve sua construção iniciada em 2012 com recursos da Política Nacional de Urgência e Emergência, lançada pelo Ministério da Saúde, e ao longo desses 8 anos apresentou diversas manifestações patológicas, fruto principalmente da ausência de manutenção e da falta de uso da edificação. Este trabalho teve o intuito de identificar e avaliar os problemas presentes no prédio atualmente desativado de uma unidade de saúde do município de Gravatá. Como metodologia foram adotadas o que estabelecem a Norma de Inspeção Predial (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, Entidade Nacional – IBAPE, 2012) e da Norma de Manutenção em Edificações (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2012) seguindo as etapas de: levantamento das informações pertinentes sobre o edifício, inspeção visual e registro fotográfico e elaboração de quadros para classificação das manifestações. Como resultado do trabalho, foram identificadas diversas manifestações patológicas, tais como: alvenaria (umidade ascendente e trincas e fissuras), pintura (descascamento e sujidades), forros (quebras e sujidades), revestimento cerâmicos (sujidades e quebras), esquadrias (possui apenas contramarco) e cobertura (sujidades, quebras e infiltração). Concluiu-se que há prioridade na manutenção da cobertura, das alvenarias e da pintura, em seguida realizando os reparos nas quebras de forro e revestimento cerâmico e finalizando com a eliminação das sujidades.

Palavras-chave: Inspeção; Manifestação patológicas; Unidade de saúde; IBAPE.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a NBR 5674 (ABNT, 2012), manutenção predial pode ser definida como o conjunto de ações a serem realizadas para conservar ou recuperar o funcionamento da edificação e dos seus elementos construtivos, buscando atender a segurança e as necessidades de uso de seus usuários. Já segundo o Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícias em Engenharia (IBAPE, 2012), a inspeção predial tem por finalidade constatar as condições de segurança, funcionalismo, atuação, conservação, manutenção e operação de prédios e seus sistemas, além de atribuir criticidade às falhas e anomalias identificadas, sendo a análise isolada ou combinada das condições técnicas, de uso e de manutenção da edificação.

Independentemente do tipo de ocupação de um imóvel, ao longo dos anos é essencial executar a manutenção predial em todas as suas fases, garantindo assim sua vida útil. Para Gomide (2020), a inspeção predial trata-se de uma descrição técnica da qualidade da edificação que busca identificar as medidas de correção ou melhoria a fim de assegurar o bom funcionamento da construção. Principalmente se tratando de Unidades de saúde, que prestam um serviço essencial a população e sua ausência ou falta de pleno atendimento podem acabar acarretando em perdas fatais.

Fernandes e Ferreira (2018), observaram grande ocorrência de fissura, mofo, mancha de umidade, descolamento do reboco e bolhas na pintura nas unidades de saúde analisadas. Como possíveis causas, listam falhas na impermeabilização, escolha ineficaz dos materiais e problemas nas especificações em projeto. Já Silva e Leão (2019) encontraram infiltrações, trincas e deslocamento de revestimento, com possível causa em problemas estruturais e falhas no sistema de captação de água e na impermeabilização.

Na cidade de Gravatá, no agreste Pernambucano, as obras de um centro de especialidades hospitalares foram iniciadas em 2013, porém a unidade não foi inaugurada, ficando exposta a intempéries e vandalismo ao longo dos anos. Para retomar a construção, a realização de uma inspeção predial foi necessária para averiguar as manifestações patológicas presentes na edificação, sejam elas devido a anomalias construtivas ou falhas de manutenção.

Nesse contexto, visando a importância sobre medidas de avaliações preventivas, a importância que a inspeção predial apresenta na área da construção civil, um mecanismo capaz de avaliar as condições das edificações e ponto de partida para geração de um plano futuro para manutenção, este artigo tem como objetivo apresentar os resultados da inspeção predial na edificação com base nas diretrizes da Norma de Inspeção Predial (IBAPE, 2012) e da Norma de Manutenção em Edificações NBR 5674 (ABNT, 2012).

2. METODOLOGIA

2.1 Critério Utilizado¹

A inspeção predial está baseada no “check-up” da edificação, que tem como resultado a análise técnica do fato ou da condição relativa à habitabilidade, mediante a verificação “in loco” de cada sistema construtivo, estando a mesma voltada para o enfoque da segurança e da manutenção predial, de acordo com as diretrizes da Norma de Inspeção Predial (IBAPE, 2012) e da Norma de Manutenção em Edificações (ABNT, 2012)

A inspeção procede ao diagnóstico das anomalias construtivas e falhas de manutenção que interferem e prejudicam o estado de utilização do prédio e suas instalações, tendo como objetivo verificar os aspectos de desempenho, vida útil, utilização e segurança que tenham interface direta com os usuários.

¹ Não foram realizados testes, medições ou ensaios por ocasião das vistorias, consoante o nível de inspeção estabelecido como escopo para este trabalho

2.2 Nível de Inspeção

Esta inspeção é classificada como “Inspeção de Nível 1”, representada por análise expedita dos fatos e sistemas construtivos vistoriados, com a identificação de suas anomalias e falhas aparentes.

Caracteriza-se pela verificação isolada ou combinada das condições técnicas de uso e de manutenção do sistema da edificação, de acordo com a Norma de Inspeção Predial do IBAPE, respeitado o nível de inspeção adotado, com a classificação das deficiências encontradas quanto ao grau de risco que representa em relação à segurança dos usuários, à habitabilidade e à conservação do patrimônio edificado.

2.3 Grau de Risco

Conforme a referida Norma de Inspeção Predial do IBAPE, as anomalias e falhas são classificadas em três diferentes graus de recuperação, considerando o impacto do risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio.

2.3.1 Grau de risco crítico – impacto irrecuperável

É aquele que provoca danos contra a saúde e segurança das pessoas e meio ambiente, com perda excessiva de desempenho e funcionalidade, causando possíveis paralisações, aumento excessivo de custo, comprometimento sensível de vida útil e desvalorização imobiliária acentuada.

2.3.2 Grau de risco regular – impacto parcialmente - recuperável

É aquele que provoca a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação, sem prejuízo à operação direta de sistemas, deterioração precoce e desvalorização em níveis aceitáveis.

2.3.3 Grau de risco mínimo – impacto recuperável

É aquele causado por pequenas perdas de desempenho e funcionalidade, principalmente quanto à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou sem a probabilidade de ocorrência dos riscos relativos aos impactos irrecuperáveis e parcialmente recuperáveis, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor imobiliário.

2.4 Classificação das Irregularidades

As recomendações técnicas para correção das anomalias, falhas de uso, operação ou manutenção e/ou não conformidades com a documentação analisada, foram organizadas em patamares de urgência. Utilizando o método GUT (gravidade, urgência e tendência) foi estabelecida uma matriz de prioridade para servir de guia para o planejamento da manutenção. Desenvolvida inicialmente para definir prioridades em atividades do setor administrativo, trata-se de uma ferramenta que pode ser utilizada para determinar a ordem de solução de problemas de acordo com a gravidade, urgência e tendência (LIMA, 2019).

2.5 Documentação Analisada

Os documentos técnicos disponibilizados para análise e consulta foram os seguintes:

- Levantamento Físico – Plantas Baixas dos Pavimentos
- Projeto Básico Hidrossanitário – Rede de Esgoto
- Projeto Básico Elétrico

2.6 Sistemas construtivos inspeccionados

Os seguintes sistemas construtivos foram inspeccionados em seus elementos aparentes:

- Vedação e Alvenarias – Revestimentos e Fachadas;
- Instalações Elétricas – Entrada de Energia
- Instalações Hidros sanitárias – Reservatórios, Sanitários e Redes de Esgoto;
- Cobertura e Impermeabilização;

Os sistemas são relatados genericamente, seguindo-se a descrição e localização das anomalias e falhas detectadas, com a classificação do grau de risco atribuído a cada sistema: Grau Crítico, Grau Regular ou Grau Mínimo, excluída a criticidade das obras em andamento e/ou paralisadas.

2.7 Identificação

O prédio é constituído por dois pavimentos e várias salas para recepção, consultórios médicos, salas de exames e setor administrativo.

A edificação possui uma área construída de 856,75 m², que se encontra assentada sobre um terreno com área superficial de aproximadamente 1036,83m², apresentando as seguintes características construtivas: estrutura de concreto armado sobre fundações em sapata, elevações em alvenaria de tijolos maciços com revestimento argamassado, cobertura em laje de concreto armado e telha cerâmica, esquadrias de vidro, pavimentação em piso de concreto e granilite e instalações prediais própria para a finalidade.

A Figura 1 e Figura 2 ilustram a edificação.



Figura 1. Vista frontal da edificação.



Figura 2. Fachadas a) principal e b) lateral esquerda.

2.8 Data da vistoria

As vistorias técnicas nas dependências foram realizadas nos dias 18 e 19 de novembro de 2019, durante a manhã.

2.9 Características

Quadro 1. Características da construção.

DESCRIÇÃO	ÁREAS (M²)
Área do Terreno	1036,83
Área Construída – Térreo	628,05
Área Construída – 1º Pav.	228,70
Área Total	856,75
Área de Coberta	722,40
Área de Solo Natural	275,98

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

Apresenta-se a relação das dependências dos setores vistoriados do prédio localizado na Rua Quatorze de Julho, tais como: recepção, consultórios médicos, salas de exames e setor administrativo, conforme segue:

Quadro 1. Ambientes do 1º andar da edificação

AMBIENTE	ÁREA (m²)
Repouso masculino	10,40 m2
Repouso feminino	15,40 m2
Direção	13,38 m2
Almoxarifado	13,32 m2
Arquivo médico	11,93 m2
BWC feminino 2	6,51 m2
BWC masculino 2	6,51 m2
Hall	6,88 m2
DML	3,00 m2
Vestiário masculino	5,60 m2
Vestiário feminino	6,46 m2
Almoxarifado / material de limpeza	2,96 m2
Dispensa	5,69 m2
Administração informática controle C.P.D	16,02 m2
Refeitório funcionários	20,80 m2
Estar	43,31 m2
Cantina dos pacientes	8,38 m2

Quadro 2 – Ambientes do térreo da edificação.

AMBIENTE	ÁREA (m²)
Resíduos 1	3,50 m ²
Resíduos 2	3,50 m ²
Sanitário masculino	1,66 m ²
Sanitário feminino	1,66 m ²
WC PPNE	3,60 m ²
Exames diferenciados	11,85 m ²
Exames indiferenciados	11,84 m ²
Prontuário	2,21 m ²
Atendimento	3,28 m ²
Recepção	16,26 m ²
Aplicação de medicamentos	20,00 m ²

3.1 Ocorrência das Manifestações patológicas:

Quadro 4 – Ocorrência das Manifestações patológicas (continua)



Alvenaria		
Manifestações patológicas	Ocorrências	Local
Umidade ascendente	Todos.	Todos.
Manchas	Não tem.	Não tem.
Trincas e fissuras	21	Repouso masculino; Arquivo médico; Administração informática; Refeitório funcionário; Cantina de pacientes e circulação.
Infiltração	Não tem.	Não tem.
Pintura		
	Ocorrências	Local
Descascamento	Todos.	Todos.
Bolhas	Não tem.	Não tem.
Manchas	Não tem.	Não tem.
Sujidades	Todos.	Todos.
Sem pintura	Não tem.	Não tem.

Quadro 4 – Ocorrência das Manifestações patológicas (continuação)



Forros		
Manifestações patológicas	Ocorrências	Local
Abaulamento	Não tem.	Não tem.
Quebras	20	Circulação; Sala de urgência; Sala de observação; Sala de observação infantil; Quarto; Sala de enfermagem; BWC PPNE; Radiologia; Sala de gesso; Inalação coletiva; Sutura e curativo; Aplicação e medicamentos; Sala de ECG; Recepção; Assistência social; Exames indiferenciados; Classificação de risco; Atendimento; Vestiário feminino e circulação.
Sujidades	Todos.	Todos.
Revestimento cerâmicos		
Manifestações patológicas	Ocorrências	Local
Sujidades	Todos.	Todos.
Aderência	Possui aderência.	Todos.
Quebras	2	Distribuição de materiais esterilizado e sanitário masculino.
Desgaste	Não tem.	Não tem.
Instalações elétricas		
Manifestações patológicas	Ocorrências	Local
Caixas de passagem	Não tem.	Não tem.
Tomadas/interruptores	Não tem.	Não tem.
Disjuntores	Não tem.	Não tem.
Sujidades	Não tem.	Não tem.
Instalações (fios)	Não tem.	Não tem.
Esquadrias		
Manifestações patológicas	Ocorrências	Local
Conservação	Possui apenas contramarco.	Todos.
Funcionamento	Não tem.	Não tem.
Cobertura		
	Ocorrências	Local
Sujidades	Todos.	Todos.
Quebras	Vários pontos (30%).	Vários pontos (30%).
Infiltração	Vários pontos (30%).	Vários pontos (30%).

3.2 Alvenaria

Quadro 5 – Caracterização de pontos com umidade.


Umidade ascendente	
Circulação 2	Sob a escada
	
Sintoma	Presença de umidade ascendente próximas ao piso nas paredes internas.
Mecanismo provável	Ascensão capilar da umidade.
Causa provável	Umidade.
Origem provável	Projeto arquitetônico/ Erro durante a execução.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Regular.
Recomendações	Remover o revestimento contaminado e realizar o reparo e a impermeabilização da área ou fazer um corte horizontal o mais próximo possível do piso e aplicar argamassa impermeabilizante.

Quadro 6 - Caracterização de fissuras nas esquadrias.



Trincas e Fissuras	
Ao lado da central 1 andar	Circulação 1 andar
	
Sintoma	Fissuras ao redor de aberturas de portas e janelas em paredes de alvenaria.
Mecanismo provável	Acúmulo de tensões de tração nas aberturas.
Causa provável	Armadura de reforço insuficiente.
Origem provável	Projeto/Execução da armadura de reforço.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Regular.
Recomendações	Reforço da armadura ao redor das aberturas, com uso de vergas e contravergas.

3.3 Pintura

Quadro 7 - Caracterização de pontos com descascamento da pintura



Descascamento	
Depósito	Cardiologia
	
Sintoma	Presença de descascamento próximas ao piso nas paredes internas.
Mecanismo provável	Ascensão capilar da umidade.
Causa provável	Umidade.
Origem provável	Projeto arquitetônico/ Erro durante a execução.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Mínimo.
Recomendações	Raspar ou escovar a superfície até a remoção total das partes soltas ou mal aderidas. Em seguida, aplicar uma demão de fundo preparador de paredes e aplicar o acabamento.

Quadro 8 - Caracterização de pontos com umidade.


Sujidades	
	
Sintoma	Sujidades nas paredes internas da edificação.
Mecanismo provável	Ação antrópica.
Causa provável	Manutenção.
Origem provável	Utilização.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Mínimo.
Recomendações	Refazer a pintura.

3.4 Forros

Quadro 9 - Caracterização de pontos do forro com avarias.



Quebras	
Circulação 2, 1 andar	Ao lado da sala de reunião
	
Sintoma	Possui forros quebrados em vários ambientes do edifício.
Mecanismo provável	Ação antrópica.
Causa provável	Manutenção.
Origem provável	Utilização.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Regular.
Recomendações	Reparar áreas do forro avariadas.

Quadro 10 - Caracterização de pontos do forro com sujidades.


Sujidades	
Recepção	Ao lado da sala de reunião
	
Sintoma	Possui forros sujos em vários ambientes do edifício.
Mecanismo provável	Ação antrópica e falta de manutenção.
Causa provável	Manutenção.
Origem provável	Utilização.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Mínimo.
Recomendações	Reparo do forro com limpeza e pintura.

3.5 Revestimentos Cerâmicos

Quadro 11 - Caracterização de paredes com revestimento cerâmico com sujidades.

Sujidades	
WC 2	WC 1
	
Sintoma	Há presença de sujidades nos revestimentos cerâmicos.
Mecanismo provável	Falta de manutenção.
Causa provável	Ação natural.
Origem provável	Utilização.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Mínimo.
Recomendações	Limpeza manual do revestimento cerâmico com pano úmido ou mecânica com jato de água.

Quadro 12 - Caracterização de paredes com revestimento cerâmico avariados.

Quebras e ausência de placas	
DML	Eletroterapia 4
	
Sintoma	Placas cerâmicas quebradas ou ausentes.
Mecanismo provável	Ação antrópica e falta de manutenção.
Causa provável	Manutenção.
Origem provável	Utilização.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Regular.
Recomendações	Recolocação de peças danificadas e recomposição do rejunte. Limpeza do revestimento.


3.6 Instalações Elétricas

Quadro 13 - Caracterização das instalações elétricas.

Instalações, Tomadas/ Interruptores	
Almoxarifado	Circulação 2
	
Sintoma	Ausência de tomadas, interruptores, das fiações e presença de instalações avariadas
Mecanismo provável	Ação antrópica.
Causa provável	Manutenção.
Origem provável	Utilização.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Crítico.
Recomendações	Refazer as instalações elétricas repondo tomadas e interruptores ausentes.

3.7 Esquadrias

Quadro 14 - Caracterização do estado de conservação das esquadrias

Conservação e Funcionamento	
Ao lado da central	Circulação 2
	
Sintoma	Possui apenas o contramarco das esquadrias.
Mecanismo provável	Ação antrópica.
Causa provável	Manutenção.
Origem provável	Utilização.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Crítico.
Recomendações	Substituição dos contramarcos deteriorados, instalações dos marcos e caixilhos das janelas e substituição dos batentes e guarnições deterioradas e instalação das folhas.

3.8 Cobertura

Quadro 15 - Caracterização do estado de conservação da cobertura.

Sujidades e quebras	
Coberta	Coberta
	
Sintoma	Possui sujidades nas telhas
Mecanismo provável	Ação antrópica e falta de manutenção
Causa provável	Manutenção.
Origem provável	Utilização.
Classificação	Anomalia endógena.
Grau de risco	Mínimo.
Recomendações	Remoção das telhas cerâmicas, recuperação da estrutura de madeira deteriorada, limpeza (lavagem) das telhas e retelhamento com reposição das peças danificadas.

3.9 CLASSIFICAÇÃO DAS IRREGULARIDADES

Através da utilização da matriz GUT, foram estabelecidas as ordens de prioridade para solução das manifestações patológicas (Quadro 16). Desse modo, as primeiras manutenções devem ser realizadas na cobertura, nas alvenarias e na pintura, em seguida realizando os reparos nas quebras de forro e revestimento cerâmico e finalizando com a eliminação das sujidades.

Quadro 16 - Aplicação da matriz GUT (continua).

Cód.	Manifestação Patológica	Elemento	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	GxUxT	Ordem
1	Umidade ascendente	Alvenaria	5	4	5	100	2°
2	Trincas e fissuras	Alvenaria	3	3	3	27	5°
3	Descascamento	Pintura	5	4	3	60	4°
4	Sujidades	Pintura	1	1	1	1	10°
5	Quebras	Forro	3	3	1	9	7°
6	Sujidades	Forro	1	1	1	1	11°
7	Sujidades	Rev. cerâmico	2	1	1	2	9°

Quadro 16 - Aplicação da matriz GUT (continuação).

Cód.	Manifestação Patológica	Elemento	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	GxUxT	Ordem
8	Quebras	Rev. cerâmico	2	5	1	10	6°
9	Sujidades	Cobertura	3	1	2	6	8°
10	Quebras	Cobertura	4	5	3	60	3°
11	Infiltração	Cobertura	5	5	5	125	1°

Essa ordem mostra que os piores problemas estão relacionados a erros de execução e falta de manutenção, que fazem com que a água, um dos principais agentes causadores de manifestações patológicas, seja responsável por parte dos problemas encontrados.

4. CONCLUSÃO

Após a análise documental e vistoria do complexo, identificou-se que o empreendimento possui vícios de manutenção e alguns construtivos referentes à vedação e alvenarias – revestimentos e fachadas; instalações elétricas – entrada de energia; instalações hidros sanitárias – reservatórios, sanitários e redes de esgoto e cobertura e impermeabilização.

No presente caso não existe plano de manutenção no empreendimento, devendo ser verificado as atividades de manutenção realizadas e devidamente registradas (evidências), comparando-as com o conjunto de recomendações mínimas de fabricantes e fornecedores de equipamentos e sistemas inspecionados de modo a constatar se estão sendo atendidas.

São elementos observados no trabalho de inspeção predial, que devem ser considerados na classificação da qualidade de manutenção: falhas constatadas; não conformidades registradas nos documentos pertinentes à manutenção; classificações dos graus de risco; atendimento às necessidades da edificação, considerados os conceitos de desempenho, vida útil, durabilidade, observados os atendimentos aos demais aspectos mencionados na NBR 5674 (ABNT,2012)

Diante do exposto, entende-se haver urgente necessidade na construção de um Plano de Manutenção, bem como contratar os serviços de profissional ou empresa especializada para realizar a manutenção corretiva recomendada, de modo que seja atendido todos os requisitos exigidos nas normas vigentes. Devem ser priorizados os serviços de manutenção na cobertura, alvenarias e pintura, buscando eliminar com urgência as quebras, trincas e fissuras, posteriormente eliminando as outras manifestações patológicas.

Entende-se que os problemas encontrados na unidade de saúde podem vir a agravar intensamente as enfermidades e o bem estar dos usuários da edificação, seja acentuando doenças respiratórias devido à presença de umidade ou propiciando a ocorrência de acidentes. Portanto, é de suma importância a resolução destas questões antes da reabertura do estabelecimento ao público.

5. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção*. Rio de Janeiro.

Fernandes, E. C.; Ferreira, V. (2018), “*Investigação das manifestações patológicas incidentes nas edificações utilizadas como unidades básicas de saúde de Tubarão/SC*”. Trabalho de conclusão de curso, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão.

Gomide, T. L. F., et al. (2020), “*Inspeção Predial Total*”. Oficina de Textos, 3ª ed.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE. (2012). *Norma de inspeção predial nacional*, São Paulo.

Lima, M. G. H. (2019), “*Diagnóstico de incidências de manifestações patológicas com a utilização da metodologia matriz GUT - estudo de caso*”. Monografia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

Silva, D. C. Da; Leão, M. F. (2019), “*Estudo das manifestações patológicas de uma unidade de saúde do município de Jaraguá-GO*”. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade Evangélica de Jaraguá, Jaraguá.

Aplicação da matriz GUT em manifestações patológicas de escolas públicas do centro potiguar

R. R. dos SANTOS^{1*}, J. C. de LIMA¹, K. F. B. G. da SILVA¹,
C. T. CRUZ²

*Autor de Contacto: rodrigorodrigues9798@hotmail.com

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar, Brasil.

² Doutora em Física da Matéria Condensada e Docente da Universidade Potiguar, Brasil.

RESUMO

O crescente número de obras no setor da construção civil vem gerando uma necessidade de maior fiscalização dos problemas gerados em suas estruturas. O objetivo deste artigo foi identificar e analisar as principais anomalias encontradas em três escolas do centro potiguar, utilizando como método a matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) para priorização das manifestações patológicas. Foram realizadas visitas in loco com registros fotográficos e análise dos dados através da matriz GUT. Os resultados demonstraram que a aplicação da matriz foi efetiva para os danos encontrados, onde foram observados um número significativo de falhas devido a exposição e corrosão em armaduras.

Palavra-chave: Construção Civil; Escolas; Manifestações patológicas; Matriz GUT

RESUMEN

El creciente número de obras en el sector de la construcción ha generado la necesidad de una mayor supervisión de los problemas generados en sus estructuras. El objetivo de este artículo fue identificar

y analizar las principales anomalías encontradas en tres escuelas del centro de Potiguar, utilizando como método la matriz GUT (Gravedad, Urgencia y Tendencia) para la priorización de las manifestaciones patológicas. Las visitas se realizaron in situ con registros fotográficos y análisis de datos a través de la matriz GUT. Los resultados mostraron que la aplicación de la matriz fue efectiva para los daños encontrados, donde se observó un número significativo de fallos por exposición y corrosión en la armadura.

Palabras clave: Construcción civil; Escuelas; Manifestaciones patológicas; Recuperación; Matriz GUT.

ABSTRACT

The growing number of works in the construction industry has generated a need for greater supervision of the problems generated in their structures. The objective of this paper was to identify and analyze the main anomalies found in three schools in the center of Potiguar, using as method the GUT matrix (Gravity, Urgency and Tendency) for prioritization of pathological manifestations. We conducted site visits with photographic records and data analysis using the GUT matrix. The results showed that the application of the matrix was effective for the damage found, where a significant number of failures due to exposure and corrosion in reinforcement were observed.

Keywords: Civil construction; Schools; Pathological manifestations; Recovery; GUT matrix.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil no Brasil vem crescendo e gerando um número maior de edificações. Brito (2017) mostra que cenário socioeconômico de países subdesenvolvidos, como o Brasil, faz com que as obras sejam construídas mais rapidamente e com um menor rigor sobre os processos realizados e materiais utilizados, causando uma queda na qualidade das edificações e em decorrência disso, são registrados com maior frequência manifestações patológicas em edificações

de pouca idade, e de idades mais avançadas, expondo cada vez mais os problemas acontecidos in loco (QUEIROZ et al, 2020; FERRONATO, 2016; BRITO, 2017).

A utilização de materiais de qualidade inferior ou a falta de controle nos canteiros de obra faz com que as edificações venham a apresentar sintomas e doenças em sua estrutura. Patologia é o ramo da construção civil que estuda os sintomas, mecanismos de ocorrência, causas e origens dos defeitos que ocorrem na construção (QUEIROZ et al., 2020; FERRONATO, 2016). Essas manifestações podem ser evitadas de diversas maneiras, uma delas é através da utilização do Programas de Controle de Qualidade, que consiste em um rígido controle nas etapas, desde os materiais utilizados na construção até os processos e serviços da construção (BRUM, 2003). Luduvico (2016) ainda ressalta que a patologia abrange toda as fases da construção civil, desde a elaboração do projeto até a execução da obra.

A manutenção das estruturas se faz necessária em diversas ocasiões, sendo prescritas de acordo com a NBR 14073:2014, para a elaboração de um manual de uso, operação e manutenção das estruturas que quando não seguidas e em associação da agressão dos agentes corrosivos externos, acabam gerando manifestações indesejadas nas estruturas, de modo a acarretar uma série de eventos que podem comprometer o estado limite de serviço (ELS) e em casos mais graves chegando a comprometer o estado limite último (ELU) da edificação. Para Queiroz et al. (2020) intervenções preventivas são de extrema importância para garantia da vida útil da edificação, e quanto mais cedo for realizado o diagnóstico dos problemas, mais cedo podem ser resolvidos, evitando assim danos maiores.

De acordo com Lucinda (2010), o Método GUT - Gravidade, Urgência e Tendência é uma ferramenta de priorização que fundamentada na gravidade, urgência e na tendência que os problemas podem representar para determinada estrutura. Este método utiliza números para dispor os graus a cada dano verificado e geralmente seu estudo é tendo em vista efeitos a médio e longo prazo. Nesse método, a Gravidade (G) demonstra o dano potencial da manifestação e a importância da sua análise. A Urgência (U) define a necessidade da tomada de decisão para a resolução da anomalia. Já a Tendência (T) explicita o agravamento daquele problema ao longo do tempo se não tratado adequadamente. (MARTINS *et al.* 2017)

Segundo Nóbrega (2019), os problemas patológicos identificados em diversas edificações são gerados em sua maioria por falta de planejamento, má execução e falta de manutenção ao longo do tempo, além dos fatores ambientais em que a estrutura se encontra exposta. Esses problemas patológicos podem se manifestar no curto prazo logo após a finalização da obra ou no longo prazo, podendo aparecer anos depois de sua finalização (BRUM, 2003).

A presença de manifestações patológicas gera uma redução da vida útil da estrutura, visto que as patologias estão diretamente ligadas ao desempenho dos materiais utilizados, planejamento, execução e mão de obra qualificada (TAGUCHI, 2010; FERRONATO, 2016). Para que essas manifestações patológicas existentes tenham o tratamento adequado, faz-se necessária uma análise criteriosa, onde é preciso identificar suas possíveis causas, chegando a sua origem, possibilitando assim a aplicação do tratamento adequado (FERRONATO, 2016).

Este artigo tem como objetivo identificar e analisar as principais manifestações patológicas, utilizando a matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), em três escolas do centro potiguar.

2. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado em três instituições de ensino na região centro do estado do Rio Grande do Norte no qual foram identificadas e analisadas as principais manifestações patológicas, utilizando como método a matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) como priorização das anomalias.

Figura 1: Metodologia



Fonte: Autores

A primeira instituição foi chamada genericamente de X e está situada na cidade de Bodó; a segunda e a terceira, Y e Z, estão situadas na cidade de Macau. A metodologia foi realizada em 4 etapas, conforme ilustrado na Figura 1.

Na primeira etapa foi realizada a revisão bibliográfica sobre manifestações patológicas nas edificações e utilização da matriz GUT, objetivando embasar a escrita e auxiliar nas etapas posteriores do estudo.

Na segunda etapa foi realizada uma visita técnica em cada instituição onde foi executada uma inspeção visual de caráter prévio com o intuito de realizar um levantamento das manifestações patológicas presentes na estrutura, para tanto foram realizados registros fotográficos das áreas mais degradadas.

Tabela 1: Matriz GUT

Pontos	Gravidade	Urgência	Tendência	G x U x T
	Prejuízos de nenhuma decisão ser tomada	Necessidade de tomada de decisão	Evolução do problema caso nenhuma decisão seja tomada	
5	Extremamente graves	Imediatamente	Agravamento imediato	$5 \times 5 \times 5 = 125$
4	Muito Graves	Urgentemente	Agravamento a curto prazo	$4 \times 4 \times 4 = 64$
3	Graves	O quanto antes possível	Agravamento em médio prazo	$3 \times 3 \times 3 = 27$
2	Pouco Graves	Mediana	Agravamento em longo prazo	$2 \times 2 \times 2 = 8$
1	Sem gravidade	Pouca	Não há indícios de que irá se agravar	$1 \times 1 \times 1 = 1$

Fonte: Adptado de Verzola et al. (2014)

Em seguida, na terceira etapa, fez-se um levantamento das anomalias presentes e em seguida foi aplicada a metodologia da Matriz GUT - Gravidade, Urgência e Tendência, apresentada na Tabela 1, também é conhecida como Matriz de Prioridades, a qual auxilia na priorização de resolução de problemas. De acordo com Daychoum (2012), no critério Gravidade são classificados os efeitos em caso de nenhuma providência ser tomada acerca do problema; já no quesito Urgência avalia-se o quão necessário se faz tomar uma decisão para resolver o problema encontrado, e no critério Tendência pode ser avaliada a evolução que pode acontecer com o problema encontrado. Cada critério para avaliação da matriz GUT recebe uma pontuação de 1 a 5, onde 1 é menos grave e 5 mais grave, sendo o resultado a multiplicação da pontuação atribuída a cada um dos critérios. Segundo de Azevedo Ferreira et al. (2014) e Braga et al. (2019) a método GUT é de extrema importância e utilidade para resolução de problemas, visto que é possível classificar os problemas encontrados de acordo com sua gravidade e assim traçar as melhores estratégias para solução.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Escola X

Na escola X, foram identificadas manifestações patológicas no banheiro da escola e no pátio. Verifica-se na Figura 2 o deslocamento cerâmico nas paredes, que pode ter sido ocasionado por má execução e/ou utilização de materiais de baixa qualidade, prejudicando assim a aderência entre a placa cerâmica e a superfície. Na Figura 3 nota-se a degradação da pintura com a presença de mofo e agentes biológicos, possivelmente ocasionado por falha ou ausência na impermeabilização da laje, onde possivelmente ocorre a infiltração de águas de origem pluviais. A não correção desse problema pode ocasionar danos maiores, visto que o agravamento pode chegar na armadura da laje e assim comprometer a estabilidade de estrutura.

Figura 2: Desplacamento cerâmico



Fonte: Autores

Figura 3: Infiltração na laje



Fonte: Autores

Tabela 2: Avaliação utilizando a Matriz GUT

Escola	Foto	Descrição	G	U	T	GUT
X	2	Desplacamento cerâmico	3	2	2	12
X	3	Degradação da pintura por infiltração	4	4	3	48

Fonte: Autores

Na avaliação das manifestações patológicas, como visto na Tabela 2, o deslocamento cerâmico da Figura 2 foi classificado de uma maneira geral como não sendo um problema que requer imediata resolução, porém se fazem necessárias medidas que evitem o agravamento da situação. As manifestações da Figura 3 foram classificadas como as mais graves e urgentes da escola em questão com uma pontuação de 48 na matriz GUT, sendo levado em consideração os riscos que os alunos da escola estão sujeitos em caso de um possível colapso da estrutura danificada pelas manifestações patológica.

Para o deslocamento cerâmico uma possível solução é a substituição do revestimento presente. Para as manifestações da degradação da pintura por infiltração, a sugestão é que a pintura seja substituída aplicando uma camada impermeabilizante na laje, visando proteger a laje da infiltração que pode estar ocasionando as manifestações encontradas.

3.2 Escola Y

Na escola Y foram analisadas as manifestações patológicas encontradas nos pilares de suporte do reservatório de abastecimento da instituição, consideradas as mais críticas.

Na Figura 4 observa-se a exposição e oxidação da armadura possivelmente devido ao uso de materiais inadequados que causaram um ancoramento frágil entre a matriz cimentícia e a armadura, fazendo com que a camada de concreto se desprenda da armadura. A não correção pode gerar danos maiores e comprometer a estabilidade da estrutura, podendo chegar a causar o colapso da estrutura.

Figura 4: Exposição da armadura e oxidação



Fonte: Autores

Na Figura 5 observa-se também uma exposição da armadura e fissuras ao longo de toda a estrutura. Essas fissuras podem ter sido geradas pela falta de técnicas adequadas durante a execução do projeto juntamente com a utilização de materiais inadequados. O não tratamento dessas manifestações podem levar a exposição total da armadura causando uma possível corrosão, de forma que a estabilidade da estrutura seja comprometida.

Figura 5: Exposição da armadura e fissuras



Fonte: Autores

Tabela 3: Avaliação utilizando a Matriz GUT

Escola	Foto	Descrição	G	U	T	GUT
Y	4	Exposição da armadura e corrosão	5	5	4	100
Y	5	Exposição da armadura e fissuras	4	4	3	48

Fonte: Autores

As manifestações patológicas foram classificadas e tiveram suas pontuações expostas na Tabela 3. As exposições e corrosão de armadura da figura 4 foram tratadas como as mais urgentes da escola e que necessita de intervenção imediata com uma pontuação de 100 na matriz GUT, esses riscos foram determinados baseado no estado de deterioração das estruturas analisadas. As fissuras e exposição da armadura mais sutis na Figura 5 foram consideradas pouco graves, mas com necessidade de intervenção o mais breve possível para se evitar o agravamento da situação.

Para a corrosão e exposição da armadura foi apresentado como possível solução a aplicação de produto anticorrosivo e reposição da área de concreto degradada, cabe salientar que se deve realizar um estudo mais profundo a respeito do estado atual da armadura da estrutura e após verificação tomar as necessidades cabíveis ao seu estado. Para a exposição mais suscita e fissuras, foi sugerido também para remoção do material residual e reposição da área de concreto perdida juntamente a aplicação de produto anticorrosivo.

3.3 Escola Z

Na escola Z, foram identificadas anomalias consideradas críticas na região externa das salas de aula e no pátio da escola.

Nas Figuras 6 e 7, é possível identificar a degradação e deslocamento do reboco da edificação, causando uma exposição da alvenaria e da armadura dos pilares de extremidade, que pode ter sido provocado pela má qualidade nos materiais na execução, ou pela ausência de chapisco para melhor aderência do reboco. Observa-se também a utilização de material argiloso.

Figura 6: Exposição da alvenaria e do com alto nível de oxidação dos pilares.



Fonte: Autores

Figura 7: Exposição da alvenaria e do com alto nível de oxidação dos pilares.



Fonte: Autores

Na Figura 8, foi observado a degradação da estrutura, exibindo um material argiloso que pode ter sido utilizado na execução da edificação, não sendo um material indicado para a matriz cimentícia, podendo causar graves problemas quando exposto a umidades a curtos e longos períodos.

Figura 8: Fissuração e degradação da estrutura.



Fonte: Autores

Tabela 4: Avaliação utilizando a Matriz GUT

Escola	Foto	Descrição	G	U	T	GUT
Z	6 e 7	Exposição da alvenaria e da armadura dos pilares de extremidade	4	3	4	48
Z	8	Degradação da pintura, fissuração generalizada por utilização de material inadequado	3	2	2	12

Fonte: Autores

Na avaliação das manifestações patológicas, como visto na Tabela 4, a exposição da alvenaria e da armadura dos pilares de extremidade nas Figuras 6 e 7 foram tratadas como as mais urgentes da escola com uma pontuação de 60 na matriz GUT, sendo essa pontuação atribuída ao risco que a infiltração de água em um médio período de tempo pode oferecer aos pilares da edificação. A fissuração generalizada causada por uso inadequado foi considerada grave devido ao risco de poder causar um deslocamento do reboco, sendo adequado intervenção o quanto antes para retirada do material e reposição de um material adequado.

Para exposição da alvenaria e da armadura dos pilares de extremidade foi apresentada como solução a retirada do material residual de argamassa e aplicação de chapisco seguida de um novo material com matriz cimentícia para proteção da alvenaria, e para os pilares sendo necessária a aplicação de um produto anticorrosivo e restituição da camada de proteção. Sendo inevitável um estudo mais aprofundado sobre o estado atual da armadura dos pilares, e após a análise, tomar as necessidades cabíveis ao seu estado. Para as fissuras identificadas pelo uso de material inadequado foi sugerido a remoção total do material e restituição da área de argamassa com material adequado.

4. CONCLUSÕES

É possível concluir que a aplicação da matriz GUT foi efetiva nas principais manifestações patológicas encontradas nas três escolas do centro potiguar, permitindo traçar um plano de recuperação mais direcionado e focado em começar por onde há maior prioridade.

Na escola X foram verificadas anomalias de degradação da pintura por infiltração e deslocamento cerâmico. A degradação da pintura foi tratada como grave e tomada de decisão urgente e agravamento a médio prazo, chegando a 48 pontos na matriz GUT.

Na escola Y, foram constatados danos de exposição e corrosão em armadura e também fissuras e exposição da armadura. A exposição e corrosão foram pontuadas como extremamente graves e de necessidade de intervenção imediata e com agravamento a curto prazo, atingindo a pontuação de 100 pontos na matriz GUT, já as fissuras e exposição de armadura expostas obtiveram 48 pontos no GUT.

Por fim, foi verificado na escola Z a presença da exposição da alvenaria e da armadura dos pilares de extremidade foram consideradas graves e de necessidade de intervenção o quanto antes possível com agravamento a curto prazo pontuando 48 na matriz GUT. Ainda na escola Z foi verificada degradação da pintura e fissuração generalizada pela utilização de material inapropriado, estes danos foram considerados graves e com medidas a serem assim que possível com agravamento a logo prazo, com um total de 12 pontos.

É válido salientar que as sugestões de reparo das edificações são baseadas no método de inspeção visual, estudos e ensaios mais específicos e aprofundados se fazem necessários para definir com exatidão a situação das edificações e manifestações patológicas encontradas.

Com isso, o presente trabalho atingiu aos objetivos propostos quando as manifestações analisadas foram classificadas e identificadas através do método da matriz GUT.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037: *Diretrizes para Elaboração de Manuais de Uso, Operação e Manutenção das Edificações - Requisitos para Elaboração e Apresentação dos Conteúdos*. Rio de Janeiro, p.16. 2011 (versão corrigida: 2014)

Braga, I. C., Brandão, O. F. S., Ribeiro, F. R. C., Diógenes, A. G. (2019). “*Aplicação da Matriz GUT na análise de manifestações patológicas em construções históricas*”. Revista ALCONPAT, 9(3), pp. 320 – 335, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.400>

Brito, T. F. “*Análise de manifestações patológicas na construção civil pelo método Gut: Estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior*”. 2017. 77 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Cap. 1.

Brum, F. S, Oliveira, R. S., Soares, M. T., Carmo, I. O. P. “*Patologia das construções*”. (Laboratório de Materiais de Construção Civil, Centro de Tecnologia, UFSM).

De Azevedo Ferreira, Maxwell; De Oliveira, Ualison Rébula; De Almada Garcia, Pauli Adriano. Quatro ferramentas administrativas integradas para o mapeamento de falhas: um estudo de caso. *Revista Uniabeu*, v. 7, n. 16, p. 300-315, 2014.

Daychoum, Merhi. “*40+ 20 ferramentas e técnicas de gerenciamento*”. Brasport, 2018.

Delgado, R. C. O. B. Nobrega, p. N. “*Patologias na construção civil - Análise das principais manifestações patológicas em residências do município de Paraú-RN*”. 2019 – Trabalho de conclusão de curso - universidade federal rural do semiárido – UFERSA

Ferronato, Angélica. “*Estudo das principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas em habitações residenciais de interesse social*”. 2017.

Martins, N, Pessoa, R., Nascimento, R. (2017). Priorização na Resolução de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado: Método GUT. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, 2(3). <https://doi.org/10.25286/rep.v2i3.707>

De Oliveira, L. K M. Carneiro, F. Y. S. Fernandes, A. C. A. F. De Oliveira, A. D. Marinho, R. O. “*Utilização da matriz gut na priorização de manifestações patológicas em sistemas prediais hidráulicos e sanitários*”. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2018.

Luduvico, T. S. “*Desempenho a estanqueidade à água: interface janela e parede*”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7928>.

Martins, N., Pessoa, R., Nascimento, R. Priorização na Resolução de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado: Método GUT, *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, 2017. 2 (3): 139-147.

Nazario, Daniel. “*Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde*”. 2012.

De Queiroz, A. B. R. Marques, V. D. Cruz, C. P. T. Dos Santos, K. F. Dos Santos, R. R. Lucena, M. M. “*Análise de manifestações patológicas na balaustrada da Av. Getúlio Vargas em Natal/RN: Um estudo de caso*”. Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT, Fortaleza, 2020.

Taguchi, M. K. “*Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações*”. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Cap. 1.

Verzola, Simone Nunes; Marchiori, Fernanda Fernandes; Aragon, José Octávio. “*Proposta de lista de verificação para inspeção predial x urgência das manutenções*”. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XV ENTAC, Maceió: Alagoas (Brasil), p. 1226-1235, 2014.

Probability of corrosion initiation in RC structures by chlorides – Case study of a Pier in Brazil

M. Barbosa^{1*}, D. Val²

*Autor de Contacto: maxtimo@globo.com

DOI: [se asigna al publicar el artículo](https://doi.org/10.4322/conpat2021.593)

¹ Civil and Environmental Engineering Department, University of Brasília, Brasília, Brazil.

² Institute for Infrastructure & Environment, Heriot-Watt University, Edinburgh, Scotland

RESUMEN

Este estudio de caso pretende estimar la probabilidad de inicio de corrosión con cloruro a lo largo del tiempo en un muelle de concreto reforzado construido en Brasil en 2005. Se realizó un enfoque de confiabilidad utilizando la ayuda de Microsoft Excel Visual Basic (VBA), por medio de simulaciones de Monte Carlo. Se aplicó un modelo semi-empírico basado en fib (2006). Los resultados muestran una capacidad de servicio inadecuada del muelle durante su vida de diseño. Se observó que la probabilidad de inicio de corrosión depende en gran medida de la concentración de cloruro en la superficie. Estos resultados utilizando datos de 2010 implican que el mantenimiento temprano de las estructuras marinas puede ser más económico, pero nuevas mediciones de la concentración de cloruro en la superficie implicarían resultados diferentes. Este documento es un punto de referencia para el diseño futuro de estructuras marinas.

Palabras Clave: Estructuras de Hormigón Armado; Corrosión del cloruro; confiabilidad; Monte Carlo.

Probability of corrosion initiation in RC structures by chlorides – Case study of a Pier in Brazil

ABSTRACT

This case study intends to estimate the probability of chloride-corrosion initiation over time in a reinforced concrete pier constructed in Brazil in 2005. A reliability approach utilizing the aid of Microsoft Excel Visual Basic (VBA) was performed, utilizing Monte Carlo simulations. A semi-empirical model based on fib (2006) was applied. The results show an inadequate serviceability of the pier during its design life. It was noticed the probability of corrosion initiation is highly dependent on surface chloride concentration. These results utilizing data from 2010 imply that early maintenance of marine structures can be more economical, but new measurements of the surface chloride concentration would imply different results. This paper is a benchmark for future design of marine structures.

Keywords: Reinforced Concrete Structures; Chloride corrosion; reliability; Monte Carlo.

Probabilidade de início de corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado – Estudo de caso de um píer no Brasil

RESUMO

Este estudo de caso pretende estimar a probabilidade de início de corrosão por cloretos ao longo do tempo em um píer de concreto armado construído no Brasil em 2005. Foi realizada uma

abordagem de confiabilidade utilizando simulações de Monte Carlo, implementadas por meio de Visual Basic (VBA). Um modelo semi-empírico baseado em fib (2006) foi aplicado. Os resultados ilustram uma inadequada serviceabilidade do píer durante a sua vida útil. Percebeu-se que a probabilidade de início da corrosão é altamente dependente da concentração superficial de cloretos. Esses resultados utilizando dados de 2010 mostram que a manutenção antecipada de estruturas marinhas pode ser mais econômica mas novas medições da concentração de cloretos na superfície implicariam resultados diferentes. Este documento é uma referência para o futuro projeto de estruturas marinhas.

Palavras chave: Estruturas de Concreto Armado; Corrosão por cloretos; confiabilidade; Monte Carlo.

1. INTRODUCTION

According to NACE (2016), the global cost of corrosion is estimated to be 3.4 % of the global Gross Domestic Product. Among the diverse structures affected by corrosion are reinforced concrete structures (RC), which are component of the majority of the world's infrastructure. In the past decades RC has become dominant in the construction of many structures such as bridges, piers, waterways and civil buildings (Howlander et al., 2013).

In RC structures there are two relevant forms of corrosion, one induced by atmospheric carbon dioxide and the other by free chlorides. Such process occurs by the break of the passivation film provided by the steel dioxide. This phenomenon of expansive characteristics can lead to the appearance of high tensions, originating cracks and later chipping of the concrete cover. All these factors may cause a loss of the cross section and adherence between the concrete cover and the steel, and, because of this condition, the tension transference amid the material is almost impossible, potentially causing the structure to collapse (Oliveira Andrade, 2001).

In this paper, the corrosion induced by chlorides will be targeted. This type of corrosion occurs due to the penetration of salt spray, almost always present in the atmosphere near marine construction, which characteristically provides chloride ions, aggressive to RC structures.

Although different forms of chloride contamination occurs, as the permeation of de-icing salts and the presence of chloride containing additives in the concrete mix (accelerators containing CaCl_2 (calcium chloride)) (Bhargava et al., 2011), this study will be concerned with the direct contact of the concrete with seawater and its waves splashing that occurs in structures located on the seafront, as piers. Seafront structures are the most vulnerable to chloride-induced corrosion (Figueiredo, 2013).

The unfavorable relative humidity and temperature conditions, typical of tropical countries as Brazil, accelerates the chloride-induced corrosion process (El Hassan et al., 2010). Thus, in the wet and hot Brazilian coastal cities the risk of chloride induced corrosion is even higher.

Aggravating this fact, the maintenance of structures isn't ideal in Brazil, causing the early repair of many reinforced concrete structures. For this reason, projects involving construction in unfavorable conditions usually are more conservative, with higher compressive strength and lower water/cement ratio. Predicting the time to corrosion initiation when designing a RC structure could reduce the risk of corrosion initiation during service life dramatically and enable the designers to justify their approach, more or less conservative, in terms of compressive strength and water/cement ratio.

To provide a tool for the design process of reinforced concrete structures in marine environments, this paper, aided by a Monte Carlo based reliability study, demonstrate the application of time to corrosion initiation models by utilizing the data obtained from a pier constructed in 2005 in the coastal area of Brazil, as described by Araújo & Panossian (2010) and seen in Figure 1. With the

results generated it will be possible to assess if the pier under analysis was over or under designed.

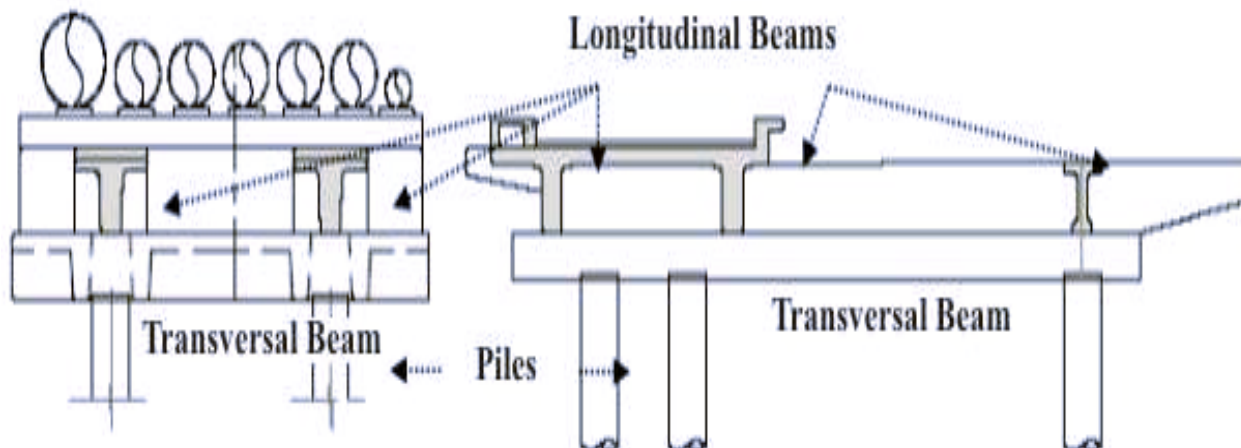


Figure 1. Schematic section of the pier analyzed. (adapted from Araújo & Panossian, 2010).

2. METHODS

With the evolution that has happened in the past decades in diverse knowledge areas, the life span prediction of concrete structures related to the time to corrosion initiation can be estimated minimizing the inherent uncertainties of the results obtained.

In this study, the Monte Carlo simulation method was used. The Monte Carlo simulation method is a computerized mathematical technique that allows considering risk in quantitative analysis and decision-making. The use of Monte Carlo simulation is justified by the provisions it delivers to the user, as a range of possible outcomes and the probabilities of occurrences of these results according to the chosen action as a decision. It shows the extreme possibilities - the results of the boldest and the most conservative decisions - and all the possible consequences of more moderate decisions.

There are several models discussing chloride-induced corrosion, and these models can be divided into two groups. One group considers the interaction of chloride ions with another ions existent in the concrete interface and the other does not consider this phenomenon. Considering the interaction between chloride ions with other ions involves several implications, as taking into account the flux of different ions proposed by Nernst-Planck equation (Val & Stewart, 2009). In addition, there are not sufficient data for the adequate and precise probabilistic use of these models due to the uncertainties related with the parameters considered in this group. The use of the second group is more frequent, because even considering parameters with relative uncertainties, such as the moisture diffusion, coupled chloride diffusion, heat transfer and chloride binding, this group is simpler and more easily handled. Nevertheless, the second group models are not very appropriate to the use of reliability analysis, such as in this study, mainly because of the lack of data yet present in this group (Val & Stewart, 2009).

Consequently, among the existent models, this case study chose to utilize the models proposed by (fib, 2006), which are based on Fick's second law of diffusion. The model is based on this formula because of the characterization of the chloride migration as a pure diffusion process.

2.1 Model description

Although the referred model is a semi-empirical model, the results yielded are very accurate, as shown in Figure 2.

The model is described as follows.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

The life span prediction of reinforced concrete structures is commonly done by the measurement of percentages of chloride ions in specified depths in the structural element, in a certain amount of time of exposure t . With the resultant profile of chloride-penetration the total concentration of chloride ions (C) and the chloride diffusion coefficient (D) are obtained.

As (Val, 2012) stated, in order to fulfill the formulation of the problem, appropriate initial and boundary conditions are required to be specified, as seen in Equation 2.

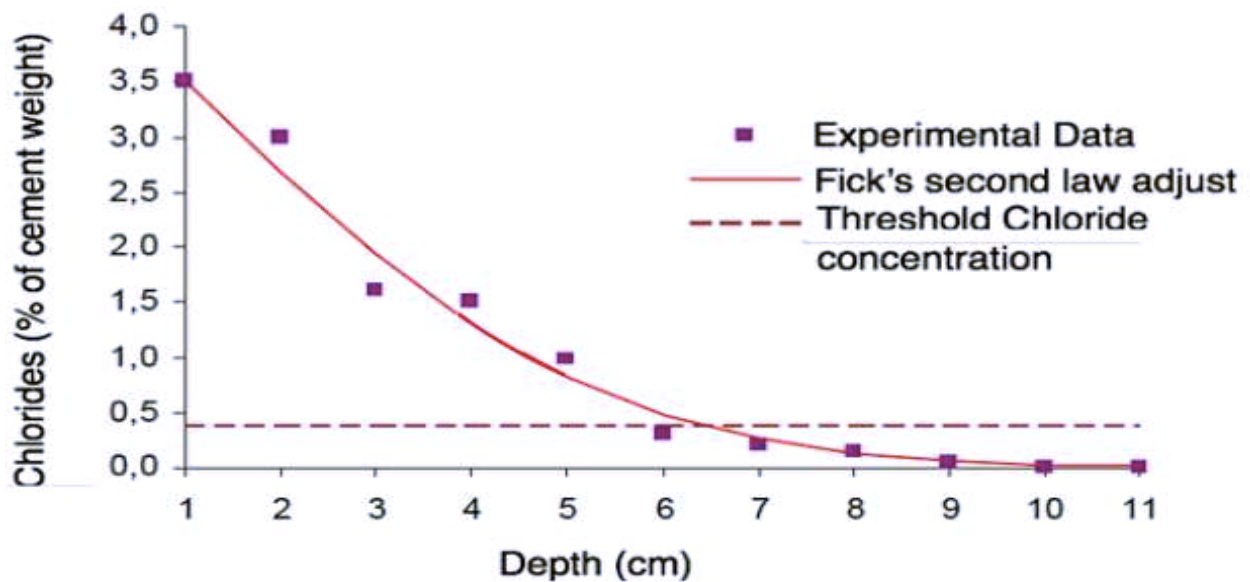


Figure 2. Typical chloride profile of a structure in time t . Adapted from (Oliveira Andrade, 2001).

$$\begin{aligned} C(x > \Delta x, t) &= C_i(x) \\ C(\Delta x, t > 0) &= C_{s, \Delta x}(t) \end{aligned} \quad (2)$$

where:

Δx is the depth of the convection zone in centimeters (where Fick's second law is not considered);

$C_i(x)$ is the initial chloride concentration in %; and

$C_{s, \Delta x}(t)$ is the chloride concentration at depth Δx in %.

Boundary conditions also applied to the model are the assumptions that the concrete element is a homogeneous, semi-infinite medium and isotropic material, and that chlorides and concrete components do not interact when chloride penetration occurs. (Oliveira Andrade, 2001)

The surface chloride concentration and the chloride diffusion coefficient may change with time. However, C_s is not assumed to depend on time because its variations normally occur in brief periods of time, therefore for long term predictions, as the one approached in this study, C_s can be

considered constant. As (Maage et al., 1996) suggested, the time-reliance of the chloride diffusion coefficient is

$$D_a(t) = D_{a,\text{ref}} \left(\frac{t_{\text{ref}}}{t} \right)^m \quad (3)$$

where:

D_a is the apparent diffusion coefficient;
 $D_{a,\text{ref}}$ is the apparent diffusion coefficient at a reference time t_{ref} ; and
 m is the age factor.

$D_{a,\text{ref}}$ can be estimated as suggested by (fib, 2006):

$$D_{a,\text{ref}} = \frac{1}{1-m} k_T D_{\text{RCM},0} \quad (4)$$

where:

k_T is a temperature parameter; and
 $D_{\text{RCM},0}$ is the reference value found by the Rapid Chloride Migration (RCM) method (Val, 2012).
 k_T is described by the Arrhenius equation

$$k_T = \exp \left(b_T \left(\frac{1}{T_{\text{ref}}} - \frac{1}{T} \right) \right) \quad (5)$$

where:

b_T is the regression parameter;
 T_{ref} the reference temperature (293K); and
 T is the ambient temperature.

The apparent diffusion coefficient is an average diffusivity over a time amount t , not representing a physical property of the concrete element over this period t . Since the chloride is assumed to remain constant with time, Eq. (1) can be solved by the combination of the description Eq. (3) providing

$$C(x,t) = C_i + (C_{s,\Delta x} - C_i) \text{erfc} \left(\frac{x - \Delta x}{2\sqrt{tD_a(t)}} \right) \quad (6)$$

where:

$D_a(t)$ is the apparent diffusion coefficient in cm^2/year ; and
 erfc is the Gaussian error function complement.

It is important to note that $D_a(t)$ not only depends on time, but also on temperature, as seen in Equation 5.

The model for estimation of the probability of corrosion initiation in this study is the one suggested by (Val & Trapper, 2008)

$$P_{\text{corrosion}}(t) = \text{Probability}[C_{\text{crit}} - C(x=c,t) < 0] \quad (7)$$

where:

$P_{\text{corrosion}}$ is the probability of corrosion initiation;
 C_{crit} is the threshold chloride concentration; and
 c is the depth of the concrete cover.

As previously mentioned, the model is applied by utilizing the resources of Monte Carlo simulation, in this study implemented by the *Visual Basic* tool of *Microsoft Excel*. Hence, each parameter used is further explained and described as a random variable or a deterministic value.

2.1.1 Description of the model parameters

2.1.1.1 The reference value found by the RCM method, $D_{RCM,0}$

Ideally, this parameter should be found by utilizing the RCM method. However, in this case study, this information was not possible to encounter. Thus, the following table, as described in (fib 2006), can be used for guidance.

Table 1. $D_{RCM,0}$ mean values, specified for each concrete type. Adapted from fib (2006)

Type of cement	$D_{RCM,0}$ in $10^{-12}(\text{m}^2/\text{s})$					
	water/cement _{EQV} ¹					
	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
CEM I 42.5 R	n.d ²	8.9	10.0	15.8	19.7	25.0
CEM I 42.5 R + A(k=0.5)	n.d ²	5.6	6.0	0.0	10.9	14.9
CEM I 42.5 R + A(k=2.0)	4.4	4.8	n.d ²	n.d ²	5.3	n.d ²
CEM III/B 42.5	n.d ²	1.4	1.9	2.8	3.0	3.4

¹ equivalent water/cement ratio, considering silica fume (SF) or fly ash (FA) with the respective efficiency factors (k-values). The considered contents were: FA – 22% of cement weight and SF – 5% of cement weight.

² n.d. – there are not available data on $D_{RCM,0}$ for these types of cement.

It is advisable that $D_{RCM,0}$ is measured after 28 days (0.0767 years, $t_{ref} = 28$ days). The $D_{RCM,0}$ is assumed to be normally distributed with a coefficient of variation (COV) of 0.2.

2.1.1.2 The age factor, m

The age factor m is described by a Beta distribution on the interval [0, 1.0]. Its values depend on the time and conditions of exposure and the concrete composition. The values of the mean and coefficient of variation of the age factor m for reinforced concrete structures are different depending on the zone in which the concrete is exposed (submerged, tidal and splash zones); these values are presented in Table 2. The m values are derived from Equation (4) by replacing the $D_{RCM,0}$ value found by the RCM method in a direct form, referring to different values of D_a , at specific points in time. Taking into consideration this fact, the $1/(1-m)$ factor does not appear in Equation (4) when performing the Monte Carlo simulation (Val, 2012).

Table 2. Coefficient of variation (COV) and mean of the age factor m . Extracted from (Val, 2012)

Type of cement	Mean	COV
Ordinary Portland Cement (OPC) CEM I; $0.40 \leq w/c \leq 0.60$	0.3	0.4
OPC with fly ash (FA) CEM I + FA; FA ≥ 20 % weight of cement; $0.40 \leq w/c_{eqv} \leq 0.60$	0.6	0.25
Blast furnace slag cement (GBFS)	0.45	

CEM III/B; $0.40 \leq w/c \leq 0.60$		0.44
-----------------------------------------	--	------

2.1.1.3 The regression parameter, b_T

The regression parameter b_T , needed for Equation (5), is adequately described by a normal distribution with mean of 4800 K and a coefficient of variation of 0.146.

2.1.1.4 The threshold chloride concentration, C_{crit}

The threshold chloride concentration C_{crit} , needed for Equation (7), is adequately described by a Beta distribution on the interval [0.2, 2.0] weight of cement with mean of 0.6 weight of cement and a coefficient of variation of 0.25. NBR 12655 describes it as deterministic, with a maximum value of 0.15.

2.1.1.5 The thickness of the concrete cover, c

The thickness of the concrete cover c is adequately described by a lognormal distribution with mean equal to its defined nominal value and standard deviation depending on the execution requirements. If it does not need additional requirements, its coefficient of variation is in the range of 8-10 mm; if it needs additional requirements, in places such as the splash zone, its standard deviation is 6 mm.

2.1.1.6 The depth of the convection zone, Δx

The depth of the convection zone Δx , needed for Equation (6), is adequately described by a Beta distribution on the interval [0, 50.0] mm with a mean of 0.9 mm and a coefficient of variation of 0.60 for the splash zone. For the submerged zone and the atmospheric zone, Δx can be treated as a deterministic parameter equal to 0. For the tidal zone, there is not sufficient information in order to give it an estimative.

2.1.1.7 The chloride concentration at depth Δx , $C_s, \Delta x$

The chloride concentration at depth Δx , $C_{s, \Delta x}$, when the source of chlorides is sea water, as in this case study, relies on several factors, as geographical location, zone type, height above sea level, dominant wind directions among others. Therefore, as used in this case study, local data is of very importance in order to perform an accurate simulation.

2.2 Monte Carlo simulations

This case study took into consideration, as previously stated, a Brazilian pier located in the coastal area of the country (Figure 1). While the pier has already been concluded, there were sufficient data to assess the analysis of the probability of corrosion initiation over time by Monte Carlo simulations. By this estimation done in VBA, it was possible to assess if the structure was properly designed regarding corrosion resilience.

Before performing the simulations, the parameter choice has to be made.

Besides the parameters input values described in section 2.1.1, there are parameters which were derived on the local data of the pier, described by Araújo & Panossian (2010), as the chloride surface concentration C_s , the thickness of the concrete cover c , the chloride concentration at depth $C_{s, \Delta x}$, the reference value found by the RCM method, DRCM,0 and the age factor m .

The piles were in the splash zone and subjected to marine salt spray, the transversal beams were under weathering and in contact with draining and condensing seawater. The construction of the

pier followed the Brazilian norms NBR 6118 and NBR 12655 and for clarification the parameters for each norm are stated in Table 3.

Table 3. Brazilian Regulative Norms concerning Reinforced Concrete structures under marine conditions. Adapted from (Araújo & Panossian, 2010)

Norm	Parameter			
	w/c ratio ¹	fck (MPa)	Chloride content (% weight of cement)	c ² (cm)
NBR 6118	≤ 0.45	≥ 40	-	5.0
NBR 12655	≤ 0.40	≥ 45	≤ 0.15	-

¹ w/c is water cement ratio

² c is the thickness of the concrete cover

In the *Excel VBA* program, for the atmospheric zone conditions, the simulations were performed utilizing the transversal beams data. The concrete cover utilized was 0.05 m; the chloride concentration at the surface of the beams had a mean of 1.36 %, percentage relative to the weight of cement. As the water/cement ratio used was 0.45 and the cement type considered was the CEM I 42.5 R, its correspondent chloride migration coefficient, $D_{RCM,0}$, was 10^{-11} m²/s. With these conditions, the age factor had a mean of 0.3 with a standard deviation of 0.12. The threshold chloride concentration, C_{crit} was firstly based on 2.1.1.4 and later based on NBR 12655.

For the splash zone conditions, the simulations were performed utilizing the piles data. The concrete cover utilized was 0.055 m; the chloride concentration at the surface had a mean of 0.95% (Araújo & Panossian, 2010), percentage relative to the weight of cement. As the water/cement ratio used in the pier's structures was 0.45 and the cement type considered was the CEM I 42.5 R, its correspondent chloride migration coefficient, $D_{RCM,0}$, was 10^{-11} m²/s. With these conditions, the age factor had a mean of 0.3 with a standard deviation of 0.12. The threshold chloride concentration, C_{crit} was firstly based on 2.1.1.4 and later based on NBR 12655.

3. RESULTS

After utilizing *Excel VBA* to implement the model performing the Monte Carlo simulation method utilizing the data provided, the graphs of the Figures 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 were generated.

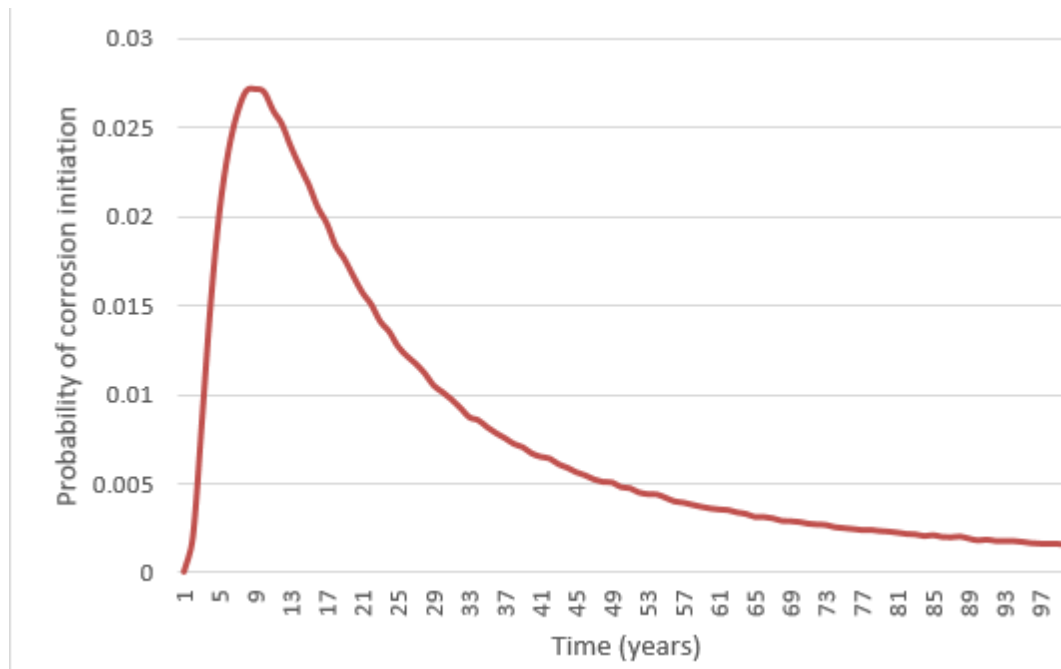


Figure 3. Annual probability of corrosion over time in years for the transversal beams in atmospheric zone conditions, adopting C_{crit} from 2.1.1.4

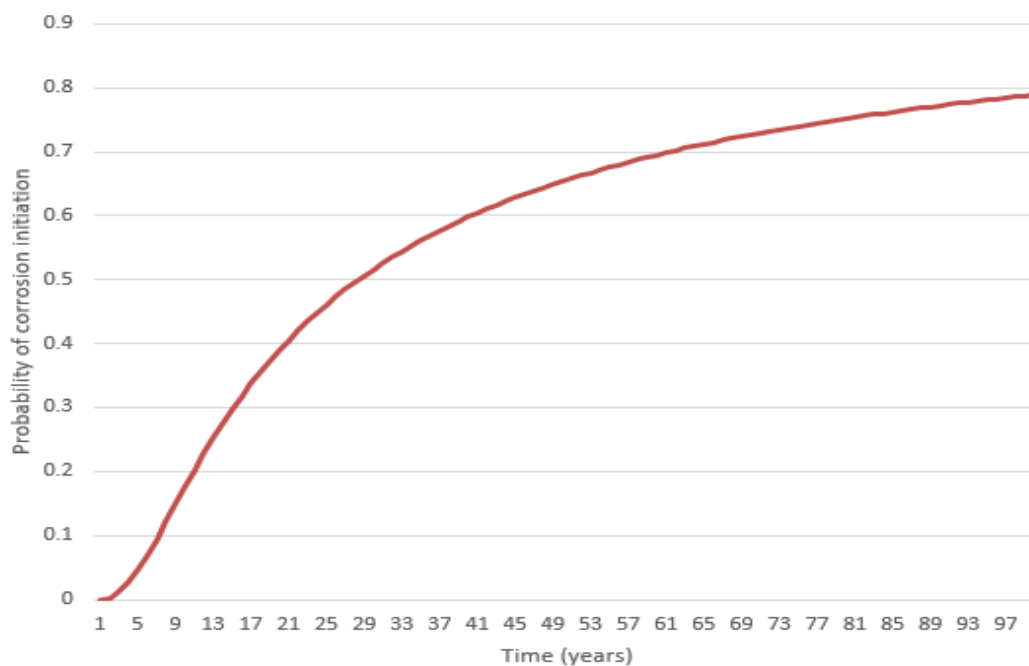


Figure 4. Cumulative probability of corrosion over time in years for the transversal beams in atmospheric zone conditions, adopting C_{crit} from 2.1.1.4

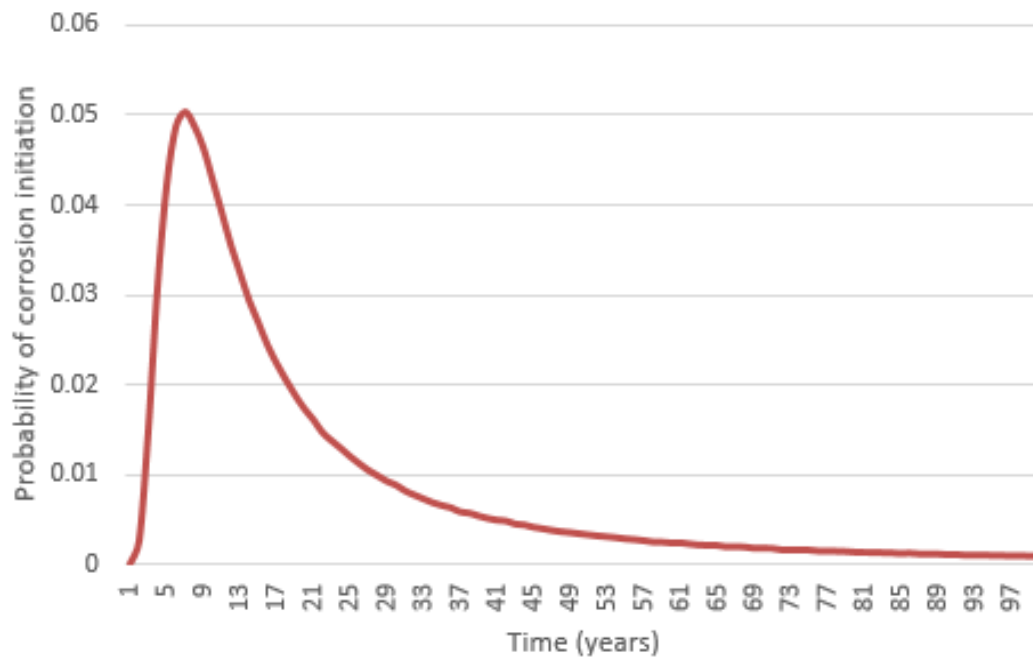


Figure 5. Annual probability of corrosion over time in years for the transversal beams in atmospheric zone conditions, adopting C_{crit} from NBR 12655

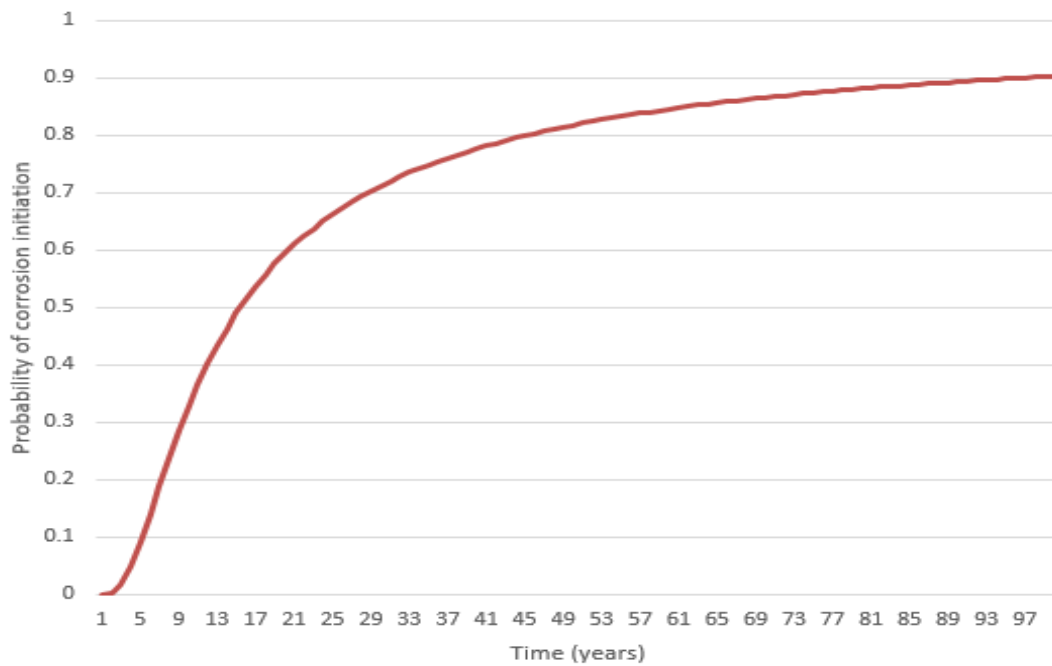


Figure 6. Cumulative probability of corrosion over time in years for the transversal beams in atmospheric zone conditions, adopting C_{crit} from NBR 12655

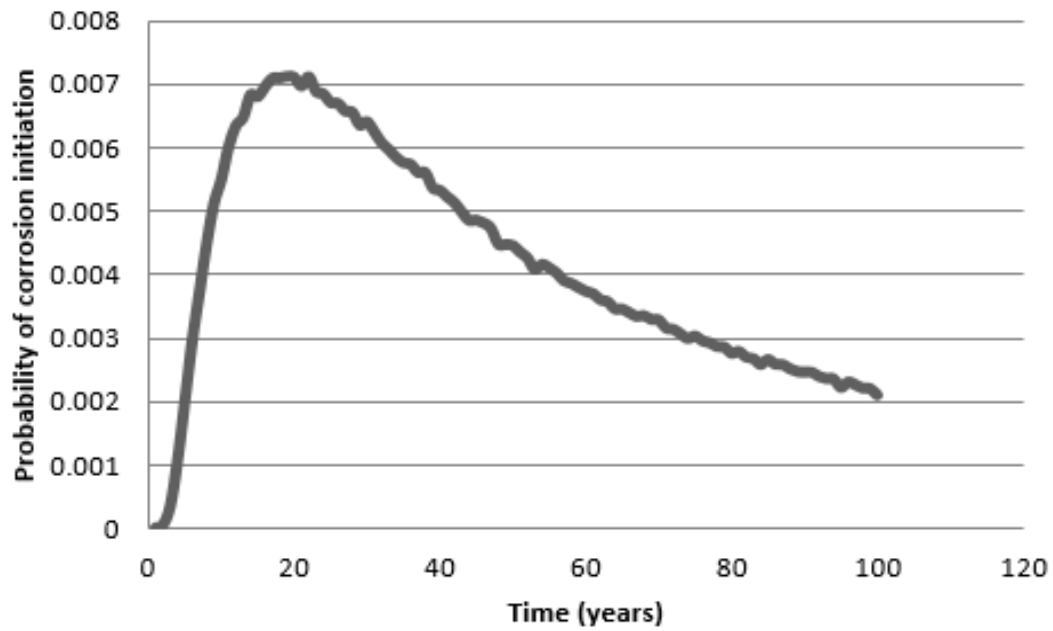


Figure 7. Annual probability of corrosion over time in years for the piles in splash zone conditions, adopting C_{crit} from 2.1.1.4

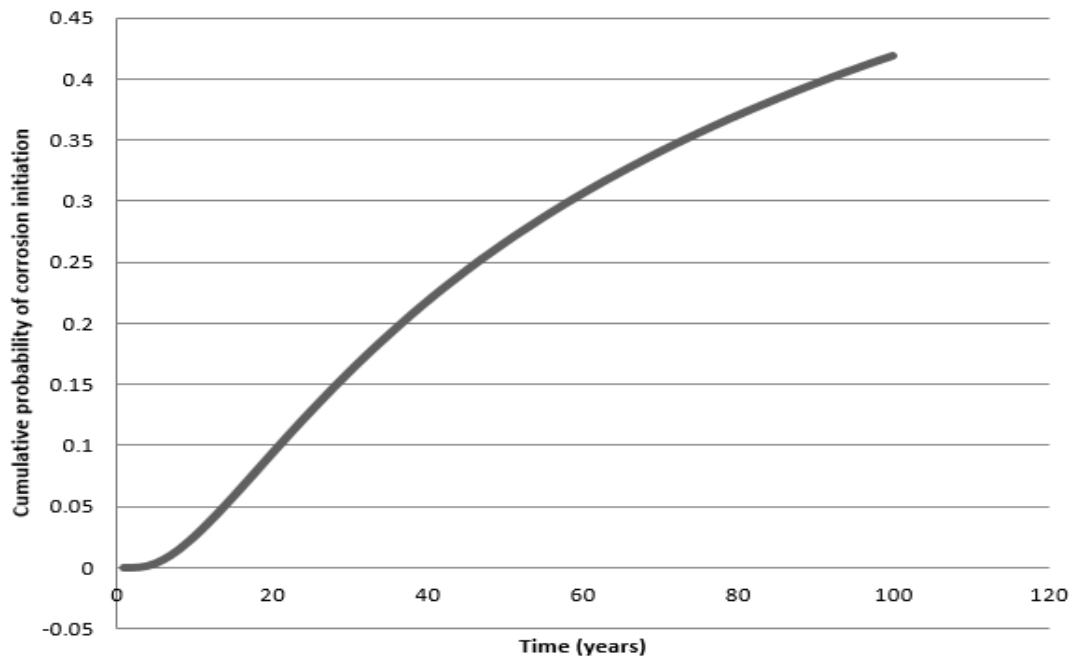


Figure 8. Cumulative probability of corrosion over time in years for the piles in splash zone conditions, adopting C_{crit} from 2.1.1.4

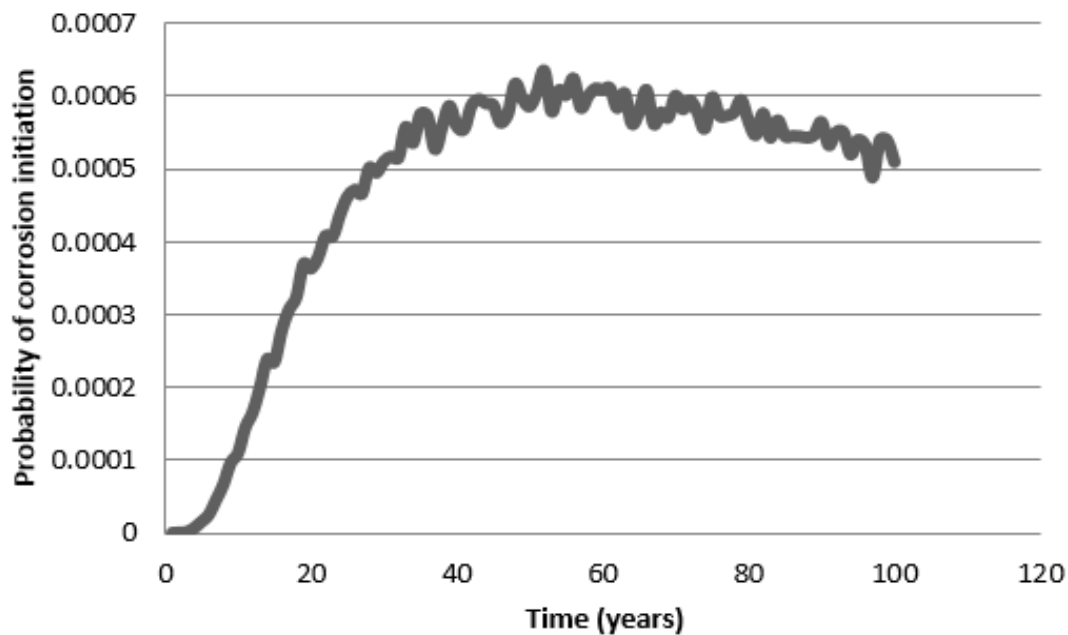


Figure 9. Annual probability of corrosion over time in years for the piles in splash zone conditions, adopting C_{crit} from NBR 12655

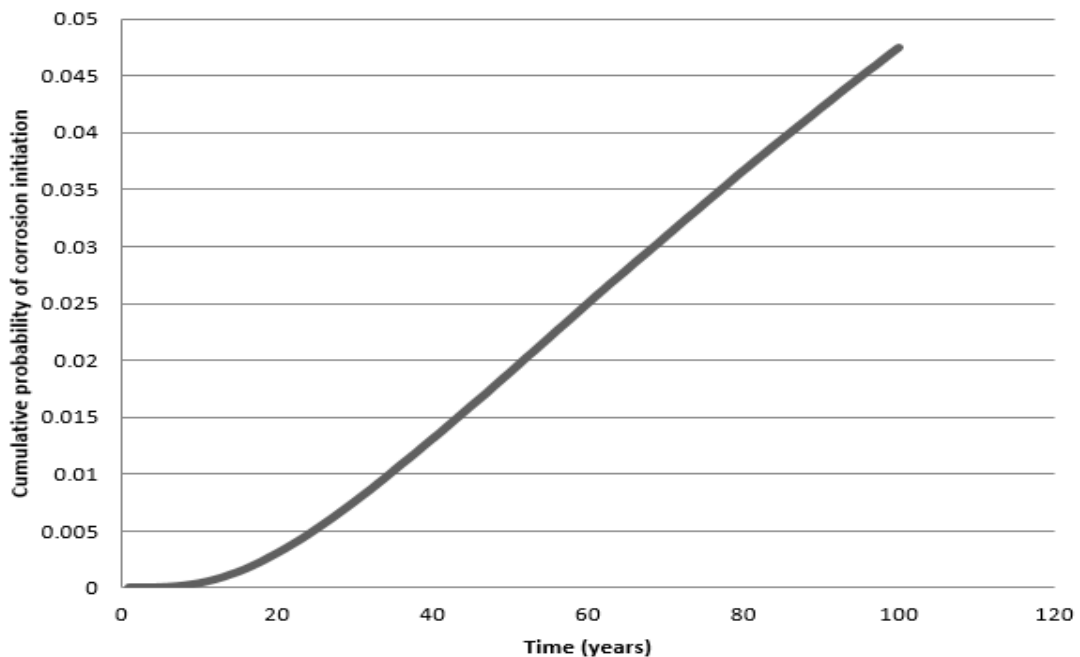


Figure 10. Cumulative probability of corrosion over time in years for the piles in splash zone conditions, adopting C_{crit} from NBR 12655

4. DISCUSSION

In Figure 3 is presented the probability to corrosion initiation on the transversal beams in each year. In the graph, the probability of corrosion initiation was found by dividing the number of failures encountered in the simulations by the number of trials of Monte Carlo simulation. In this case study, the number of trials utilized was 10000000, since the random error term tends to zero as the simulations tend to infinity (Bucher & Frangopol, 2006).

Observing Figure 4 it is possible to notice the cumulative probability of corrosion initiation over 100 years, with preference to observe the first 50 years, since it was the projected life span of the pier. The cumulative probability of corrosion initiation in the first 50 years is 65 %, much higher than the limit of 6.7% for irreversible limit state (BSI, 2002). Regarding Figure 6, this probability is even higher, 82%, due to the lower tolerance of the threshold chloride concentration of NBR 12655.

Similarly, in Figures 8 and 10, it is also possible to assess the cumulative probability of corrosion initiation over 100 years, rather the life span of the pier. Figure 8 presented 25 % of cumulative probability of corrosion initiation in the first 50 years, and Figure 10 presented 1,9%. Although the splash zone is usually considered more critical, it was found the cumulative probability of corrosion initiation in the first 50 years was lower than in the atmospheric zone simulations, for both values of threshold chloride concentration adopted, mainly due to the lower surface chloride concentration found in the piles.

These patterns found in the simulations indicates the dependency of probability to corrosion initiation on the local surface chloride concentration. It was noticeable from Figures 3 to 10 the results were very sensible of local measurements of chloride surface concentration, indicating that corrective measures of reducing surface chloride concentration early in the transversal beams and the piles are recommended to lower the probability of corrosion initiation and enhance the life span of the structure. As of 2010, when the measurements were made (Araújo & Panossian, 2010), if there aren't measures for reducing the surface chloride concentration, the 6.7% limit imposed by BSI (2002) suggests a corrosion initiation of less than 10 years for the transversal beams, with both threshold chloride concentrations considered and less than 20 years for the piles, with the threshold chloride concentration from 2.1.1.4.

5. CONCLUSIONS

This paper reported a brief overview on the mechanisms of chloride-induced corrosion and its impacts on reinforced concrete structures in a marine environment, by a case study of a pier in Brazil regarding the probability to chloride-induced corrosion initiation, utilizing Monte Carlo simulations. Based on the results obtained in this paper, the following conclusions can be drawn:

1. The pier studied has a high probability of corrosion initiation during its service life, especially in the transversal beams.
2. The limits of NBR 12655 are stricter than the international standards regarding threshold chloride concentration.
3. Early repair aimed at reducing surface chloride concentration in beams can be effective in raising the life expectancy of the structure, as surface chloride concentration greatly impacts the probability of corrosion initiation.

6. REFERENCES

Araújo, A. & Panossian, Z. (2010). *“Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho: estudo de caso”*, INTERCORR, 39p.

- Bhargava, K., Mori, Y., Ghosh. A.K. (2011). “*Time-dependent reliability of corrosion-affected RC beams. Part 3: Effect of corrosion initiation time and its variability on time-dependent failure probability*”, Nuclear Engineering and Design 241, pp. 1395-1402.
- BSI. (2002). BS EN 1990: 2002: Eurocode–Basis of structural design, pp. 95.
- Bucher, C. & Frangopol, D. M. (2006). “*Optimization of lifetime maintenance strategies for deteriorating structures considering probabilities of violating safety, condition, and cost thresholds*”, Probabilistic Engineering Mechanics 21, pp. 1-8.
- El Hassan, J., Bressolette, P., Chateauneuf A., El Tawil, K. (2010). “*Reliability-based assessment of the effect of climatic conditions on the corrosion of RC structures subject to chloride ingress*”, Engineering Structures, Volume 32, Issue 10, pp. 3279-3287.
- fib (2006). “*Bulletin 34: Model Code for Service Life Design*”, International Federation for Structural Concrete, 116p.
- Howlander M. K., Rashid, M. H., Alam, Z. (2013). “*Effect of Saline Water on the Flexural Performance of Ferrocement Wall Panel*” International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering, Vol. 02, No. 03, 6p.
- Maage, M., Helland, S., Poulsen, E., Vennesland, O., Carlsen, J.E. (1996) “*Service life prediction of existing concrete structures exposed to marine environment*”, ACI Materials Journal, Vol. 93 (6), 602-608.
- Oliveira Andrade, J. J. “*Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos*”, PhD Thesis, UFRGS, (2001), 277p.
- Figueiredo, E.J.P. & Meira, G.R. (2013). “*Corrosão das armaduras de concreto*” Alconpat. 6, p18-19.
- NACE. (2016). “*IMPACT – International measures of prevention, application and economics of corrosion technologies study*” NACE International. pp 3-4.
- Val, D. & Stewart, M. G. (2009), “*Reliability assessment of ageing reinforced concrete structures - current situation and future challenges*”, Structural Engineering International, vol 19, no. 2, pp. 211-219.
- Val, D. & Pavel A. Trapper. (2008). “*Probabilistic evaluation of initiation time of chloride-induced corrosion*” Reliability Engineering & System Safety, Volume 93, Issue 3, pp. 364-372.

Avaliação patológica do nível de deterioração de estruturas de concreto armado de edificações públicas de ensino – estudo de caso.

B. M. G. M. P. Moya^{1*}, D. A. Silva¹, A. Frare²

*Autor de Contato: beatrixmmaia@gmail.com

¹ Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Guarapuava, Paraná, Brasil

² Pesquisadora, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, Paraná, Brasil

RESUMO

O estudo avalia as manifestações patológica encontradas em estruturas de concreto armado de 11 edificações pública de uso para o ensino. A metodologia utilizada para caracterizar e analisar os tipos de patologia, nesta edificação, foi a que estima o Grau de Deterioração de Estruturas (GDE), a qual faz uso de fórmulas e organização dos dados coletados em campo. O estudo de caso se desenvolveu através de vistoria *in loco* dos elementos estruturais das edificações, classificadas em blocos, e registro fotográfico das mesmas; posteriormente, foram analisados os elementos que apresentaram patologia e determinado quais eram seus graus de deterioração. Através deste estudo foi possível observar quais as principais patologia e ocorrências que foram encontradas nestas edificações, destacando-se as manchas (29,0%); umidades (28,5%); fissuras (25,5%) e outras patologia (17%), as quais incluem flechas, eflorescências, carbonatações, corrosões, cobrimentos insuficientes e segregações.

Palavras chave: Patologia das Estruturas; Concreto Armado; Metodologia GDE/UnB.

Pathological assessment of the level of deterioration of reinforced concrete structures in public teaching buildings - case study.

ABSTRACT

The study evaluates the pathological manifestations found in reinforced concrete structures in 11 public buildings used for teaching purposes. The methodology used to characterize and analyze the types of pathology in this building was the one that estimates the Degree of Deterioration of Structures (GDE), which makes use of formulas and organization of data collected in the field. The case study was developed through an in loco inspection of the structural elements of the buildings, classified in blocks, and photographic record of the same; subsequently, the elements that presented pathology were analyzed and their degrees of deterioration were determined. Through this study, it was possible to observe the main pathology and occurrences that were found in these buildings, highlighting the spots (29.0%); humidity (28.5%); cracks (25.5%) and other pathologies (17%), which include arrows, efflorescence, carbonation, corrosion, insufficient coverage and segregation.

Keywords: Structural pathologie; Reinforced Concrete; Methodology GDE / UnB.

Evaluación patológica del nivel de deterioro de estructuras de hormigón armado en edificios públicos de enseñanza - estudio de caso.

RESUMEN

El estudio evalúa las manifestaciones patológicas encontradas en estructuras de hormigón armado en 11 edificios públicos destinados a la docencia. La metodología utilizada para caracterizar y analizar los tipos de patología en este edificio fue la que estima el Grado de Deterioro de Estructuras (DEG), que hace uso de fórmulas y organización de los datos recolectados en campo. El estudio de caso se desarrolló mediante una inspección in loco de los elementos estructurales de los edificios, clasificados en bloques, y registro fotográfico de los mismos; Posteriormente, se analizaron los elementos que presentaban patología y se determinaron sus grados de deterioro. A través de este estudio, fue posible observar las principales patologías y ocurrencias que se encontraron en estos edificios, destacando las manchas (29,0%); humedad (28,5%); grietas (25,5%) y otras patología (17%), que incluyen flechas, eflorescencias, carbonatación, corrosión, cobertura insuficiente y segregación.

Palabras clave: Patología estructurales; Hormigón armado; Metodología GDE / UnB.

1. INTRODUÇÃO

A patologia é um dos principais fatores que afetam a vida útil e durabilidade das estruturas, sendo, portanto, muito preocupante para as construções civis. Esses conceitos só foram abordados no Brasil a partir de 2003, com a inclusão da classificação quanto a agressividades na ABNT NBR 6118 (2003), onde a partir de então começaram a se preocupar com a qualidade do concreto e também do cobrimento da armadura. Antes desse período, as obras em estruturas de concreto armado não tinham essa preocupação quanto a esses aspectos, como a deterioração do concreto.

Devido a isto, muitas obras brasileiras, com 25 anos ou 18 mais, irão atingir precocemente sua vida útil de projeto e de serviço, e já apresentam patologia severas (BORDUN, 2014).

Em função disso, o setor da Construção Civil está se voltando a uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e a expansão da vida útil das estruturas de concreto armado e, também, protendido (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

Entretanto, devido a problemas ainda existentes no Brasil em relação a projeto, execução e/ou manutenção, os investimentos necessários para os reparos e manutenções das estruturas ainda é muito significativo (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Por isso, é de extrema importância o diagnóstico precoce da patologia existentes nas construções civis. Esse diagnóstico pode ser obtido por meio de diversas metodologias que demonstrem qual o grau de deterioração dos elementos que apresentem patologia, para realizar a devida manutenção e reparo. A Metodologia GDE/UnB é um exemplo de metodologia utilizada para este fim, a qual foi formulada por Castro em 1994, sendo posteriormente aprimorada e atualizada por outros autores.

A fim de identificar, caracterizar e analisar as principais manifestações patológica encontradas nas estruturas de concreto armado de um conjunto de edificações públicas, na cidade de Guarapuava no estado do Paraná-Brasil, este trabalho irá determinar o grau de deterioração destas estruturas de concreto armado, por meio da metodologia GDE/UnB para valoração e priorização de intervenções a fim de aumentar a durabilidade e vida útil da estrutura.

2. ASPECTOS GERAIS SOBRE A METODOLOGIA GDE/UNB

A metodologia GDE, cujo significado é Grau de Deterioração de Estruturas, teve sua origem em um Programa de mestrado em Estruturas e Construção Civil na Universidade de Brasília (PECC-UnB). Tal metodologia foi desenvolvida por Castro em 1994, a fim de realizar uma avaliação quantitativa do grau de deterioração em estruturas de concreto armado em edificações usuais, visando estabelecer os danos e evoluções das manifestações patológicas que podem ocorrer nessas estruturas, avaliando o desempenho dos elementos estruturais de uma edificação nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética desses e viabilizando quais são as prioridades para a realização das manutenções necessárias. Posteriormente, tal metodologia foi estudada e aprimorada por Lopes, em 1998, Boldo, em 2002, Fonseca, em 2007, Euqueres, em 2011 e Verly, em 2015 (BOAS, et al., 2018).

Em 1994, Castro, assim que aplicou esta metodologia, logo percebeu que existia uma necessidade de um número maior de aplicações, para que as fórmulas e parâmetros empregados tivessem uma melhor determinação do grau dessas manifestações. Para isso, foi criado um Caderno de Inspeções, o qual abrangia a concepção dos danos de maior incidência em cada grupo de elementos, chamados de famílias, e determinava um Fator de Intensidade do dano (Fi), a fim de facilitar os trabalhos de inspeções em estruturas de concreto armado.

Entretanto, através de estudos e aplicações da metodologia criada por Castro, foi comprovado que os cálculos realizados poderiam levar a resultados desconexos. Então, em 1998, Lopes modificou essa metodologia, alterando a fórmula do grau de deterioração do elemento, conhecida, desde Castro, por Gde.

Com o intuito de sempre melhorar a metodologia para quantificar as manifestações patológicas, Boldo, em 2002, realizou estudos para que, através do princípio já estudado por Lopes, fosse possível determinar o grau de deterioração da família dos elementos (Gdf) em edificações de concreto armado com diferentes finalidades de ocupação, e, com isso, alterou a denominação do Caderno de Inspeções para Inspeção para Estruturas de Concreto.

Posteriormente, em 2007, Fonseca apresentou alteração em algumas fórmulas utilizadas na metodologia GDE/UnB, como a fórmula para cálculo do Grau de deterioração da família (Gdf) e a

fórmula do Grau do Dano (D), além de apresentar uma alteração nos tipos de patologia mais frequentes que podem ocorrer em estruturas de concreto armado.

Euqeres e Verly adaptaram a metodologia GDE/UnB, que era apenas utilizada em edificações de concreto armado, para utilizá-la em estruturas de pontes e estruturas de viadutos, respectivamente, nos anos de 2011 e 2015, respectivamente. Além disso, Euqeres também realizou uma modificação no antigo nome dado como Roteiro de Inspeção para Estruturas e Pontes de Concreto armado, a fim de ficar

contextualizado no novo tema que abordaria com a metodologia. E Verly, realizou algumas modificações na formulação do grau de deterioração das estruturas (Gd), além de criar um material, denominado como Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais.

Desta forma, é possível compreender que a metodologia GDE/UnB, apesar de ter sido criada para avaliação quantitativa de manifestações patológicas em edificações em concreto armado, pode, também, ser utilizada e aplicada em outros modelos de estruturas, através de inspeções e análises, avaliando tanto o elemento isolado quanto no todo. Além disso, essa metodologia também pode ter uma utilidade para manutenções corretivas, analisando os elementos com falhas de maior gravidade e/ou urgência, e concluindo qual deverá ter prioridade, tomando como base o âmbito técnico-financeiro dessas intervenções.

De acordo com Fonseca (2007), a forma de utilização dessa metodologia deve seguir os passos esquematizados em um fluxograma criado por Castro em 1994, o qual apresenta uma sequência dos procedimentos bem definidos, que facilita sua aplicação pelo inspetor da patologia.

A Figura 1 demonstra, de forma sistemática, o roteiro a ser seguido na sua aplicação, onde cada uma dessas etapas será genericamente apresentada a seguir, definindo todos os parâmetros utilizados.

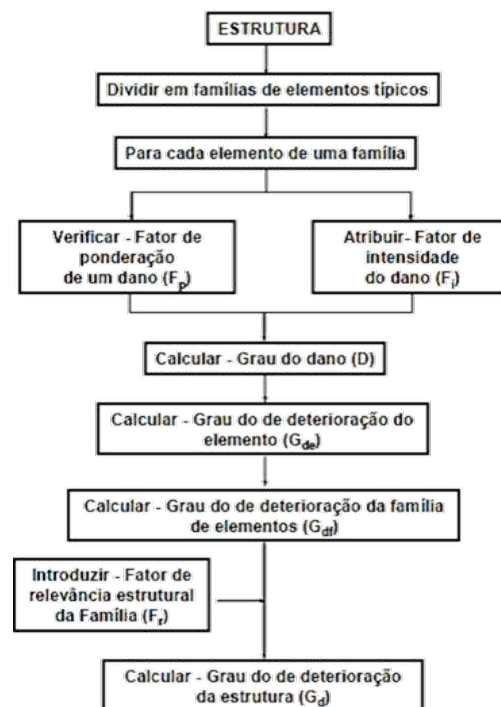


Figura 1- Fluxograma da metodologia GDE/UnB

A seguir será descrita cada etapa da metodologia GDE/UnB, de acordo com as modificações realizadas por Fonseca, em 2007, e posteriormente, quais as fórmulas utilizadas e como proceder com cada uma.

2.1 Divisão em famílias de elementos

A divisão em famílias de elementos ocorre através de um agrupamento de elementos, com funcionalidades características, da edificação, sendo divididas nas seguintes famílias:

- Pilares;
- Vigas;
- Vigas secundárias;
- Lajes;
- Cortinas (muros de arrimo);
- Escadas/rampas;
- Reservatórios (inferiores e superiores);
- Blocos de fundação;
- Juntas de dilatação;
- Elementos de composição arquitetônica.

2.2 Formulações da metodologia GDE/UnB

2.2.1 Grau de dano (D)

O grau de dano (D) de um elemento estrutural (lajes, pilares, vigas, etc.) foi proposto inicialmente por Tuutti em 1982 e generalizado pelo Código Modelo MC – 90 CEB-FIP em 1991, é calculado através dos fatores de ponderação (F_p) e o fator de intensidade (F_i), que leva em consideração a evolução da corrosão da armadura deste e para isto é necessário fazer uso de tabelas de referência estruturadas por Fonseca (2007). Seu cálculo é realizado conforme (1).

$$\begin{aligned} D &= 0,8 \cdot F_i \cdot F_p && \text{para } F_i \leq 2,5 \\ D &= (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p && \text{para } F_i > 2,5 \end{aligned} \quad (1)$$

Onde:

F_i : Fator de intensidade do dano;

F_p : Fator de ponderação do dano.

2.2.2 Grau de deterioração de um elemento (G_{de})

De acordo com Lopes (1988), o grau de deterioração de um elemento (G_{de}) é calculado através do grau do dano (D), obtido através da (1). A obtenção do Gde se dá pela (2) a seguir.

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \cdot \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{(i)} - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_{(i)}} \right] \quad (2)$$

Onde:

$D_{m\acute{a}x}$: Maior grau de dano no elemento;

m : Número de danos detectados no elemento;
 $D_{(i)}$: O grau de dano de ordem (i).

Após o cálculo realizado através da (2), é possível determinar qual o nível de deterioração do elemento da estrutura estudado de acordo com o valor obtido do G_{de} , e, com isso, adotar a ação necessária, a fim de prolongar a vida útil e a segurança deste elemento, conforme verificado através da Tabela 1.

Tabela 1 Classificação do nível de deterioração de determinado elemento da estrutura

Nível de deterioração	G_{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos)
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano)
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses)
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

2.2.3 Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})

Para o cálculo do grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}), seguindo os estudos realizados por Fonseca (2007), deve-se atentar primeiramente ao valor obtido com o grau de deterioração do elemento estrutural (G_{de}), que deve obter um valor médio ou superior, conforme Tabela 1, ou seja, seu valor deve ser maior ou igual a 15. O cálculo do G_{df} , é realizado a partir da (3).

$$G_{df} = G_{de_{máx}} \cdot \sqrt[3]{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de_{(i)}} - G_{de_{máx}}}{\sum_{i=1}^m G_{de_{(i)}}}} \quad (3)$$

Onde:

$G_{df_{máx}}$: Grau de deterioração máxima do elemento;

$G_{df_{(i)}}$: Grau de deterioração do elemento de ordem (i).

2.2.4 Fator de relevância estrutural (F_r)

O último fator considerado para cálculo do grau de deterioração da estrutura (G_d) é o fator de relevância estrutural (F_r), o qual, de acordo com Moreira (2007), tem por objetivo considerar a

importância relativa das diversas famílias que subdividem a estrutura quanto ao seu comportamento e desempenho. Esse fator varia de 1 a 5, e seu valor é correspondente a família que faz parte, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 Fatores de relevância estrutural

Famílias em conjunto	Fatores de relevância estrutural (F_r)
Elementos de composição arquitetônica	1
Reservatório superior	2
Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias e juntas de dilatação	3
Lajes, fundações, vigas secundárias e pilares secundários	4
Vigas e pilares principais	5

2.2.5 Grau de deterioração da estrutura (G_d)

A fim de conhecer qual o grau de deterioração de uma determinada estrutura, é necessário o conhecimento do fator de relevância de cada família, conforme especificado na Tabela 2, e o grau de deterioração da família, estipulado conforme (3). Após isso, aplica-se esses valores na (4) para obter qual o grau de deterioração global da estrutura (G_d).

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^K F_{r(i)} \cdot G_{df(i)}}{\sum F_{r(i)}} \quad (4)$$

Onde:

K : Número de famílias de elementos presentes na edificação;

De maneira semelhante ao que ocorre com o grau de deterioração do elemento (G_{de}), faz-se com o grau de deterioração global da estrutura (G_d) também, aplicando a intervenção necessária na estrutural conforme valor estipulado pela (4) e através da Tabela 3 estipula a melhor ação a ser adotada.

Tabela 3 Classificação do nível de deterioração global da estrutura

Nível de deterioração	G_d	Ações a serem adotadas
-----------------------	-------	------------------------

Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos)
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano)
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses)
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

3. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

As atividades da instituição de ensino tiveram início na cidade de Guarapuava no ano de 2011, porém ainda não eram exercidas no seu câmpus. Apenas em 2014 que as aulas começaram a serem desenvolvidas em sua sede própria, a qual está inserida em uma infraestrutura com área total de 7000 m², subdividida atualmente em 11 blocos. A instituição de ensino está sinalizada com o marcador em vermelho conforme Figura 2. A sua localização é em um bairro que está em implantação, o qual oferece, além da universidade, supermercados, shopping, hospital regional, dentre outras edificações de moradia e comércio que ainda se encontram em construção.



Figura 2 Localização da UTFPR - Câmpus Guarapuava Fonte: Google Earth (acesso em 08 abr. 2021)

Na Figura 3 é apresentado como é feita a distribuição dos onze blocos presentes na instituição de ensino. Esses blocos são nomeados a partir de letras do alfabeto romano. Os blocos A, B, C, D, E, F e H são utilizados para as aulas teóricas e práticas, e é onde estão localizadas as salas dos professores. O bloco P é direcionado para garagem dos carros oficiais, oficina, depósito e cantina para funcionários e terceirizados. O bloco O é utilizado para servir as refeições do restaurante universitário, conhecido como RU. O bloco R é utilizado para recepção na universidade e também administrativo. E o bloco S é onde localiza-se o teatro da instituição de ensino.



Figura 3 Disposição dos blocos da UTFPR - câmpus Guarapuava

O estudo do grau de deterioração das estruturas de concreto armado da instituição de ensino será realizado em todos seus onze blocos, apresentados pela Figura 3, utilizando a versão mais recente da Metodologia GDE/UnB, a qual foi reformulada por Fonseca em 2007. A classe de agressividade ambiental destas estruturas é dada como moderada, devido ao fato da instituição de ensino encontrar-se em ambiente urbano.

Inicialmente será necessária uma representação gráfica dos blocos que serão estudados, para obter uma localização e identificação precisa da patologia. Para isso, serão utilizados croquis do projeto estrutural de cada um dos blocos, os quais possuem elementos estruturais especificados, como as lajes, vigas, marquises, pilares e escadas. Com esses croquis, será possível denominar, através de vistoria *in loco*, em quais elementos existem patologia (pilares, vigas, lajes, escadas e marquises), quais seus tipos e determinar qual seu fator de ponderação e o fator de intensidade, para cálculo do grau de deterioração desses elementos. Além disso, serão registrados, através de fotografias, as principais manifestações patológicas para registro. O acesso à cobertura dos blocos não foi possível, exceto no bloco R e S, não sendo estudadas a patologia que poderiam estar presentes nestes locais.

Para a patologia de fissura, será necessário identificar em qual classificação elas se encontram, sendo essas: fissura, trinca, rachadura e fenda. Essa classificação ocorre de acordo com sua espessura, as quais serão medidas com auxílio de um fissurômetro e paquímetro, quando necessário e possível acesso. O fator de ponderação das fissuras é classificado de forma precisa, devido a sua análise ser mais minuciosa, sendo determinado conforme proposto Fonseca (2007). Além dos instrumentos citados anteriormente, também será utilizada a fenolftaleína, que é um composto orgânico utilizado para verificação de carbonatação em estruturas de concreto armado. Após isso, será determinado em cada um desses elementos, de cada um dos blocos da universidade, qual é o seu grau de deterioração, para, posteriormente, poder determinar o grau de deterioração da família de elementos de cada um desses blocos, conforme designado pelo fluxograma da Figura 1e as formulações apresentadas.

O cálculo do grau de deterioração dos elementos e das famílias serão realizados através de planilhas criadas com auxílio do software Excel, para cada elemento, qual seu fator de ponderação, fator de intensidade, grau de dano (D) através da (1) e grau de deterioração do elemento (G_{de}) através da (2), após isso será realizado o cálculo do grau de deterioração da família desses elementos (G_{df})

através da (3), subdivididos em pilares, vigas, lajes e escadas, o fator de relevância estrutural (F_r) de cada uma das famílias especificado na Tabela 2. O grau de deterioração global do bloco em estudo, calculado através da (4), será apresentado em um quadro separado.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Aplicando-se o grau de deterioração global da estrutura (G_d), é possível classificar os blocos com falhas de maior gravidade e/ou urgência de manutenções corretivas conforme Tabela 4, e concluir que o bloco F, seguido do bloco B e H, são os que deverão ter prioridade, com isto justificam os investimentos necessários.

Tabela 4 Prioridades de manutenção em função do Grau de Deterioração (G_d) dos blocos.

BLOCO	G_d	PRIORIDADE DE INTERVENÇÃO
F	71	1
B	66	2
H	46	3
P	44	4
D	42	5
C	38	6
E	38	7
R	38	8
A	15,71	9
S	6	10
O	5	11

Nestes blocos, esse tipo de patologia é verificado nos diversos elementos estruturais de concreto armado, sendo distribuído, conforme Tabela 5. Desta forma, é possível entender que a patologia que ocorrem nas edificações, encontram-se mais contundente ao surgimento da seguinte forma: nas lajes, vigas e seguidas de pilares. Esta ordem vem de acordo com o estudo de Mazer (2008), apenas variando o percentual da distribuição da patologia nos elementos estruturais.

Tabela 5 Percentual das distribuições das principais causas de patologia nos elementos estruturais

Elementos estruturais	Lajes	Vigas	Pilar	Marquises	Escadas
Presente	48,0%	25,5%	25,0%	-	1,5%
Mazer (2008)	60%	23%	7%	10%	-

Foram identificadas um total de 200 ocorrências de patologia dentre os diversos elementos de concreto existentes, conforme Tabela 6.

Tabela 6 Caracterização das recorrências de patologia na UTFPR - câmpus Guarapuava

Patologia	n° de recorrências	(%) de recorrência
------------------	---------------------------	---------------------------

Mancha	58	29,00%
Umidade	57	28,50%
Fissura	51	25,50%
Flecha	11	5,50%
Eflorescência	16	8,00%
Outros (Carbonatação, Corrosão, Cobrimento e Segregação)	5	2,50%
Deslocamento	2	1,00%
Total	200	100%

Dentre as manifestações patológica registradas, as que se apresentaram majoritariamente foram: umidade, mancha e fissura, com uma incidência de 57, 58 e 51 ocorrências, respectivamente. Para prevenir que essas manifestações patológicas aumentem, é recomendado que seja realizada terapias para recuperação dos elementos que as apresentam. A Tabela 7 demonstra, de forma resumida, as principais manifestações patológica encontradas nas edificações, quais as suas possíveis causas, suas origens, qual o mecanismo destas e quais as correções que devem ocorrer para prosperar a durabilidade e vida útil dessas estruturas, prezando pelo custo das manutenções, devendo sempre ser realizado um preparo inicial correto da superfície.

Tabela 7 Causas, origens, mecanismos e correções

Manifestação Patológica	Causa	Origem	Mecanismo	Correções
Umidade	Porosidade e rugosidade do concreto	Projeto Execução Materiais Utilização	Infiltração da água e aparecimento de pequenas ou grandes manchas no concreto	Limpeza da superfície Realizar pintura impermeabilizante
Mancha	Porosidade e rugosidade do concreto Umidade	Projeto	Aparecimento de manchas escuras do tipo bolor	Limpeza da superfície Realizar pintura impermeabilizante
Fissura	Deficiência de projeto Contração plástica Assentamento de concreto / Perda de aderência Movimentação de escoramentos e/ou fôrmas Corrosão das armaduras	Projeto Execução Materiais	Deformação não-prevista da estrutura provocando abertura de fissuras no concreto ou nas alvenarias	Injeção Selagem Ocratização Cicatrização Grampeamento

5.0 CONCLUSÃO

No estudo realizado, foram caracterizadas e analisadas 11 estruturas de concreto armado de uma instituição de ensino pública através da Metodologia GDE/UnB, a fim de avaliar os seus graus de deterioração. Por meio da metodologia usada foi possível fechar lacunas relativas a quais blocos necessitavam de manutenção prioritária, justificando os investimentos necessários aos

administradores. Através deste instrumento de apoio, diversas manifestações de patologia foram identificadas e, com isso, foi possível prescrever ações corretivas à essas manifestações patológicas encontradas.

De acordo com os estudos realizados, é possível perceber que as estruturas de concreto armado estão suscetíveis a diversas manifestações patológicas, as quais suas origens estão relacionadas principalmente a fase de projeto e de execução das obras.

Apesar da instituição de ensino apresentar poucos anos de uso, foi possível obter, com as vistorias e estudos realizados em cada um de seus blocos, o total de 2 níveis altos de deterioração global, 7 médios e 2 baixos. Com isso, o nível de deterioração geral da universidade é classificado como médio.

Mesmo apresentando um nível médio, a instituição possui pouca patologia estruturais com grande recorrência, sendo estas relacionadas principalmente ao desempenho dos elementos estruturais nos aspectos da funcionalidade (deformações) e estética (manchas, bolores e infiltrações). Além disso, devido ao fato de ser uma instituição implantada recentemente, com apenas 9 anos, as manutenções que deverão ser realizadas terão baixo custo, se realizadas no período correto.

As principais manifestações patológicas das estruturas de concreto armado encontradas, usando a Metodologia GDE/UnB, foram: manchas (29,0%); umidades (28,5%); fissuras (25,5%) e outras patologia (17%), as quais incluem flechas, eflorescências, carbonatações, corrosões, cobrimentos insuficientes e segregações.

Essas ocorrências aconteceram nos diversos elementos estruturais, distribuído em cerca de 48,0% nas lajes, 25,5% nas vigas, 25% nos pilares e 1,5% nos demais elementos estruturais.

À vista disso, é notório a necessidade da realização de manutenções em períodos pré-estabelecidos, a fim de obter uma relação dos custos e dos níveis de deterioração das estruturas o menor possível.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), pela cessão dos laboratórios, espaço e outros.

3. REFERENCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). NBR 6118 – *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR 6118 – *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Bordun, R. F. “*Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado – Um estudo de caso (Bloco Administrativo da UTFPR – Pato Branco)*”. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil.) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco - PR, 2014. Orientador: Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray. 2014.

CEB. CEB - FIP Model Code 90 (MC - 90) - *Final Draft. Bulletin d'Information N° 203*, 1991.

Fonseca, R.P. “*A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção*”. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 006 A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2007, 213p. Disponível em:

<<http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M07-6A-Regis-da-Fonseca.pdf>>.
Acesso em 20 mar. 2021.

Mazer, W. “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*”. Curitiba. UTFPR, 2008.

Medeiros, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; Helene, Paulo. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In. ISAIAS, Geraldo (Ed.). *Concreto: ciência e tecnologia*, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2011.

Mehta, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. “*Estrutura propriedades e materiais*”. São Paulo: Pini, 1994

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE NANOPARTÍCULAS BASE SILICIO EN MORTEROS SOMETIDOS AL ATAQUE FÍSICO DE SULFATO DE SODIO

D. L. Silva^{1,2*}; G. Fajardo-San Miguel¹; G. Escadeillas², D. Cruz-Moreno¹.

*Autor de Contacto: gerardo.fajardosn@uanl.edu.mx

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Civil, San Nicolás de los Garza, México.

² LMDC, Université de Toulouse, INSA, UPS Génie Civil, Toulouse, France.

RESUMEN

El presente estudio consiste en evaluar la factibilidad de tratamientos superficiales con nanopartículas de silicio simple (NS) y funcionalizada (NF) en morteros de cemento para mitigar físico de sulfatos. Se sometieron morteros de cemento portland ordinario (CPO) y cemento resistente a los sulfatos (RS) a tres tipos de tratamientos superficiales: T1 – con una solución al 0.1% de NS, aplicada mediante inmersión, en las primeras 72h de hidratación, T2 – con una solución al 0.1% de NF, aplicada mediante cepillado a los 28 días de hidratación y T3 – combinación del T1 con el T2. Posteriormente, los especímenes fueron parcialmente inmersos en una solución al 5% de sulfato de sodio y sometidos a ciclos de mojado y secado. Además, se midió el ángulo de contacto superficial de los especímenes, la pérdida de masa y se realizó el análisis de sortividad. Finalmente, los resultados han demostrado que el tratamiento superficial T3 presenta un mejor comportamiento ante al ataque físico de sulfatos. Posiblemente, lo anterior se debe a que hasta el segundo mes de exposición, los especímenes del tratamiento T3, presentaron una menor absorción, como se observó en los análisis de pérdida de masa y sortividad, impidiendo el ingreso de sulfato hacia el interior de la matriz y postergando su migración hacia la zona de evaporación.

Palabras-clave: Nanopartículas base silicio; Ataque físico de sulfatos; Durabilidad.

ABSTRACT

The present study consists of evaluating the feasibility of surface treatments with simple (NS) and functionalized (NF) silica nanoparticles in cement mortars to mitigate physical sulfate attack. Ordinary portland cement (CPO) and sulfate resistant cement (RS) mortars were subjected to three types of surface treatments: T1 - with a 0.1% solution of NS, applied by immersion, in the first 72h of hydration, T2 - with a 0.1% solution of NF, applied by brushing at 28 days of hydration and T3 - combination of T1 with T2. Subsequently, the specimens were partially immersed in a 5% sodium sulfate solution and subjected to wetting and drying cycles. In addition, the surface contact angle of the specimens was measured, the mass loss and the sorptivity analysis was performed. Finally, the results have shown that the T3 surface treatment has a better behavior against the physical attack of sulfates. Possibly, this is due to the fact that until the second month of exposure, the T3 treatment specimens presented lower absorption, as observed in the analysis of loss of mass and sorptivity, preventing the entry of sulfate into the interior of the matrix and postponing its migration to the evaporation zone.

Keywords: silicon-based nanoparticles; Physical attack of sulfates; Durability.

RESUMO

O presente estudo consiste em avaliar a viabilidade de tratamentos de superfície com nanopartículas de sílice simples (NS) e funcionalizadas (NF) em argamassas de cimento para mitigar ataque físico do sulfato. As argamassas de cimento portland comum (CPO) e de cimento resistente ao sulfato (RS) foram submetidas a três tipos de tratamentos de superfície, tais como: T1 - com solução 0,1% de NS, aplicada por imersão, nas primeiras 72h de hidratação, T2 - com solução de NF 0,1%, aplicada por escovação aos 28 dias de hidratação e T3 - combinação de T1 com T2. Posteriormente, os corpos-de-prova foram parcialmente imersos em solução de sulfato de sódio a 5% e submetidos aos ciclos úmido e seco. Além disso, o ângulo de contato da superfície dos espécimes, a perda de massa e a análise de ordenação foram realizadas. Por fim, os resultados mostraram que o tratamento de superfície T3 apresenta um melhor comportamento contra o ataque físico de sulfatos. Possivelmente, isso se deve ao fato de que até o segundo mês de exposição, os corpos-de-prova do tratamento T3 apresentaram menor absorção, conforme observado na análise de perda de massa e ordenação, impedindo a entrada do sulfato no interior da matriz e postergando sua migração para a zona de evaporação.

Palavras-chave: Nanopartículas base silício; Ataque físico de sulfatos; Durabilidade.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunas décadas se creía que el ataque químico de sulfatos era el principal mecanismo de degradación de estructuras expuestas a los iones sulfatos. Sin embargo, el daño del ataque físico de sulfatos, debido a la cristalización de la sal en los poros de la estructura empezó a ser considerado por muchos investigadores (Zeidan *et al.*, 2016; Nehdi *et al.*, 2014). Este problema está asociado con la formación de incrustaciones en la superficie, debido a la absorción de soluciones salinas que se elevan por capilaridad a las superficies de evaporación de la estructura, asociado a ciclos repetidos de variación de humedad relativa y de temperatura. En particular, esto ocurre cuando la

tasa de evaporación de la superficie del concreto excede la absorción de la solución por capilaridad (Haynes *et al.*, 2011; Zeidan *et al.*, 2016).

Cabe mencionar que, al contrario del ataque químico de sulfatos, en el ataque físico no se produce reacciones con los compuestos hidratados del cemento portland. En este caso, el sulfato de sodio, que es el más dañino al concreto, debido a ciclos de humedecimiento y secado produce un cambio de fase de la thenardita (Na_2SO_4), que es la fase anhidra del sulfato de sodio, para la mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), que es la fase hidratada (Haynes *et al.*, 2008). Fundamentalmente, este cambio de fase proporciona un aumento en el volumen de aproximadamente 314% (Scherer, 2004, Thaulow y Sahu, 2004). El ataque físico de sulfatos suele pasar, principalmente, en estructuras marinas, debido a la evaporación del agua del mar y/o la ascensión capilar. Ribeiro *et al.* (2014) señalaron que el aumento de volumen debido a la cristalización de las sales aumenta las tensiones internas, resultando en pérdida de adherencia y cohesión de la pasta, agrietamiento y delaminación del concreto. Estos daños se limitan a la superficie de la matriz cementante que se encuentra en la zona de evaporación de la estructura, mientras que la porción que está inmersa se muestra totalmente sana (Yoshida, 2010). En contraste, Nehdi *et al.* (2014) reportaron que en la porción inmersa puede ocurrir el ataque químico de sulfato, favoreciendo el ataque doble de sulfatos en la estructura.

Con la nanotecnología, en lo cual es posible comprender y controlar la materia a nanoescala, a escala atómica y molecular, el uso de nanomateriales ha sido ampliamente estudiado en materiales cementantes durante los últimos años, para incrementar su durabilidad (Atahan y Dikme, 2011; Jalal *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2017). El nanomaterial más empleado en materiales cementantes ha sido las nanopartículas base sílice – NS, en su forma simple y/o funcionalizada (NF). En su forma simple, cuando son añadidas a la matriz aún en el momento del mezclado, genera sitios de nucleación para la formación productos hidratados, promueve la reacción puzolánica con la portlandita, generando C-S-H secundario, y consecuentemente disminuyendo la permeabilidad (Tobón *et al.*, 2015; Gómez-Zamorano y Castillo-Linton, 2016).

Por otro lado, cuando las NS son añadidas mediante tratamiento superficial, además del aporte mencionado anteriormente, ejercen el efecto filler, conllevando al bloqueo de poros interconectados y, por consiguiente, a la reducción de la permeabilidad, disminuyendo la penetración de agentes agresivos. En su forma funcionalizada, que se obtiene mediante modificación superficial de las NS, las NF son especialmente interesantes en tratamiento de superficies porque pueden actuar desarrollando superficies hidrofóbicas, autolimpiantes, bactericidas, etc., debido al anclaje que desarrollan ante la superficie (Cruz-Moreno *et al.*, 2020). El presente trabajo busca determinar la factibilidad de aplicación del tratamiento superficial con NS y NF en la etapa de curado de morteros cemento portland ordinario - CPO y cemento resistente a los sulfatos - RS, como una técnica de prevención al ataque físico de sulfatos en morteros.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.2 Obtención de NS y NF

La obtención de las NS y NF en laboratorio se llevó a cabo mediante la ruta sol-gel como ha sido reportado previamente (Fajardo *et al.*, 2015; Cruz-Moreno *et al.*, 2020). Este método es ampliamente utilizado en la producción de materiales nanométricos, por ser fácil de controlar y realizar.

2.3 Caracterización de las NS y NF

La caracterización de las NS y NF se llevó a cabo mediante las técnicas que se mencionan a continuación:

Espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX): con el fin de comprobar el grado de pureza de las NS y NF se realizó el análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX), que se llevó a cabo en un equipo PANanalytical Epsilon3-XL, en atmósfera inerte de nitrógeno. Para este análisis se utilizaron muestras en polvo, previamente secas a 110°C.

Difracción de rayos X (DRX): para identificar los compuestos presentes y la naturaleza del material se realizó el análisis de difracción de rayos X, mediante el difractómetro PANalytical EMPYREAN con radiación $\text{CuK}\alpha$, en atmósfera inerte de nitrógeno. El análisis se llevó a cabo en el rango de $2\theta=10$ a 60° . Para este análisis se utilizaron muestras en polvo, previamente secas a 110°C.

Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR): para identificar los grupos funcionales de las NS y NF y subproductos de la síntesis, se llevó a cabo el análisis de espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), en un equipo Thermo SCIENTIFIC NICOLET iS50 FTIR. Para este análisis, se preparó una dispersión en agua destilada al 0.1% de NS y NF. El análisis se realizó en el intervalo de longitud de onda de 500 a 4000 cm^{-1} .

Microscopía electrónica de transmisión (TEM): para identificar la morfología y el tipo de las nanopartículas, se llevó a cabo el análisis de microscopía electrónica de transmisión (TEM), mediante el equipo Hitachi 7700. Para el análisis, se utilizaron muestras dispersas en alcohol etílico.

2.3 Preparo y colado de especímenes

Para la preparación de los morteros se utilizó como aglutinante el cemento portland ordinario – CPO (que cumple con la especificación de la norma NMX-C-414-ONNCCE-2004, y es equivalente al tipo I de la norma ASTM C150 - 2007) y el cemento RS (que cumple con la especificación de la norma NMX-C-414-ONNCCE – 2004, y es equivalente al tipo V de la norma ASTM C150 - 2007). La Tabla 1 presenta la composición química del CPO y RS que fue obtenida mediante la espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX) en un equipo de PANanalytical modelo Epsilon3-XL, en atmósfera inerte de nitrógeno. La densidad del cemento se obtuvo mediante el multipicnómetro modelo QUANTACHROME y la distribución de tamaño de partícula (DTP) fue obtenida mediante la técnica de difracción de rayo láser, con el analizador de partícula tri-láser MICROTRAC modelo S3500 (véase Tabla 1).

Tabla 1 - Composición química del CPO y RS

Composición (%)	CaO	SiO ₂	SO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	$\rho(\text{g/cm}^3)$	DTP(μm)
CPO 40	50.642	36.67	5.049	3.320	2.056	0,971	0.682	0.206	3.0	19.47
RS	50.140	38.085	4.779	2.567	2.728	0.591	0.678	0.144	3.1	19.25

Como agregado fino se utilizó una arena estándar comercial (sílice de Ottawa), que según la norma ASTM C 778 – 2006 está compuesta básicamente por granos naturalmente redondeados de cuarzo casi puro, con un tamaño de partícula en el rango de 1.18 mm a $150\ \mu\text{m}$, y es utilizada para preparar morteros en el ensayo de cementos hidráulicos. Se empleó el agua destilada para el mezclado, para evitar el ingreso de compuestos agresivos, que cumple con la norma NMX-C-122 ONNCCE - 2004. Se produjeron 5 especímenes de morteros cilíndricos de 5cmx13cm para cada tipo de

cemento. Se adoptó la relación $a/c=0.65$ y la relación arena/mc=2.75 (Véase Tabla 2), conforme establece la ASTM 1012 - 2013. Tras el colado los especímenes permanecieron en laboratorio, durante 24h a $T=23^{\circ}\text{C}$ para fraguar, como establece la ASTM C 171 - 2016. Además, se produjeron especímenes de morteros de 3.0x8cm con la misma relación a/c para los análisis microestructurales.

Tabla 2 - Materiales empleados para la producción de cilindros de morteros

Material	Cantidad (g)
Cemento	180
Arena	495
Agua	117

Después de 24h de colado, se procedió a realizar un pretratamiento de los especímenes para la aplicación de los tratamientos superficiales.

2.4 Preparación de especímenes y aplicación de tratamientos superficiales con NS y NF

Para la aplicación de los tratamientos superficiales, primeramente se procedió a preparar la superficie de los especímenes. Se realizó cortes transversales a 1.5 cm en cada una de las extremidades de los cilindros, para evitar los efectos de frontera debido a la preparación y el colado de los especímenes. Posteriormente, se realizó una limpieza con cepillo y agua del grifo para remover el polvo que se generó en la superficie del espécimen. A continuación, se aplicó los tratamientos superficiales de los especímenes, conforme se presenta en la Tabla 3.

2.5 Exposición al ataque físico de sulfatos

Dado que la ASTM C1012 - 2013 abarca solamente el ataque químico de sulfatos, para evaluar el ataque físico se adoptó el procedimiento reportado por estudios previos (Nehdi et al. 2014; Zeidan et al., 2016), que tiene duración de 6 meses. El método propuesto consistió en someter cilindros de morteros de dimensiones de 5cmx10cm a una solución de sulfato de sodio para inducir el ataque físico, mediante ciclos de mojado y secado, que tenía duración de 4 semanas, en las siguientes condiciones: la primera condición consistió en un ambiente con temperatura de $T=20^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $HR=82\%$ (mojado), la segunda condición, a su vez, consistió en un ambiente con una temperatura de $T=40^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $HR=31\%$ (secado). Se eligió únicamente evaluar la exposición de morteros al sulfato de sodio ya que investigaciones anteriores reportaron que, respecto a la acción física, este sulfato es el más dañino a las estructuras de concreto reforzado -ECR. Por lo que, una vez que se cumplió el tiempo de curado de 28 días, los especímenes permanecieron en laboratorio a temperatura ambiente hasta alcanzar el peso constante. Posteriormente, se sometieron parcialmente ($\pm 5\text{mm}$ del espécimen) los especímenes a una solución al 5% de Na_2SO_4 , para inducir la succión capilar de la solución. Además, se selló las cajas que contenía los especímenes, para evitar la evaporación de la solución, que a continuación fueron introducidas a una cámara ambiental modelo THERMO 3911, para promover ciclos de mojado y secado, previamente establecidos. Semanalmente, se cambió la solución de las cajas con el fin de mantener la misma concentración de la solución durante todo el tiempo de exposición. Al final de cada ciclo, que corresponde a 2 períodos de secado y dos períodos de mojado, se midió las masas y se realizó una inspección visual de los especímenes. En total, fueron realizados 6 ciclos de mojado y secado, cumpliendo los 6 meses de exposición.

Tabla 3 - Tratamientos superficiales

Nomenclatura	Tipo de solución
RF	Curado estándar con agua potable
T1	Tratamiento superficial por 72h, con una dispersión al 0.1% de NS respecto al volumen de agua desionizada (aplicado por inmersión).
T2	Tratamiento superficial a los 28 días de curado con una solución al 0.1% de NF respecto al volumen de agua desionizada (aplicado con brocha).
T3	Tratamiento superficial durante las primeras 72h con NS y después de 28 días con NF.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización fisicoquímica de las nanopartículas

El análisis FRX, confirmó la composición del material que presentó 99.9% de SiO₂. Asimismo, el difractograma de NS en el intervalo de $2\theta = 10^\circ$ a 60° (véase Figura 1), demuestra una reflexión muy ancha ubicada en $2\theta = 22,2^\circ$ característica de un material base sílice, además la base del difractograma confirma la naturaleza amorfa del material. Este resultado concuerda con los difractogramas encontrados por otros autores, que produjeron NS mediante la ruta sol-gel y obtuvieron un material con características similares (Jo et al., 2007; Quing et al., 2007; Cruz-Moreno et al., 2017). Cabe mencionar que la funcionalización de las NS no modifica su estructura amorfa, sino cambia su energía superficial al sustituir los grupos O-H por O-CH₃, así que el DRX sólo refleja el difractograma de NS. Además, mediante la técnica TEM se comprueba que se produjo NS amorfa, de tamaño nanométrico (tamaños inferiores a 100nm), con morfología irregular (véase Figura 2a y 2b), lo mismo se observó para las NF (véase Figura 2c y 2d).

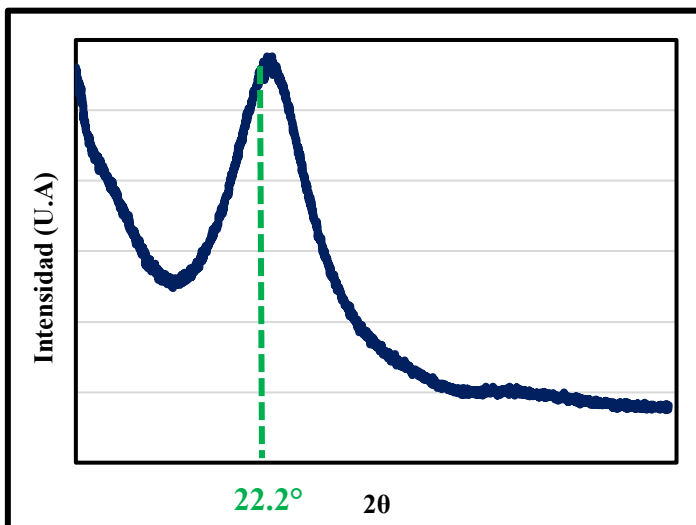


Figura 1 - Difractograma de NS

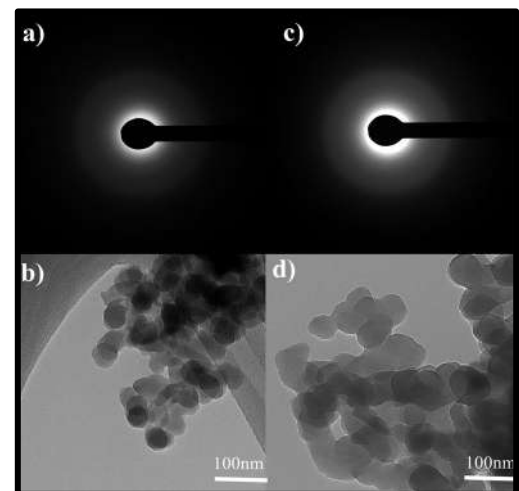


Figura 2 - a) Patrón de difracción de NS; b) Morfología de NS; c) patrón de difracción de NF; d) Morfología de NF.

Mediante el espectro de infrarrojo de la Figura 3 es posible observar las bandas de absorción presentes en el intervalo de 500 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} características de los grupos funcionales de las NS y NF. Con los resultados de este análisis también es posible verificar la presencia de residuos

de solventes de la síntesis. Para las NS, las bandas de absorción ubicadas en el intervalo de 1500 cm^{-1} a 3500 cm^{-1} corresponden a los enlaces O-H y C-H, que están asociados a los reactivos empleados como solventes (Cruz-Moreno *et al.*, 2020; Yoshino *et al.*, 1990). En la etapa de condensación, la unión de una molécula prehidrolizada con el alcóxido resulta en la formación de enlaces Si-O-Si, cuyas bandas de absorción se ubican en 998 cm^{-1} y 879 cm^{-1} , conforme indica Norazmi *et al.*, 2018).

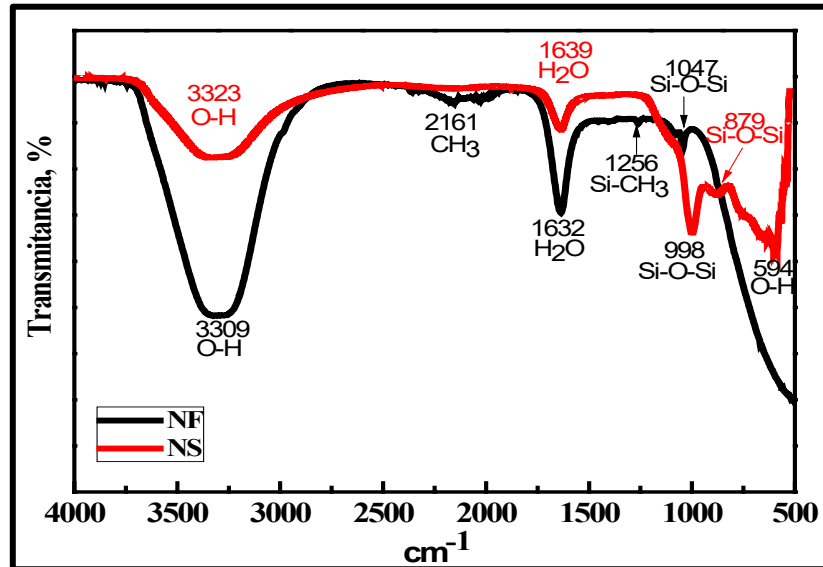


Figura 3 - Espectros obtenidos por FTIR de NS y NF

Otra banda ubicada en 594 cm^{-1} es atribuida a grupos alcóxido y OH que se quedaron en los geles (Yoshino *et al.*, 1990; Decottiginies *et al.*, 1978). Aún en la Figura 3, se observa el efecto generado por la funcionalización de NS, con la aparición de los picos ubicados en las longitudes de 2161 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de los radicales CH_3 , y a las vibraciones pertenecientes a los radicales Si-CH_3 , ubicados en 1256 cm^{-1} . Estos grupos funcionales son responsables por la disminución de la energía superficial o de contacto en el concreto, brindándole el efecto hidrofóbico. Por lo tanto, en este análisis se observó que el material formado corresponde a las NS y NF, dado que el espectro FTIR confirma la presencia de grupos funcionales de este material.

3.2 Ataque físico de sulfatos

3.2.1 Inspección visual

Se conoce que el ataque físico de sulfatos se ubica en la zona de evaporación del espécimen (región A), mientras que en la porción inmersa en la solución (región B) podrá o no ocurrir el ataque químico (Nehdi *et al.*, 2014) (Véase Figura 4).

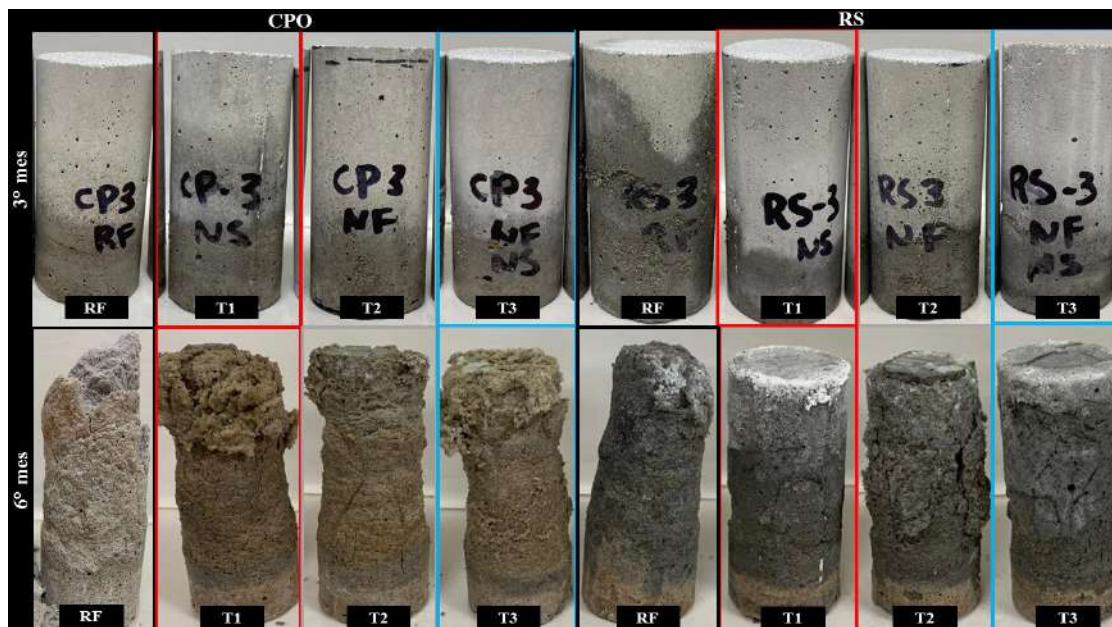


Figura 4 – Exposición al ataque físico de sulfatos

El mecanismo del ataque de sulfatos empieza mediante la eflorescencia de cristales de sulfato de sodio en la superficie del mortero, siendo más evidente en el período de secado ($T=40^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=31\%$). Consecuentemente, se observa el fenómeno conocido como “scaling” que es la pérdida de material superficial, debido a la presión ejercida por el crecimiento continuo de cristales de sulfato en los poros superficiales del mortero (Haynes, 2011).

Según Bassuoni (2015) esta presión de cristalización depende del tamaño de los poros, y los poros más afectados son los microporos. Conforme reporta (Haynes, 2011) la cristalización de estas sales en los poros ocurre cuando la tasa de evaporación de la superficie excede la tasa de absorción por capilaridad, debido a los cambios de temperatura y humedad relativa. Por esta razón, se ha observado una reducción en el nivel de la solución durante el tiempo de exposición de los especímenes.

También cabe mencionar que el régimen de exposición seleccionado ($T=20^{\circ}$ y $\text{HR}=82\%$; $T=40^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=31\%$) coincide con el ciclo entre la fase thenardita y mirabilita del sulfato de sodio (Bassuoni, 2015). Por lo tanto, los primeros indicios de deterioro se presentaron en el 3° mes de exposición, como demuestra la Figura 5, empezando en la región de evaporación, conforme la literatura. Al final de la exposición, los especímenes presentaron el “scaling” de la superficie en nivel avanzado, sobre todo para el espécimen RF del cemento CPO que llegó a fracturarse. Por otro lado, en los morteros producidos con cemento RS, el espécimen tratado con el tratamiento T3 presentó el menor grado de deterioro, como demuestra la Figura 5.



Según Ne Figura 5 - Morteros de RS y CPO sometidos al ataque físico de sulfatos. que físico de sulfato, ya que una de las características de este ataque es el “scaling” de la superficie del material cementante, por lo que en esta investigación se midió periódicamente la variación de masa de morteros de CPO y RS parcialmente inmersos en una solución de sulfato de sodio. Según los

autores, en la etapa inicial de exposición los morteros absorben la solución mediante succión capilar y con el avance de la exposición, la solución migra hacia la superficie del material provocando el deterioro del material y, por ende, la pérdida de masa.

3.2.2 Variación de masa

La Figura 6 demuestra que hasta tres meses de exposición se observó un incremento de masa en todos los tipos de tratamiento y en el mortero de referencia, sin embargo, el mortero RF presentó un incremento más acelerado, respecto a especímenes tratados. El menor incremento de masa del mortero tratado con el tratamiento T1 posiblemente se debe al bloqueo de poros provocado por las NS; por otro lado, para los morteros de los tratamientos T2 y T3 se debe a la propiedad hidrofóbica de las NF, que disminuye la absorción de la solución por repeler el agua en edades tempranas de exposición (Cruz-Moreno *et al.*, 2020). Sin embargo, con el aumento del tiempo de exposición se observó que los morteros del tratamiento T2 y T3 tuvieron una ganancia de masa comparable a los demás morteros. Posiblemente, esto ha ocurrido debido a que el material ha perdido o reducido su propiedad hidrofóbica debido al contacto constante con el agua, favoreciendo el ingreso de la solución salina hacia el interior de la matriz. La propiedad hidrofóbica se pierde debido a la conversión de los grupos funcionales Si-O-CH₃ en Si-OH.

La Figura 6 también demuestra que entre el tercero y el quinto mes de exposición, todos los morteros presentaron pérdida de masa, siendo el mortero RF el que presentó la mayor tasa de variación (alrededor de 8%), seguido del tratamiento T2 que presentó una tasa de variación de 6%. Por otro lado, los tratamientos T1 y T3 presentaron las menores pérdidas de masa, infiriendo que estos tratamientos son más favorables a la mitigación del ataque físico de sulfato. Este resultado es congruente con el resultado reportado por Zeidan *et al.* (2016), sin embargo Nehdi *et al.* (2014) ha reportado que para concretos producidos con una relación a/c=0.60 la pérdida de masa fue del orden de 3% para la referencia del cemento CPO.

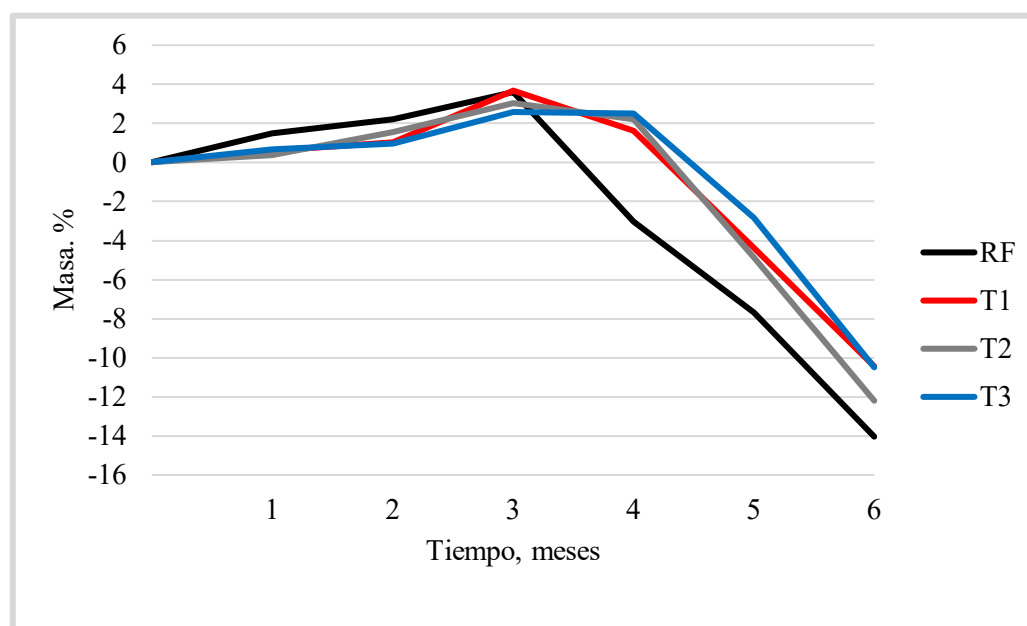


Figura 6 - Variación de masa de los morteros de CPO.

A su vez, como se observa en la Figura 7, los morteros de RS ganaron masa desde el primer mes de exposición, siendo el tratamiento T3 el que presentó la menor ganancia de masa. En el segundo

mes de exposición, se observa que a excepción del mortero T3, todos los demás empezaron a perder masa, siendo el mortero RF el que presentó la mayor pérdida. Después de 6 meses de exposición, se observó que los morteros tratados con los tratamientos que contienen NS (T1 y T3) presentaron la menor pérdida de masa respecto a la referencia que presentó una pérdida alrededor del 18%.

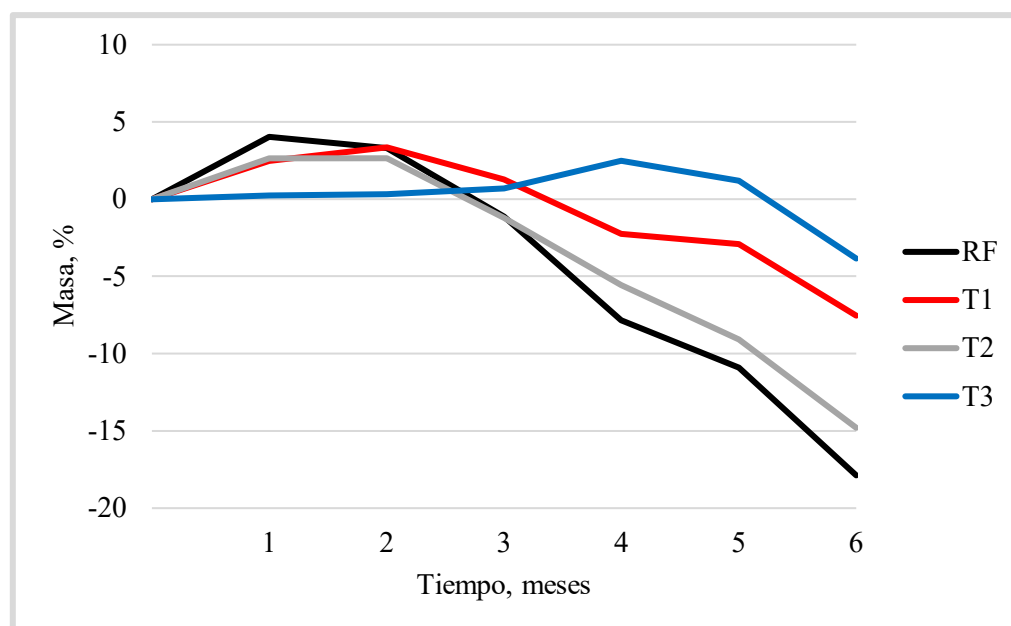


Figura 7 - Variación de masa de los morteros de RS.

De una manera general, los valores de pérdida de masa están de acuerdo con la apariencia visual del daño en la superficie de los especímenes, es decir los morteros que presentaron la mayor pérdida de masa también presentaron el mayor grado de deterioro, esto confirma lo que ha sido reportado por Zeidan *et al.*, (2016). Finalmente, con lo que se observó en los análisis de variación de masa es posible predecir que, para las condiciones seleccionadas, el tratamiento T1 y T3 se presentan más favorables para la mitigación del ataque físico de sulfatos.

3.2.3 Ángulo de contacto

En la medición del ángulo de contacto (véase Figura 8) se observó que para los morteros de CPO, en la Región A, los ángulos disminuyeron, respecto a la medición inicial, pero aún se mantienen en la zona hidrofóbica ($\theta > 90^\circ$) hasta los dos meses de exposición. En la región B que está inmersa en la solución sulfática, estos ángulos se redujeron para la zona hidrofílica ($10^\circ < \theta < 90^\circ$). Asimismo, para los morteros de RS, los ángulos de contacto de la región A, se mantienen en la zona hidrofóbica (véase Figura 9) hasta los 2 meses de exposición, mientras la región B, que está inmersa en la solución sulfática, presentó ángulos de contacto inferiores a 90° . La disminución de los ángulos de contacto en la región B para la zona hidrofílica, indica que el contacto constante con la solución puede provocar la pérdida de hidrofobicidad favoreciendo el paso de solución salina hacia el interior del espécimen. Por otro lado, aunque la región B haya perdido la hidrofobicidad en el primer mes de exposición, se observó en el análisis de variación de masa que los morteros de los tratamientos T1 y T3 ganaron menos masa respecto a la referencia, indicando que estos tratamientos han afectado el ingreso de solución. Cabe mencionar que, a partir del tercer mes de exposición, cuando empezó a presentarse el deterioro provocado por el ataque físico de sulfatos, ya no se ha logrado medir los ángulos de contacto en la región B de los especímenes evaluados.

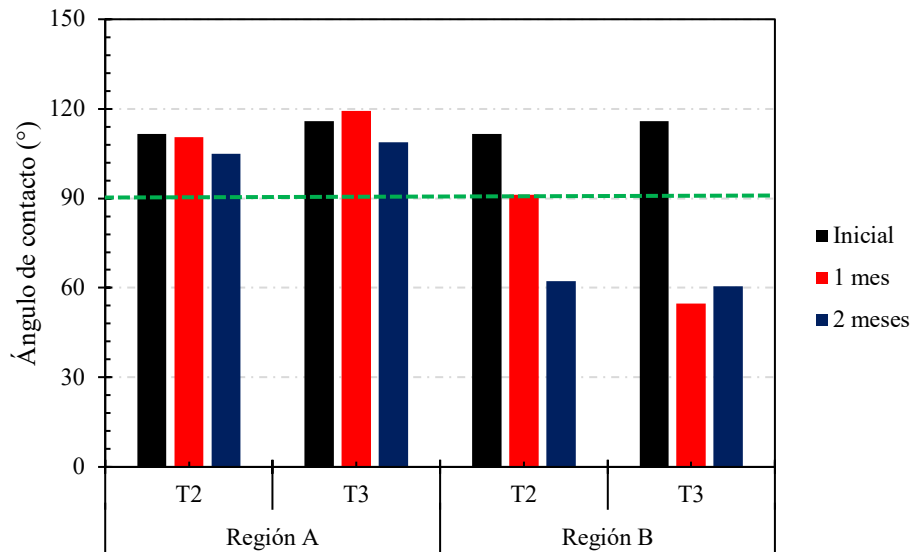


Figura 8 - Ángulo de contacto – CPO

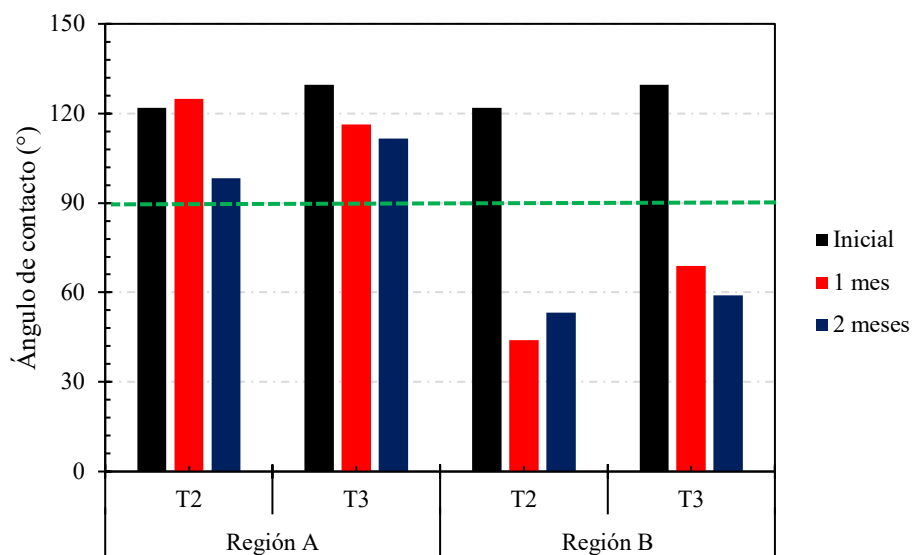


Figura 9 - Ángulo de contacto – RS

3.2.4 Sortividad

Según Bassuoni (2015), la absorción total de agua puede usarse como un indicador aproximado de la resistencia del concreto al ataque físico de sulfatos, por lo que se midió la sortividad de especímenes de morteros producidos con cemento CPO y RS. Cabe mencionar que la absorción representa la porosidad efectiva o accesible al agua y por ende se relaciona al ingreso de los agentes agresivos ambientales. La Tabla 4 demuestra que la tasa de absorción inicial y secundaria no presentó una reducción significativa al comparar las muestras tratadas con respecto a la referencia, para los dos tipos de cemento. Sin embargo, fue observado a las 6h de exposición al agua, en donde tiene lugar la absorción inicial, que los morteros tratados con los tratamientos T2 y T3 absorbieron menos agua que los demás, demostrando que hubo un retraso en el ingreso de agua hacia el interior

del espécimen. Posiblemente esto se debió al efecto hidrofóbico que brindan las NF a los morteros de tratamientos T2 y T3. Por otro lado, a los 8 días de análisis, en donde tiene lugar la absorción secundaria, fue observado que los especímenes tratados con los tratamientos T1 y T3 absorbieron menos agua, infiriendo que las NS presentes en ambos tratamientos han contribuido para densificar la matriz de cemento y reducir las interconexiones de los poros capilares. Cabe mencionar que, al comparar las gráficas de variación de masa del cemento CPO con los resultados de absorción, se observa que el incremento tardío de masa de los morteros tratados con los tratamientos T1, T2 y T3, se debe posiblemente a la menor absorción de agua total que estos morteros presentaron, sobre todo en las primeras edades, como comprobó el análisis de sortividad.

Tabla 4 – Sortividad

Tasa de absorción, $\times 10^{-4} \text{ mm/s}^{1/2}$					
Cemento	Absorción	RF	T1	T2	T3
CPO	Inicial	177.1	154.0	164.5	149.07
	Secundaria	74.5	68.9	75.7	67.10
RS	Inicial	187.6	178.5	161.4	138.30
	Secundaria	87.4	76.3	85.3	75.10

De manera general, se demostró que los tratamientos utilizados fueron favorables a la mitigación del ataque físico de sulfatos. Para el caso del tratamiento T1, que contiene NS, posiblemente esto se debió a la densificación de la capa superficial del concreto, que juega un papel fundamental en lo que es la succión capilar de agua, que es el primer paso del ataque físico de sulfatos en donde la solución penetra al mortero. Asimismo, para el caso del tratamiento T2, que contiene NF, se observó que el efecto del ataque físico fue menor, comparado con la referencia. Pero, en este caso ya que no hay interacción química del tratamiento con la superficie del mortero, desarrollando una reacción puzolánica, posiblemente al impedir el ingreso de agua en las primeras edades mediante el efecto hidrofóbico, conllevó a la reducción de los efectos del ataque físico de sulfatos, presentando la segunda mayor tasa de variación de masa. En contrapartida, el tratamiento T3, que contiene NS y NF, por brindar doble protección al material, la primera por bloquear los poros superficiales y la segunda por brindar el efecto hidrofóbico, se presentó más favorable a la mitigación de la acción física del sulfato de sodio.

4. CONCLUSIONES

Se puede concluir que las nanopartículas que se obtuvieron mediante la síntesis sol-gel presentan características deseadas. Por lo anterior se concluye que, mediante el análisis de sortividad del material se observó que las matrices tratadas con nanopartículas de sílice, sea NS o NF, absorbieron una menor cantidad de agua, indicando que los tratamientos utilizados han demostrado ser factibles a disminuir el ingreso de agua hacia el interior de la matriz cementante. En la medición de ángulo de contacto se observó que la porción del espécimen en contacto con la solución salina, presentaron una reducción del ángulo de contacto en el primer mes de exposición, indicando que el contacto directo con la humedad puede afectar el tratamiento superficial con NF. Asimismo, se observó en el análisis de pérdida de masa que los especímenes tratados con NS y NF presentaron una menor pérdida de masa al final de la exposición al ataque físico de sulfatos. Esto indica que el tratamiento brindó una protección al mortero ante a la acción física de sulfato de sodio.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al fondo SEP-CONACyT por el financiamiento otorgado al proyecto CB-2016/285453. D. L. Silva agradece a CONACyT por la beca (n° 932159) otorgada para la realización de sus estudios doctorales.

6. REFERENCIAS

- ASTM International. (2006). *ASTM C778-06 Standard Specification for Standard Sand*; <https://doi.org/10.1520/C0778-06>.
- ASTM International. (2007). *ASTM C 150-07 Standard specification of portland cement*; <https://doi.org/10.1520/C150-07>.
- ASTM International. (2013). *ASTM - C 1012 Standard Test Method for Length Change of Hydraulic Cement Mortar Exposed to Sulfate Solution*. <https://doi.org/10.1520/C1012>.
- ASTM International. (2016). *ASTM C 171 – 16 Standard specification for sheet materials for curing concrete*. <https://doi.org/10.1520/C171-16>.
- Atahan H. N., Dikme, D. (2011). Use of mineral admixtures for enhanced resistance against sulfate attack, *Constr. Build. Mater.* 25 (8). 3450–3457.
- Cruz-Moreno, D., Fajardo, G., Flores-Vivián, I., Cruz-López, A., Valdez, P. (2017), Tratamiento superficial con nanopartículas base silicio inducido durante el curado: Efecto en la durabilidad de materiales base cemento portland, *Revista ALCONPAT*, 7(3):274-285, <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.239>.
- Cruz-Moreno, D., Fajardo, G., Flores-Vivián, I., Orozco-Cruz, R.; Ramos-Rivera, C.. (2020). Multifunctional surfaces of portland cement-based materials developed with functionalized silicon-based nanoparticles. *Applied Surface Science*. 531. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147355>.
- Decottignies, M.; Phalippou, J., Zarzycky, J. (1978). Synthesis of glassed by hot-pressing of gels. *J. of Materials Science* 13, 2605-2618.
- Fajardo, G., Cruz-López, A., Cruz-Moreno, D., Valdez, P., Torres, G., Zanella, R. (2015), Innovative application of silicon nanoparticles (SN): Improvement of the barrier effect in hardened Portland cement based materials. *Construction and Building Materials*, 76, 158–167.
- Gómez-Zamorano, C., Castillo-Linton, E. (2016). Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de partículas de nanosílice. *Revista ALCONPAT*. Volumen 6(2): 101-115.
- Haynes H., Bassuoni MT (2011). Physical salt attack on concrete. *Concr.* 33: 38–42.
- Haynes H., O’Neill R, Neff M. (2008) Salt weathering distress on concrete exposed to sodium sulfate environment. *ACI Mater.* 105:35–43.
- Jalal M., Mansouri E, Sharifipour M, Pouladkhan AR (2012). Mechanical, rheological, durability and microstructural properties of high performance self-compacting concrete containing SiO₂ micro and nanoparticles. *Mater Des* 2012;34: 389–400.
- Jo B. W.; Kim C. H.; Tae G. H.; Park J. B. (2007). Characteristics of cement mortar with nanoSiO₂ particles”. *Constr. Build. Mater.*, 21:1352–5.
- Li, L. G.; Zhu, J.; Huang, Z. H.; Kwan, A. K. H.; Li, L. J. (2017). Combined effects of microsilica and nano-silica on durability of mortar, *Constr. Build. Mater.* 157, 337–347.
- Bassuoni, M., Rahman M., (2015), Response of concrete to accelerated physical salt attack exposure, *Cem. Concr. Res.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres>.
- Nehdi, M. L.; Suleiman, A.R. (2014) Soliman. Investigation of concrete exposed to dual sulfate attack. *Cement and Concrete Research* 64, 42–53.

- NMX-AA-122-ONNCCE- 2006, Potabilización del agua para uso y consumo humano – sulfato de aluminio – especificaciones y métodos de prueba, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- NMX-C-414-ONNCCE- 2004, Industria de la Construcción – Cementos Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Prueba, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., Febrero 2005.
- Ribeiro, D. V., Sales, A., Sousa, C. A. C., Cunha, M. P. T., Lourenço, M. Z., Helene, P. (2014). Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise. Ed. Elsevier, Rio de Janeiro.
- Scherer, G. W., (2004), Stress from crystallization of salt, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 9, pp.1613– 1624.
- Thaulow, N., Sahu, S., (2004), Mechanism of concrete deterioration due to salt crystallization, *Materials Characterization*, Vol. 53, No. 2-4, pp. 123-127.
- Tobon, J. Payá, O. J. (2015), Restrepo, Study of durability of Portland cement mortars blended with silica nanoparticles, *Constr. Build. Mater.* 80, 92– 97.
- Qing Y., Zenan Z., Deyu K. (2007), Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume. *Construction and Building Materials*. 21: 539–45. 12. KL.
- Yoshida, N., Matsunami, Y., Nagayama, M., and Sakai, E., (2010), Salt weathering in residential concrete foundation exposed to sulfate-bearing ground, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 8, No. 2, pp. 121-134.
- Yoshino, H.; Kamiya, K. Y Nasu, H. (1990), IR study on the estructural evolution of sol-gel derivaded SiO₂ gels in the early stage of conversion to glasses. *J. Non-Cryst. Solids* 126, 68-78.
- Zeidan, M.; Mohamed T. Bassuoni; Aly Said (2016). Physical salt attack on concrete incorporating nano-silica. *Jour. of Sust. Cem.-Based Mater.*. <http://dx.doi.org/10.1080/21650373.2016.1218802>

Evaluation of the Performance of Rice Husk-Ash in Mitigating DEF in Concrete.

G. Amantino^{1*}, N. Hasparyk^{2*}, F. Tiecher^{3*}

*Amantino: amantino.eng@gmail.com

*Hasparyk: nicolepha@gmail.com

*Tiecher: Francieli.bonsembiante@imed.edu.br

¹ Master student in Civil Engineering of Faculdade Meridional – IMED, Passo Fundo, Brazil

² PhD, Researcher of Departamento de Segurança de Barragens e Tecnologia, ELETROBRAS Furnas, Goiânia, Brazil

³ PhD, Professor in Civil Engineering of Faculdade Meridional – IMED, Passo Fundo, Brazil

ABSTRACT

This paper aims to present the behavior of concrete containing rice husk-ash (RHA) that were undergone a thermal curing. A particular test method was used to promote an initial thermal curing up to 85°C to trigger DEF, followed by a specific exposure condition (at 38°C). Expansion measurements and microstructural analyses were performed to evaluate the level of attack and the integrity of concretes with and without rice husk-ash (RHA). Mechanical properties were assessed in order to monitor damage evolution of generated expansions from DEF over time and up to six months. Concrete tests have indicated that the RHA tested was able to reduce DEF expansions, nonetheless, it was not enough to a complete mitigation and avoid DEF and damages.

Keywords: DEF; Expansion; Concrete; Rice husk-ash; Mitigation

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de apresentar o comportamento de concretos contendo cinza de casca de arroz (CCA) que foram submetidos à cura térmica. Um específico método de ensaio foi utilizado envolvendo uma cura térmica inicial com temperatura de pico igual a 85°C para induzir a DEF, seguido por uma condição de exposição por imersão em água, a 38°C. Medidas de expansão e análises microestruturais foram realizadas para avaliar o nível de ataque e a integridade dos concretos com e sem cinza da casca de arroz (CCA). Propriedades mecânicas também foram avaliadas com o objetivo de monitorar a evolução dos danos das expansões geradas pela DEF ao longo do tempo, e até seis meses. Os resultados dos ensaios com os concretos indicaram que a CCA testada foi capaz de reduzir as expansões da DEF, entretanto, não foi suficiente para uma mitigação completa e evitar os danos ocasionados pela DEF.

Keywords: DEF; Expansão; Concreto; Cinza da casca de arroz; Mitigação

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo presentar el comportamiento de hormigones que contienen cenizas de cascarilla de arroz (CCA) que fueron sometidos a un curado térmico. Se utilizó un método de prueba particular para promover un curado térmico inicial de hasta 85°C para desencadenar DEF, seguido de una condición de exposición específica por inmersión en agua (38°C). Se realizaron mediciones de expansión y análisis microestructurales para evaluar el nivel de ataque y la integridad de los hormigones con y sin cascarilla-ceniza de arroz (CCA). También se evaluaron las propiedades mecánicas para monitorear la evolución del daño de las expansiones generadas por DEF a lo largo del tiempo y hasta seis meses. Pruebas concretas han indicado que CCA pudo reducir las expansiones de DEF, sin embargo, no fue suficiente para una mitigación completa y evitar DEF y daños.

Keywords: DEF; Expansión; Hormigón; Ceniza de cáscara de arroz; Mitigación

1. INTRODUCTION

Durability studies focused on concrete structures is very wide, embracing test procedures and practical recommendations to avoid or mitigate some negative occurrences. Several internal and external factors can act isolated or even with a joint interaction leading to damages. Delayed ettringite formation (DEF) is an example of expansive reaction that can lead concrete to severe deterioration. The occurrence of this secondary ettringite inside hardened concrete involves sulfates, aluminates and high levels of temperatures (above 65°C) at the first hours of cement hydration (Taylor, 1997; IFSTTAR, 2018). This delayed ettringite crystallizes in the presence of moisture (above 90%) and after concrete cools (Godart, 2017). Rise temperature can occur in two ways: due to the exothermic reactions from cement hydration, and especially in mass concrete or due to improper temperature of thermal curing, mainly in pre-cast elements (LCPC, 2009). Several concrete structures have been suffering from DEF, according to some publications around the world (Seignol et al., 2012; Bauer et al., 2006, Hasparyk and Kuperman, 2019).

The main physical manifestations of DEF are related to cracking formation from expansions in the cement matrix that compromise concrete integrity, and specially modulus of elasticity (Jeong et al., 2017; Giannini et al., 2018; Schovanz, 2019). DEF occurs earlier and more aggressive when compared to other expansive chemical reactions, such as AAR, for example. Schovanz et al. (2021) have presented concrete damaged with DEF with loss of about 65% for compressive strength in laboratory studies. There is no practical recommendation to mitigate this problem once a concrete deteriorated. If there is a risk of concrete to suffer from high temperatures, the indication is the use of cooling procedures to reduce the level below 60°C (Hasparyk et al., 2020). In the case of further prevention procedures, the use solely of mineral admixtures do not guarantee a complete mitigative condition. Certainly, the use of pozzolanic admixtures promotes a pore refinement and also a reduction in the permeability (Mehta and Monteiro, 2014). The studies with fly-ash presented by Amine et al. (2017) and Asamoto et al. (2017) indicate the potential of this pozzolan to mitigate DEF, at contents of 15% and 25%. On the other hand, Schovanz (2019) and Bronholo (2020) did not achieve the same efficiency with the content of about 26% once delayed ettringite was seen in the microstructure of concretes, even though with no expressive negative impact in the physical and mechanical properties until 270 and 365 days, respectively. Ramlocham et al. (2003) had also verified the performance of mineral admixtures in DEF studies and had concluded that silica fume was not proper to mitigate DEF at 8%, but the slag at 25% performed successfully for this purpose. In relation to rice husk-ash (RHA) and DEF, it was not found studies with this purpose. Furnas/Aneel and the R&D Project entitled “Metodologias e infraestrutura tecnológica para aperfeiçoamento das avaliações de confiabilidade e otimização de empreendimentos de energia”, enable the development of experimental program in this subject contemplating RHA in mortars (Oliveira et al., 2020) and concretes (presented partially in this paper).

It is also important to point out that RHA can prevent the expansive reaction of AAR type, depending on its crystallinity and content (Hasparyk, 1999; Zerbino et al., 2012), as well as for chloride attack, carbonation and also external sulfate attacks (Fournier and Bérubé, 2000; Givi et al., 2010; Ramasamy, 2012).

This pozzolan admixture is available in several localities (Global production of about 500 millions of tons per year - Foreign Agricultural Service, 2019). The south of Brazil is responsible for 11 millions of ton per year (Irga, 2021). In addition, rice husk is a waste that corresponds to 20% in weight of the rice produced (Lopes et al., 2017). The disposal of this waste is a problem and the husk have been used as combustible material in several industries producing the ash from this husk, that is highly attractive due to its active characteristics as pozzolan (Sensale, 2010; Das et al., 2020).

According to Gartner and Hirao (2015), the energy consumed in the production of clinker can reduce CO₂ of about 5% by the use of pozzolanic alternative materials, such as RHA and contribute to avoid the global warming.

The main purpose of this study was to evaluate the behavior of concretes with and without RHA induced to DEF.

2. EXPERIMENTAL STUDY

2.1 Materials, concrete mix and investigation program

The materials used are presented below:

- Brazilian cement: ASTM type III portland cement.
- Rice husk-ash (RHA).
- Coarse and fine aggregates from granitic rocks being ASR non-reactive ones, according to ASTM C1260; NBR 15577-4: 2018).
- Polyfunctional chemical admixture composed of lignosulfonate and polycarboxylate.

The cement used is a High Early Strength Cement (HE). The oxide percent compositions of portland cement used are CaO: 55.38; SiO₂: 18.39; Fe₂O₃: 4.35; Al₂O₃: 5.38; TiO₂: 0.47; Na₂O:0.35; K₂O: 1.02; and SO₃: 1.88. Data from RHA are: CaO: 0.75; SiO₂: 86.51; Fe₂O₃: 0.42; Al₂O₃: 0.38; TiO₂: 0.00; Na₂O:0.00; K₂O: 1.17; P₂O₅: 1.11; and SO₃: 0.00. Loss on ignition of cement and RHA is equal to 3.83% and 9.81, respectively. RHA used in the experiments is a mineral admixture obtained from the use of rice husk as a fuel material in the Brazilian industry and its crystallographic features are presented in the Fig. 1, indicating some peaks of cristobalite and quartz. Cristobalite represents a polymorph phase of silica formed at very high-temperatures.

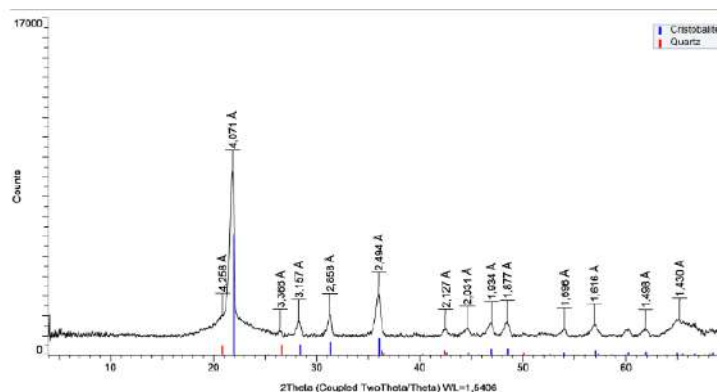


Figure 1. X Ray diffraction of RHA.

Coarse aggregate was used at 19 mm of maximum size with a fineness modulus of 6.82; fine aggregate fineness modulus was 3.11, both, from granitic rocks. The following cement:aggregate ratio was adopted in the mixture: 1:5.31. The concrete mix contains a cement content of 350 kg/m³ and a water/cement of 0.58. A reference concrete was cast with no admixture. A second mix was produced by weight replacement of cement with RHA (8%). The concrete mix tested is widely applied in foundation elements of buildings in Brazil far from coast. The DEF process studied and presented is related to an internal sulfate attack (ISA) from cement due to thermal curing as well as from high hydration heat, thus, not external sulphate (ESA). Concrete prisms (75 x 75 x 285 mm) specimens and also cylindrical ones (100 x 200 mm) were cast for expansion and mechanical tests, respectively, over time. At 28 and 180 days, some samples were collected from selected fragments of concrete specimens tested in order to be analyzed under scanning electron microscopy (by SE –

secondary electrons) and energy dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDS). Those observations were performed in fracture surfaces, after gold sputtering. The procedure adopted for the dimensional monitoring was the same described for the CPT, in the study of ASR (according to ASTM C-1293) for concrete prisms, by readings through studs positioned in the specimen edges. For mechanical tests, axial compressive strength and modulus of elasticity, Brazilian standards were applied at the ages of 7, 28, 90 and 180 days (ABNT NBR 5739; ABNT NBR 8522).

2.2 Curing and storage conditions

For DEF evaluation over time, cast specimens were undergone a specific condition that favored DEF occurrence. It was applied a thermal curing based on Hasparyk et al. (2020) and Schovanz et al. (2021), by using a temperature high exposition (85°C) for 12 hours, after mixing. In the sequence, specimens were maintained in a chamber by water immersion at 38°C during six months. Over time and at established periods, specimens were removed from chamber to perform the tests indicated in 2.1.

3. RESULTS

3.1 Expansions

Figure 2 shows that concrete prisms with no RHA began to produce expansion shortly after one month and, immediately after two months, individual expansions overpassed 0.04%. After six months, the level of DEF expansions was very expressive, with an average of about 0.30%. In contrast, concrete containing RHA featured a little different, with expansions of 0.23% at six months. This behavior has indicated some potential of this mineral admixture in mitigating DEF expansions. By calculation the percentage of reduction in expansions of RHA concrete in relation to the reference concrete, with no admixture (in the presence of the same cement), RHA concrete was able to mitigate 25% the expansions at one month, with an increase of its performance up to 63 days, by achieving a reduction of the order of 55%. However, the same behavior after this period was not observed in relation to the RHA mitigation due to the continuous internal development of DEF over time, according to the produced expansions (Fig. 2) and microscopic analyses (Fig. 8), with an important increase of ettringite crystals. At six months, the RHA concrete mitigation was only about 25%, on average, in relation to the reference concrete (Fig. 2).

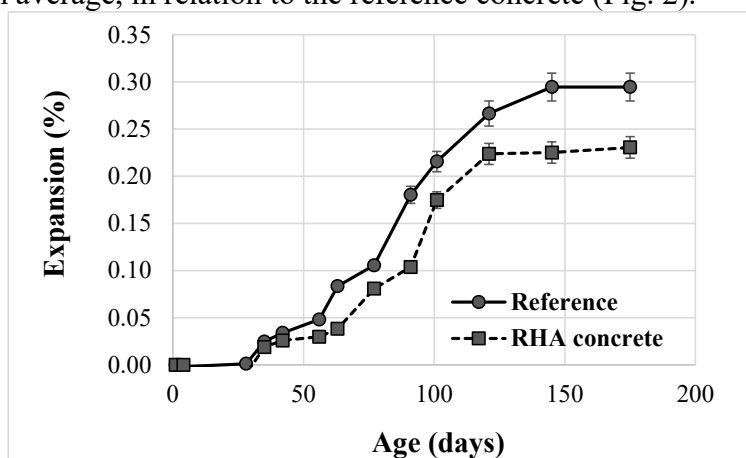


Figure 2. Expansive behavior of reference concrete.

For DEF, there are no national standards for prevention. Some researchers tested a few mineral admixtures. Fly-ash, silica fume and slag, for example, show some potential to reduce risks of DEF, depending on the content used, according to Silva et al. (2010), Bauer et al. (2006), Schovanz et al. (2021). For ashes from rice, researches related to DEF were not detected.

3.2 Mechanical properties

Compressive and tensile strength were evaluated with specimens of concretes after thermal cycle (2.2) in order to monitor the influence of RHA over time.

Average data from compressive strength up to 180 days are presented in the Figure 3. From 7 to 28 days, there is an increase in this property and more expressive for RHA concrete, from then on, significant decreases occurred up to 180 days for both concretes. The compressive strength of reference concrete at 180 days represents just about 50% of the one at 28 days; in the case of RHA concrete, this relation represents 60%.

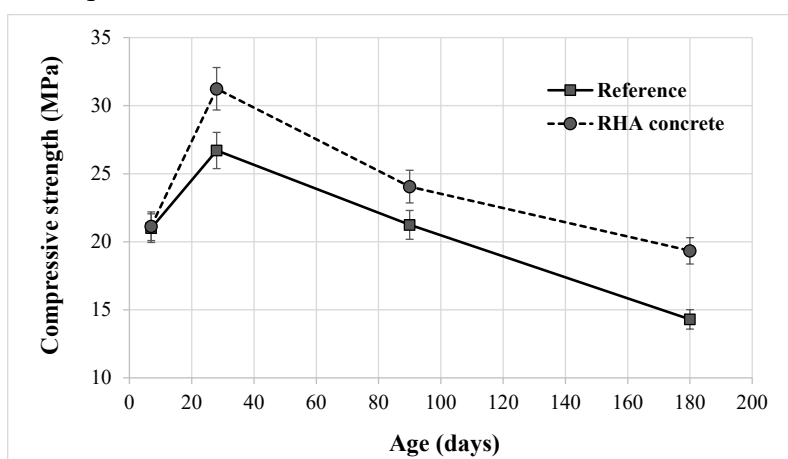


Figure 3. Compressive strength evolution over time.

Some studies have already been presenting compressive strength as very sensitive to DEF at early ages in comparison to other expansive reactions in concrete (Melo, 2010; Sanchez et al., 2018). DEF expansions are much more intense, according to Giannini et al. (2018). As expected, modulus (Figure 4) had also suffered negative influence for both concretes from 28 days, though losses were smaller compared to compressive strength for RHA concrete (about 20% from 180 to 28 days), indicating less cracking, according also to Figure 2. In contrast, at 180 days the modulus of elasticity from reference concrete represents 60% when compared to the one at 28 days, with a similar behavior to the compressive strength. This behavior is in consonance to the one observed by Schovanz (2019) in the presence of other pozzolanic material in mitigating DEF.

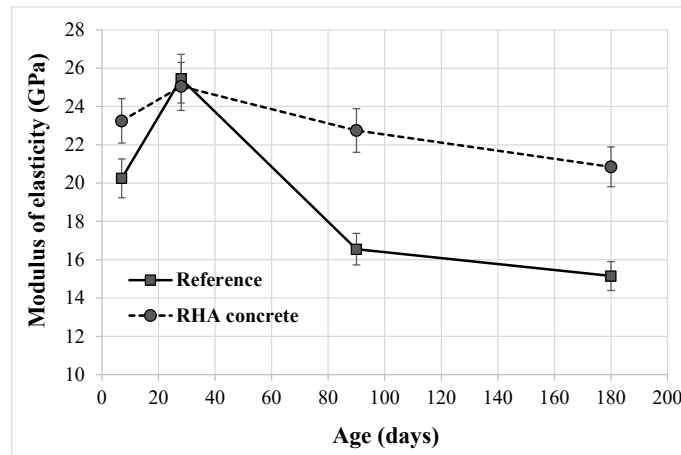


Figure 4. Modulus of elasticity evolution over time.

3.2 Visual monitoring

The surface of concrete prisms was monitored in order to detect some signs of DEF. It was remarkable the important difference between concrete with and without RHA. Concrete without RHA featured clear signs of ettringite formation over time, with white deposits in the voids and microcracking. In contrast, concrete with RHA did not promote cracking up to the evaluated age of six months, but few whitish formations could be observed (Figure 5).



Figure 5. Surface of reference concrete (a) and RHA concrete (b), after 180 days.

White formations were also reported in DEF studies, such as Oliveira et al. (2020) with a similar experimental program involving DEF in mortars. In the SEM analyses the researches ascribed the white formations to the delayed ettringite. Schovanz et al. (2021) studied the behavior of concretes with fly-ash exposed to DEF up to 252 days and did not noticed external symptoms of ettringite, as well. However, evidences of secondary ettringite were observed through microstructural analyses of the internal portions of concretes suggesting further investigations for a longer period of time to certify their performance and expansions mitigative effect.

3.4 Microstructural analyses

Based on the microstructural analysis by means of SEM/EDS, it was observed an important formation of crystals of ettringite over time, from one to six months. It represents the inhibition of primary ettringite at the first ages and over time, with high moisture, sulfate ions could be available to produce deleterious secondary ettringite. Furthermore, the presence of ettringite formation was verified for both concretes (with and without rice husk-ash), even though reference concrete, without this pozzolan, featured a major incidence of those neoformations by SEM. Figure 6 shows micrographs registered during SEM analyses at 28 days. Concretes featured with normal

characteristics, with empty voids and integrity of the cement matrix. On the other hand, at six months the integrity of both concretes was shattered, with several voids filled by acicular crystals and also massive formations of ettringite. Furthermore, radial cracks (Figure 7 (a) and Figure 8 (a)) and also detachments in the interfacial transition zone were observed, accompanied by ettringite crystals (Figure 7 (b) and Figure 8 (b)). Some similar characteristics were reported by Schovanz et al. (2021) in concretes cast with a similar cement, with no admixture. Other researchers had detected DEF in concretes containing pozzolans by microscopic analyses (Leklou et al., 2017).

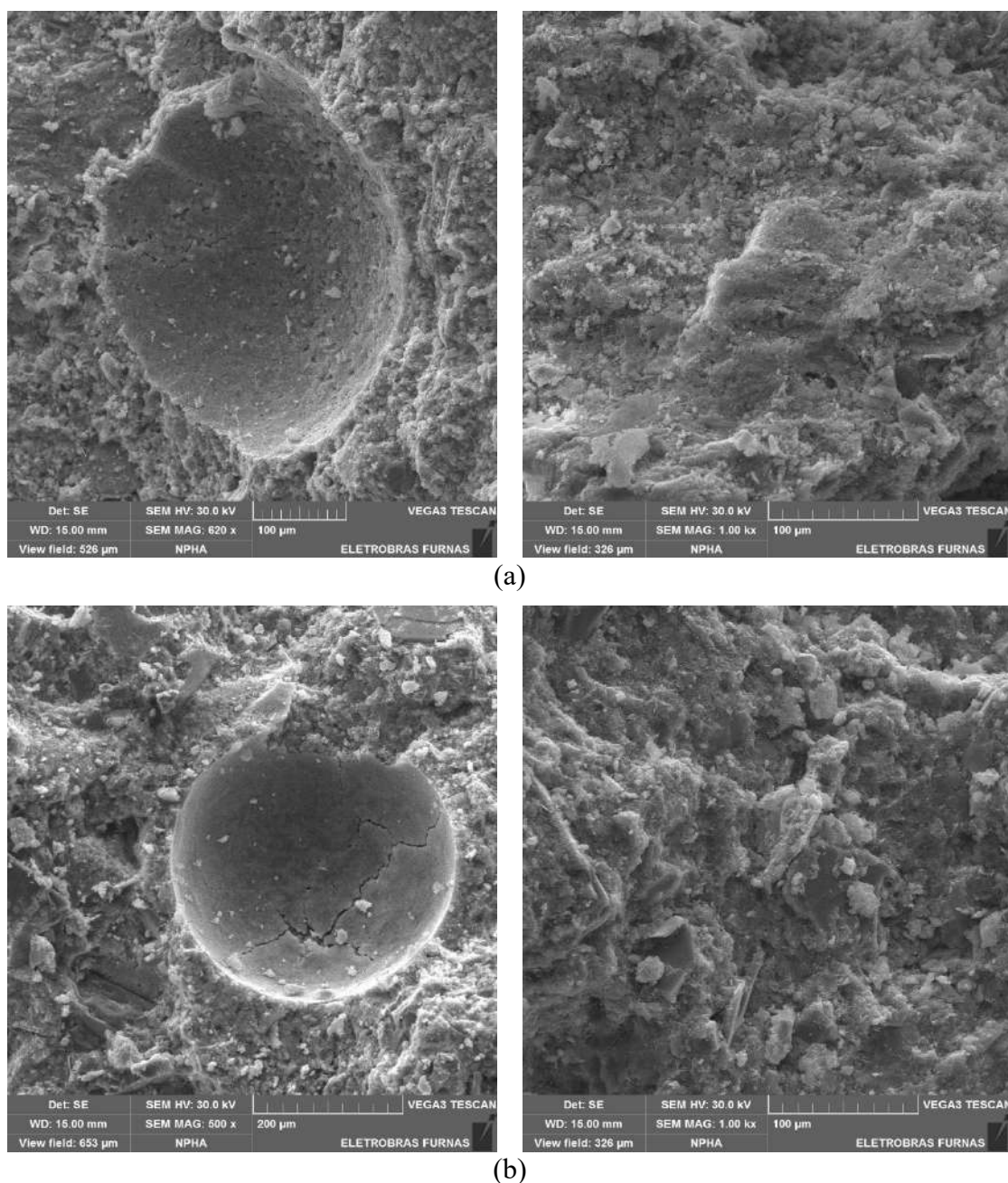
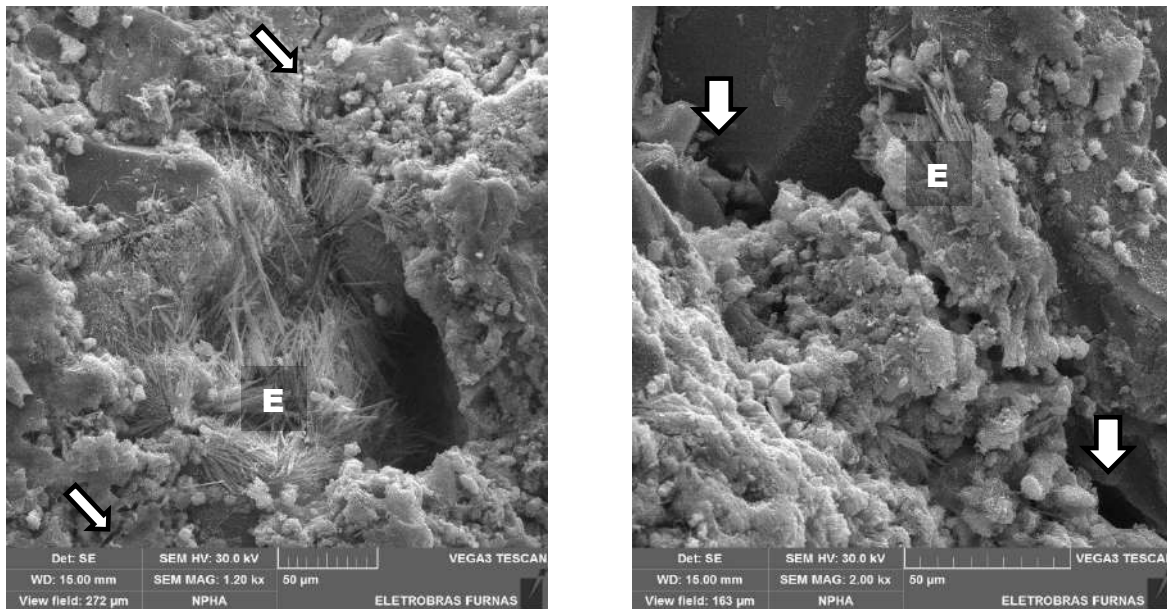
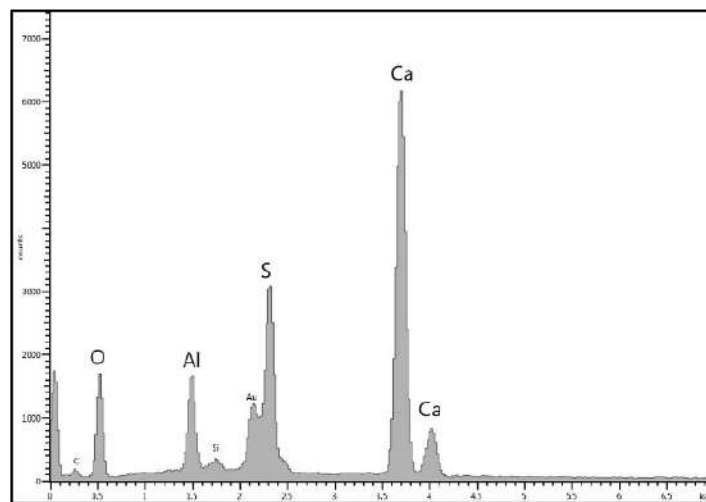


Figure 6. SEM micrography on day 28 of the assay. (a) reference concrete; (b) RHA concrete.



(a)

(b)



(c)

Figure 7. SEM micrography and EDS on day 180 of the assay for reference concrete.

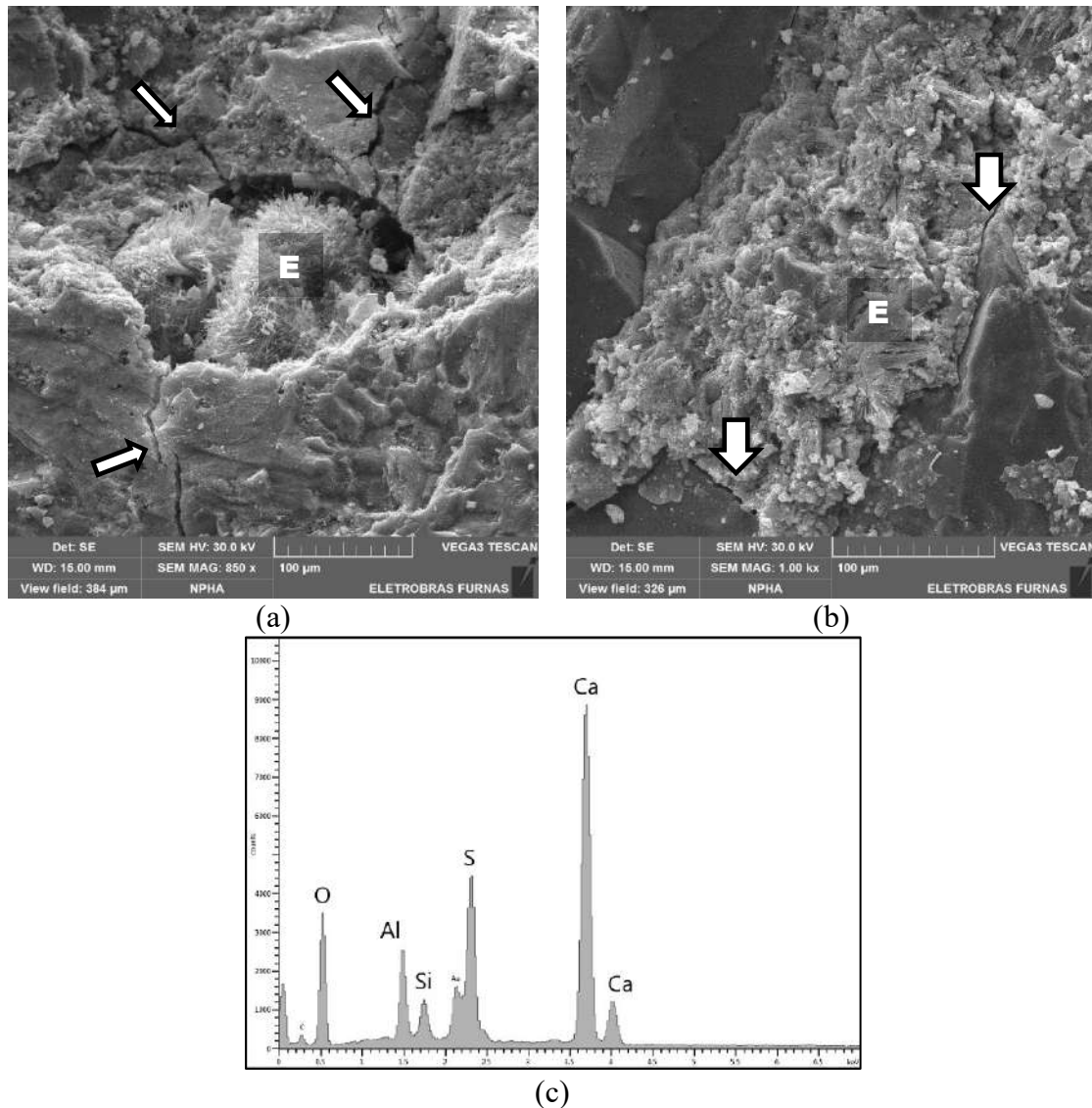


Figure 8. SEM micrography and EDS on day 180 of the assay for RHA concrete.

4. CONCLUSIONS

The behavior of concretes produced with RHA and induced to DEF have been evaluated in the present work and experimental data have been discussed with previous studies.

The thermal cycle adopted was able to induce DEF for both concretes (with and without RHA), according to microstructure features of concretes and also mechanical properties determined.

Compressive strength and modulus of elasticity were impaired due to the high expansion levels at 180 days (0.23% for RHA and 0.30% for Ref.) and incidence of cracking.

This study has concluded that the RHA tested, and at 8%, was not able to completely mitigate DEF consequences, considering the conditions assessed and the materials used in the experimental program.

5. ACKNOWLEDGES

The authors would like to acknowledge Faculdade Meridional (IMED) - Passo Fundo/RS Campus and ANEEL/FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. for the support.

This research was based upon a R&D Project from ANEEL - National Agency, " Uso de bio-concretos e bio-mmfs de baixo impacto ambiental visando o aumento da eficiência energética de prédios públicos" – PD.0394-1719/2017, supported by Eletrobras Furnas with UFRJ cooperation.

6. REFERENCES

Amine, Y., Leklou, N., Amiri, O. (2017), Effect of supplementary cementitious materials (SCM) on delayed ettringite formation in heat-cured concretes. *Energy Procedia*. 139:565-570.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.254>

Asamoto, S., Murano, K., Kurashige, I. (2017), Effect of carbonate ions on delayed ettringite formation. *Construction and Building Materials*. 147:221-226.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.107>

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). *NBR 8522: Concreto – Determinação dos Módulos Estáticos de Elasticidade e de Deformação à Compressão*. Rio de Janeiro.

Bauer, S., Cornell, B., Figurski, D., *Alkali-silica reaction and delayed ettringite formation in concrete: A literature review*. Report: Project performed in cooperation with the Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration. *Center for Transportation Research at the University of Texas at Austin*, 2006.

Bronholo, J. (2020), “*Estudo do ataque individual e misto de DEF e RAA e de seus efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas e mecânicas de concretos e argamassas de cimento portland Pozolânico e de alta resistência*” Master Thesis, Instituto de Engenharia do Paraná, p. 216.

Das, S. K., Mishra, J., Singh, S. K. (2020), Characterization and utilization of rice husk ash (RHA) in fly ash – Blast furnace slag based geopolymer concrete for sustainable future. *Materials Today: Proceedings*. 30:1-12.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.870>

Foreign Agricultural Service, United States Department of Agriculture. *World Agricultural Production*. 2019. Available in: <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>. Accessed on: may. 2021.

Fournier, B., Bérubé, M. (2020), Alkali–aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 27:167-191.

<https://doi.org/10.1139/199-072>

Gartner, E., Hirao, H. (2015), A review of alternative approaches to the reduction of CO2 emissions associated with the manufacture of the binder phase in concrete. *Cement and Concrete Research*. 78:126-142.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.04.012>

Giannini, E. R., Sanchez, L. F. M., Tuinukuafe, A. (2018), Characterization of concrete affected by delayed ettringite formation using the stiffness damage test. *Construction and Building Materials*. 162:253-264.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.012>

Givi, A. N., Rashid, S. A., Aziz, F. N. A. (2010), Contribution of rice husk ash to the properties of mortar and concrete: A review. *Journal of American Science*. 6:157-165.

Godart, B. (2017), Pathology, assessment and treatment of structures affected by delayed ettringite formation. *Structural Engineering International*. 27:362-369.

<https://doi.org/10.2749/101686617X14881932436771>

Hasparyk, N. P. (1999), “*Investigação dos mecanismos de reação álcali-agregado - Efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa*”, Master Thesis, Universidade Federal de Goiás, p. 281.

Hasparyk, N. P., Kuperman, S. C. (2019), “*Deterioração do concreto por reações expansivas*”. In: XXXII - Seminário Nacional de Grandes Barragens – SNGB. - Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. Salvador (Brazil).

Hasparyk, N. P., Schovanz, D., Kuperman, S. (2020), “*Método de ensaio para a avaliação do potencial de ocorrência da etringita tardia (DEF) em concreto*”. Goiânia: Ed. Furnas.

IFSTTAR - Institut Francais des Sciences et Technologies des Transports, de l'Amenagement et des Reseaux. (2018). “*Recommendations for preventing disorders due to Delayed Ettringite Formation*”. Merne-la-Vallée. Technics and methods, GTI5-A, 70p. ISBN 978-2-85782-745-0.

Irga. Divisão de Assistência Técnica e Extensão Rural. “*Boletim de resultados da lavoura*”. 2021. Available in: <https://irga.rs.gov.br/safras-2>. Accessed on: may 2021.

LCPC - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (2009), “*Guide technique - Recommendations for preventing disorders due to Delayed Ettringite Formation*”. Paris.

Leklou, N., Nguyen, V., Mounanga, P. (2016), The effect of the partial cement substitution with fly ash on delayed ettringite formation in heat-cured mortars. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21:1359-1366.

<https://doi.org/10.1007/s12205-016-0778-9>

Lopes, E. R., Medina, A. L., Ribeiro, A. S. (2017), Caracterização elementar da casca de arroz e suas cinzas por MIP OES após decomposição ácida com sistema de refluxo. *Química Nova*. 40: 1009-1017.

<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170119>

Jeong, J., Ramézani, H., Leklou, N. (2017), Porous-micro-dilatation theory for random crystallization: Monte Carlo simulation for delayed ettringite formation. *Acta Mechanica*. 228(9):3223-3249.

Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (2014), “*Concreto: estrutura, propriedades e materiais*”, 2. ed. Hasparyk, N.P. (Ed.). São Paulo: IBRACON, Brazil.

Melo, S. K. (2010), “*Estudo da formação da etringita tardia em concreto por calor de hidratação do cimento*”, Master Thesis, Universidade Federal de Goiás, p. 286.

Oliveira, S., Amantino, G. M., Hasparyk, N. P., Tiecher, F. (2020), “*Avaliação do potencial da cinza de casca de arroz na mitigação da DEF*” in: IBRACON (Eds.), 62° Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis: (Brazil), pp. 1-16.

Ramasamy, V. (2011), Compressive strength and durability properties of rice husk ash concrete. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 16:93-102.

<https://doi.org/10.1007/s12205-012-0779-2>

Ramlochan, T., Zacarias, P., Thomas, M. D. A., Hooton, R. D. (2003), The effect of pozzolans and slag on the expansion of mortars cured at elevated temperature Part I: Expansive behavior. *Cement and Concrete Research*. 33:807-814.

[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01066-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01066-9)

Sanchez, L. F. M., Drimalas, T., Fournier, B. (2018), Comprehensive damage assessment in concrete affected by different internal swelling reaction (ISR) mechanisms. *Cement and Concrete Research*, 107:284-303.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.017>

Saraswathy, V., Song, H. (2006), Corrosion performance of rice husk ash blended concrete. *Construction and Building Materials*. 21:1779-1784.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.037>

Sensale, G. R. (2010), Effect of rice-husk ash on durability of cementitious materials. *Cement & Concrete Composites*. 32:718-725.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.008>

Schovanz, D. (2019), “*Estudo da formação da etringita tardia (def) em concretos com cimento portland pozolânico e de alta resistência*”. Master Thesis, Faculdade IMED, p. 180.

Schovanz, D., Tiecher, F., Hasparyk, N. P., Kuperman, S. C. (2019), “*Influência da formação da etringita tardia (DEF) na microestrutura e propriedades mecânicas do concreto*” in: IBRACON (Ed.), 61° Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza: (Brazil).

Schovanz, D., Tiecher, F., Hasparyk, N. P., Kuperman, S., Lermen, R. T. (2021), Evaluation of Delayed Ettringite Formation through Physical, Mechanical, and Microstructural Assays. *ACI Materials Journal*. 118:101-109.

<https://doi.org/10.14359/51728282>

Seignol, J., Omikrine-Metalssi, O., Toutlemonde, F. (2012), “Recent advances in modeling DEF-effects” in: RILEM (Eds.), RILEM PRO-85, CONCRACK 3, Paris: (France), pp. 55-68.

Silva, A. S., Soares, D., Matos, L. (2010), Influence of mineral additions in the inhibition of delayed ettringite formation in cement based materials - A microstructural characterization. *Materials Science Forum*. 636–637:1272–1279.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.636-637.1272>

Taylor, H. F. W. (1997), “*Cement Chemistry*”, 2. Ed. Thomas Telford, London, England, p. 469.

Zerbino, R., Giaccio, G., Batic, O. R. (2012), Alkali–silica reaction in mortars and concretes incorporating natural rice husk ash. *Construction And Building Materials*. 36:796-806.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.049>

DETERMINAÇÃO DA ABSORTÂNCIA PELO MÉTODO DE PADRÕES COMPARATIVOS

G. G. Nobre^{1*}, E. Bauer²

*Autor de Contato: guilhermegnobre.eng@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

² Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

RESUMO

A absorvância é uma propriedade para realizar análises e simulações térmicas, pois permite a obtenção de resultados mais fidedignos. Com base nisto, este artigo objetiva a aplicação de uma metodologia de comparação, adaptado de Dornelles (2007b) para determinação dos valores aproximados da absorvância. Com o auxílio de um banco de dados e do programa WUFI Pro 5.0[®], são realizadas simulações na orientação norte, de quatro edifícios distintos, para análises da temperatura máxima e da amplitude térmica, como forma de exemplificar a utilização da absorvância. Os resultados apresentados mostraram que a absorvância tem grande influência nos pontos analisados e que a metodologia aplicada é uma alternativa para determinar valores aproximados de absorvância para as simulações.

Palavras chave: Absorvância; Simulação; Fluxo de calor; Temperatura; Amplitude térmica.

RESUMEN

La absorptancia es una propiedad para realizar análisis y simulaciones térmicas, ya que permite obtener resultados más fiables. Con base en esto, este artículo tiene como objetivo aplicar una metodología de comparación, adaptada de Dornelles (2007b) para determinar los valores aproximados de absorptancia. Con la ayuda de una base de datos y el programa WUFI Pro 5.0®, se realizan simulaciones en la orientación norte, de cuatro edificios diferentes, para el análisis de la temperatura máxima y la amplitud térmica, como una forma de ejemplificar el uso de la absorptancia. Los resultados presentados mostraron que la absorptancia tiene una gran influencia en los puntos analizados y que la metodología aplicada es una alternativa para determinar valores de absorptancia aproximados para las simulaciones.

Palabras llave: Absorptancia; Simulación; Flujo de calor; Temperatura; Rango térmico.

ABSTRACT

Absorptance is a property to perform thermal analysis and simulations, as it allows obtaining more reliable results. Based on this, this article aims to apply a comparison methodology, adapted from Dornelles (2007b) to determine approximate absorptance values. With the help of a database and the WUFI Pro 5.0® program, simulations are carried out in the north orientation, of four different buildings, for analysis of the maximum temperature and the thermal amplitude, as a way of exemplifying the use of absorptance. The presented results showed that the absorptance has a great influence on the analyzed points and that the applied methodology is an alternative to determine approximate absorptance values for the simulations.

Keywords: Absorptance; Simulation; Heat flux; Temperature; Thermal range.

1. INTRODUÇÃO

A radiação proveniente do Sol atinge a Terra na forma de ondas eletromagnéticas curtas, alcançando as edificações de três formas distintas (ZANONI, 2015). Essas são denominadas: radiação direta, difusa e refletida, onde a somatória destas denomina-se radiação total. A radiação direta é a que passa pela atmosfera e vai diretamente à superfície analisada, sem sofrer grandes alterações. Já a radiação difusa, ao passar pela atmosfera, sofre processos de difusão, reflexão e absorção, os quais dependem das nuvens e de partículas que compõem a atmosfera. A radiação refletida ao passar pela atmosfera, atinge outros corpos e reflete para a superfície da fachada (ZANONI, 2015).

Vale salientar que a principal fonte responsável pelo ganho térmico das edificações é a radiação solar, principalmente em regiões de clima quente (COELHO et. al., 2017). A radiação também se altera dependendo da orientação em que se encontra a edificação, onde no hemisfério norte as regiões críticas são a sul e oeste, já no hemisfério sul se altera para norte e oeste (SILVA, 2014; NASCIMENTO, 2016).

A absorptância pode ser definida pela razão entre a taxa de radiação solar absorvida pela taxa de radiação total emitida sobre uma dada superfície (ABNT, 2005). A radiação total que incide sobre uma superfície pode ter três comportamentos distintos: pode ser absorvida (absorptância), refletida (refletância) ou atravessa (transmitância), sendo que a soma desses três deve ser a unidade (RORIZ, 2008).

A radiação total (I_t) incidente sobre uma vedação opaca é dividida em duas partes distintas, sendo que uma é absorvida ($I_t.a$) e outra é refletida ($I_t.p$), pois a transmitância é zero. A absorptância tem relação direta com o acréscimo de temperatura superficial, ou seja, quanto maior a absorptância,

maior será a radiação absorvida e como consequência maior o incremento de temperatura na superfície (COELHO et. al., 2017).

As tonalidades claras possuem absorvância menor, quando comparado com tonalidades escuras. Isso ocorre porque cores claras tem facilidade de refletir, enquanto cores escuras absorvem a radiação incidente (RORIZ, 2008). Por isso fachadas com valores de absorvância menores, tendem a aquecer menos quando comparados a valores de absorvância maiores.

A norma brasileira de desempenho (ABNT, 2013) expõe três valores de absorvância, sendo divididos em cor clara ($\alpha = 0,3$), cor média ($\alpha = 0,5$) e cor escura ($\alpha = 0,7$). Tal classificação dificulta a análise do desempenho térmico em edificações. Chvatal (2014) correlacionou os resultados obtidos pelo procedimento de avaliação simplificada da NBR 15575 (ABNT, 2013) e pela simulação chegou à conclusão que os métodos produzem respostas distintas e que o procedimento de avaliação simplificada não é sensível à ação da transmitância e da absorvância.

Com base no que é exposto, este trabalho tem como objetivo descrever uma metodologia fundamentada na avaliação comparativa adaptada de Dornelles (2007b), para determinar o valor aproximado da absorvância das fachadas. Propõe-se então a aplicação dos valores de absorvância na simulação higrotérmica do programa WUFI Pro 5.0®, analisando os valores de temperatura máxima e amplitude térmica de quatro edifícios localizados em Brasília – Brasil.

2. MÉTODOS

2.1 Detalhando o método de estimativa da absorvância

A fim de definir o valor aproximado da absorvância a ser usado, utiliza-se o trabalho de Dornelles (2007b) com algumas adaptações, que descreve cinco grupos de tonalidades com suas respectivas absorvâncias. Os cinco grupos de tonalidades são conjuntos de 78 cores ao todo, das quais são descritas a absorvância correspondente. Neste caso, separa-se todas as cores semelhantes à fachada em análise, de pelo menos quatro dos cinco grupos e exclui-se os valores extremos, optando por um dos valores intermediários. Vale ressaltar que não recomenda-se calcular o valor médio das absorvâncias, e sim usar um valor estabelecido dentro dos grupos.

O método pode ser exemplificado com uma fachada hipotética, onde selecionam-se todas as cores similares nos cinco grupos presentes no trabalho de Dornelles (2007b) e retira-se os valores maiores e menores de absorvância, até que reste apenas um valor intermediário. Vale ressaltar que Dornelles (2007b) traz uma tabela com as diversas cores e seus respectivos valores de absorvância.

É utilizada a metodologia proposta para determinar um valor aproximado de absorvância em um banco de dados composto por 41 edifícios, com mais de 340 pontos de análise, localizados na região de Brasília-Brasil. Os edifícios possuem revestimento cerâmico e variam de 5 a 48 anos de construção. Para exemplificar a utilização da absorvância, é proposta uma aplicação na simulação higrotérmica, que é descrita no item 2.2.

2.2 Simulação

São escolhidos quatro edifícios dentre as opções contidas no banco de dados e com o auxílio da metodologia adaptada de Dornelles (2007b) são determinadas as absorvâncias (tabela 1) para se realizar a simulação. Todos os edifícios possuem revestimento cerâmico e, sendo assim, opta-se por realizar a simulação somente na fachada norte.

Tabela 1 – Idades e absorvância de cada edifício.

EDIFÍCIO	IDADE	ABSORTÂNCIA	ORIENTAÇÃO
12	19	34,6	NORTE
31	24	62,5	NORTE
9	36	55,2	NORTE
23	43	28,2	NORTE

Com o auxílio do programa WUFI Pro 5.0[®], é realizado uma simulação de transferência de calor em cada edifício, na orientação norte, a fim de se estudar o comportamento do revestimento com relação ao transporte térmico. Para a simulação higrotérmica são colocados no programa os dados de entrada, na qual é realizada a caracterização do sistema e das propriedades dos materiais que irão constituir cada camada, além de determinar os dados do clima onde o edifício está localizado e os coeficientes.

As propriedades dos materiais são obtidas do Relatório Interno do LEM-UnB (BAUER; NASCIMENTO; CASTRO, 2015). Os coeficientes necessários para a simulação são a resistência superficial externa (R_{se}) e interna (R_{si}), absorvância (α) e refletividade, onde com exceção da absorvância, que é obtida pela metodologia descrita neste trabalho, o restante é estabelecido pelo próprio programa.

Os dados do clima são obtidos por meio dos arquivos climáticos TMY (Typical Meteorological Year) e da base EPW/ANTAC (RORIZ, 2012), que são dados horários de um ano climático típico, configurados para simulação computacional. Após essa etapa é realizada a simulação considerando o tempo de um ano, resultando assim nos dados de saída, que, para esse estudo, se relacionam à temperatura.

A fachada é representada durante a simulação da seguinte forma: são colocados 5 pontos de análise, sempre entre as camadas. A primeira camada é a da peça cerâmica (0,5 cm), seguida pelo emboço argamassado (2 cm), bloco cerâmico (9 cm) e por fim, a argamassa de revestimento interno (2 cm). O programa WUFI Pro 5.0[®] gera dados relacionados ao transporte de calor que são analisados com o auxílio do programa Excel. Com relação a temperatura, analisou-se a amplitude térmica e temperatura máxima de cada mês, como é descrito com mais detalhe posteriormente.

2.3 Temperatura máxima

A partir dos dados de saída do programa WUFI Pro 5.0[®] é calculado a temperatura máxima mensal ($T_{máx}$), que é a maior temperatura registrada no mês para os dados da simulação. Os dados analisados são tanto da temperatura superficial externa (temperatura da superfície do revestimento), como da temperatura ambiente (temperatura ambiente externa) para o cálculo da temperatura média anual (1).

$$T_{méd} = \frac{\sum T_{máx\ i}}{12} \quad (1)$$

Onde $T_{méd}$ é a média das temperatura máximas, $T_{máx\ i}$ é a temperatura máxima registrada no mês i , 12 é a quantidade total de meses.

2.4 Amplitude térmica

A amplitude térmica (2) é a diferença entre a temperatura máxima diária pela temperatura mínima diária, na qual é registrada para cada mês a maior amplitude diária, além do cálculo da amplitude térmica média registrada para cada edifício. Os dados analisados também são os da temperatura superficial e da temperatura ambiente para o cálculo da amplitude térmica média (3).

$$\Delta T = T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}} \quad (2)$$

Onde ΔT é a amplitude térmica, $T_{\text{máx}}$ é a temperatura máxima diária e $T_{\text{mín}}$ é a temperatura mínima diária.

$$\Delta T_{\text{méd}} = \frac{\sum \Delta T_{\text{máx } i}}{12} \quad (3)$$

Onde $\Delta T_{\text{méd}}$ é a média da amplitude térmica máxima, $\Delta T_{\text{máx } i}$ é a amplitude térmica máxima registrada no mês i , 12 é a quantidade total de meses.

3. RESULTADOS

3.1 Tabela resumo

A tabela resumo apresenta a aplicação da metodologia proposta, adaptada de Dornelles (2007b) para determinação de um valor aproximado de absorvência, em que é aplicado o método e os valores da absorvência de 41 edifícios são estipulados e tabelados com suas respectivas cores, como está descrito na tabela 2. O valor de absorvência pode ser usado para simulações, possibilitando uma análise do comportamento térmico dos edifícios. Os valores de absorvência determinados são distintos, variam de 28,2% a 72,9%, mostrando que o banco de dados possui cores claras que absorvem pouca energia térmica e cores escuras que absorvem mais energia térmica.

Tabela 2 - Tabela Resumo.

EDIFÍCIO	ABSORTÂNCIA (%)	COR
1	28,2	BRANCO
2	28,2	BRANCO
3	34,6	AMARELO
4	72,9	AMARELO
5	72,9	AZUL
6	28,2	BRANCO
7	72,9	AZUL
8	28,9	BRANCO
9	55,2	AMARELO
10	34,6	AMARELO
11	34,6	AMARELO
12	34,6	AMARELO
13	37,5	AZUL
14	63,5	VERMELHO
15	37,5	AZUL
16	56,1	AMARELO
17	56,1	AMARELO
18	56,1	AMARELO
19	56,1	AMARELO
20	56,1	AMARELO
21	56,1	AMARELO
22	56,1	AMARELO
23	28,2	BRANCO
24	28,2	BRANCO
25	37,5	BRANCO
26	37,5	BRANCO
27	37,5	BRANCO
28	63,5	VERMELHO
29	63,5	VERMELHO
30	63,5	VERMELHO
31	62,5	MARROM
32	60,3	CINZA
33	60,3	CINZA
34	60,3	CINZA
35	60,3	CINZA
36	60,3	CINZA
37	60,3	CINZA
38	60,3	CINZA
39	60,3	CINZA
40	56,1	AMARELO
41	60,3	CINZA

3.2 Temperatura máxima

A temperatura máxima mensal está descrita na figura 1, onde se observa que em todos os meses, os valores estão em concordância com a absortância, pois quanto maior a absortância, maior a temperatura. Se obteve os maiores valores de temperatura máxima no mês de julho, dando destaque para o edifício 31 (48,87°C), seguido pelo 9 (46,42°C), 12 (39,49°C) e 23 (37,34°C). Já os menores valores ocorreram no mês de dezembro, seguindo a mesma ordem do mês de julho, com o edifício 31 (35,09°C), seguido pelo 9 (34,08°C), 12 (31,48°C) e 23 (30,73°C). Ademais, observa-se que quanto maior a absortância, maior é o valor da temperatura máxima.

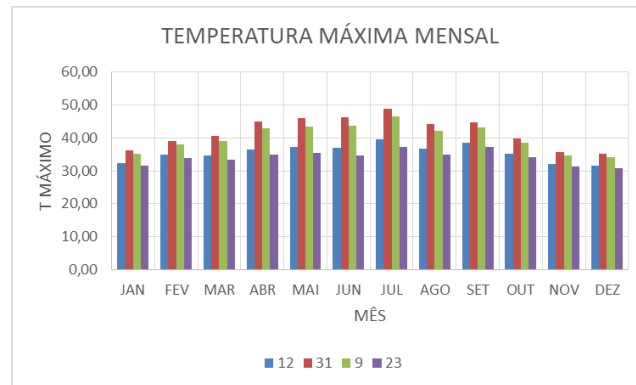


Figura 1 – Temperatura máxima mensal.

Os valores médios de temperatura máxima anual são descritos na figura 2, são calculados para a superfície da fachada de cada edifício e a temperatura ambiente, que por sua vez será igual para todos, já que estão na mesma cidade. O maior valor de média das temperaturas máximas é do edifício 31 (41,77°C), seguido pelo 9 (40,10°C), 12 (35,47°C), 23 (34,10°C) e a menor é a temperatura ambiente (29,35°C). Nota-se que quanto menor a absorvância menor é o incremento de temperatura, quando comparado com a temperatura ambiente. Já a figura 3 mostra a relação entre a absorvância e a média das temperaturas máximas de cada edifício, onde observa-se uma relação praticamente linear entre os valores, revelando que existe uma relação entre absorvância e temperatura máxima.

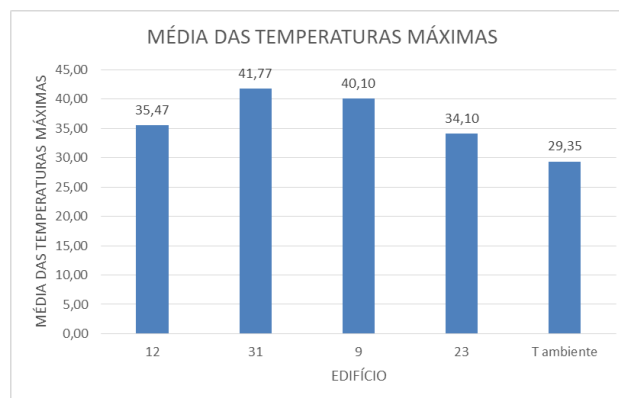


Figura 2 – Média das temperaturas máximas mensais da superfície e da temperatura ambiente.

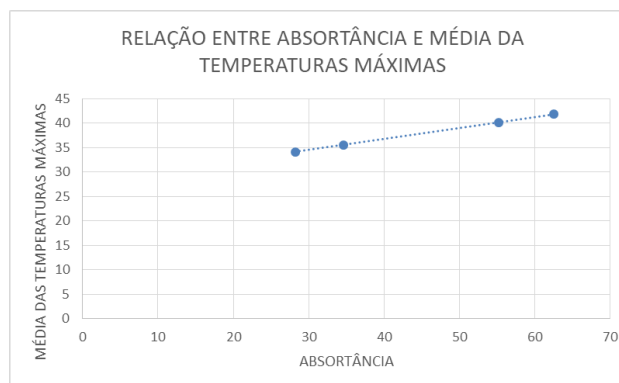


Figura 3 – Relação entre absorvância e média das temperaturas máximas da superfície da fachada.

3.3 Amplitude térmica

A amplitude térmica máxima mensal é apresentada na figura 4, onde os maiores valores ocorreram no mês de julho, com o edifício 31 (31,66°C), seguido pelo 9 (29,28°C), 12 (22,55°C) e 23 (20,46°C). Já os menores valores são observados no mês de dezembro, novamente seguindo a mesma ordem com o edifício 31 (15,74°C), seguido pelo 9 (14,69°C), 12 (11,77°C) e 23 (11,08°C). Observa-se que a amplitude térmica também tem relação com a absorvância, pois quanto maior a absorvância maiores são os valores de amplitude.

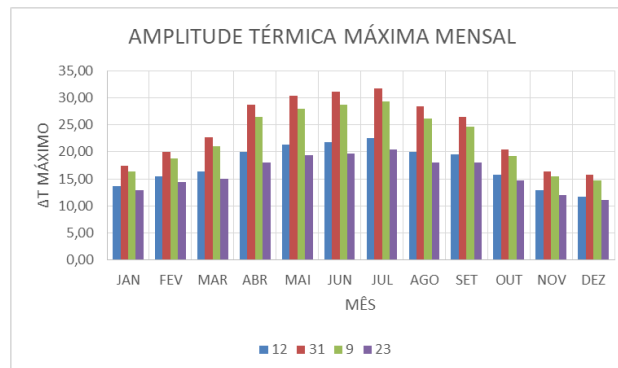


Figura 4 – Amplitude térmica máxima mensal.

A média das amplitudes térmicas máximas na superfície de cada edifício e da temperatura ambiente são apresentadas na figura 5, onde segue a mesma ordem da média das temperaturas máximas, com o edifício 31 (24,12°C) com os maiores valores, seguido pelo 9 (22,41°C), 12 (17,61°C), 23 (16,15°C) e a temperatura ambiente com o menor valor (12,53°C). Ademais, observa-se que quanto menor a absorvância, menor é o incremento da amplitude, quando comparado com a temperatura ambiente. A relação entre a absorvância e a média das amplitudes térmicas para cada edifício é apresentada figura 6, onde observa-se uma relação praticamente linear, mostrando assim que existe uma correlação entre absorvância e amplitude térmica.

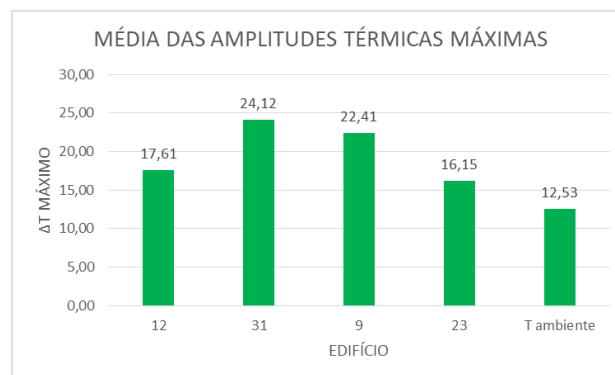


Figura 5 - Média da amplitude térmica máxima da superfície e da temperatura ambiente.

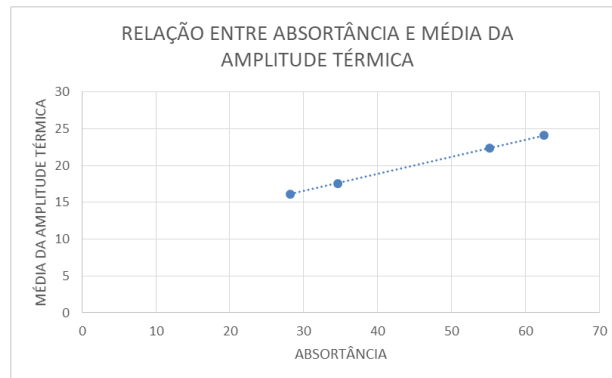


Figura 6 – Relação entre absorvância e média das amplitudes térmicas da superfície da fachada.

Os resultados apresentados mostram a influência da absorvância em parâmetros associados à temperatura superficial das fachadas, como temperatura máxima e amplitude térmica. O que condiz com a afirmativa de que a absorvância tem influência no fluxo térmico das edificações (DORNELLES; RORIZ, 2007a). Diversos autores (THOMAZ, 1989; SARAIVA, 1998; FIORITO, 2009) concordam que a fissuração e o deslocamento ocorrem principalmente por causa da variação térmica, que pode gerar variações dimensionais que são danosas ao edifício. Logo, revestimentos com elevados valores de absorvância podem estar relacionados com processos mais intensos de degradação, o que impacta no desempenho e vida útil das fachadas.

4. CONCLUSÕES

O artigo tem como objetivo descrever uma metodologia de avaliação comparativa, adaptada de Dornelles (2007b), para determinar um valor aproximado da absorvância. Com os valores obtidos por esse método, são realizadas quatro simulações no programa WUFI Pro 5.0®, analisando a amplitude térmica máxima e temperatura máxima de cada mês de quatro edifícios distintos, como forma de exemplificar uma utilização da absorvância. Tendo por base o que é exposto, é possível concluir que a absorvância tem influência na temperatura superficial dos edifícios e que o método adaptado de Dornelles (2007b), é uma alternativa para determinação dos valores aproximados de absorvância da fachada, possibilitando assim a realização de simulações. A própria norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2013) expõe apenas três valores, sendo um parâmetro que necessita de valores mais precisos para alcançar simulações mais próximas da realidade.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2005). *NBR 15220-1: desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2013). *NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro.

BAUER, E.; NASCIMENTO, M.L.M.; CASTRO, E.K. (2015). *Parâmetros e ensaios físicos de materiais e componentes da fachada*. Relatório interno – Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) –UnB/ENC.

CHVATAL, K. M. S. (2014). *Avaliação do Procedimento Simplificado da NBR 15575 Para Determinação do Nível de Desempenho Térmico de Habitações*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez.

COELHO, T. da C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A. (2017). *Desempenho térmico e absorvância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 147-161, jan./mar. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100129>.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. (2007a). *Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações*. X Congresso Internacional de Tintas. Anais...São Paulo.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. (2007b). *A ILUSÃO DAS CORES NA IDENTIFICAÇÃO DA ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS*. In: IX ENCAC E VII ELACAC, 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: ANTAC.

FIORITO, A. J. S. I. (2009). *Manual de Argamassa e Revestimento – Estudo e Procedimento de Execução*. Editora Pini, São Paulo, SP.

NASCIMENTO, M. L. M. (2016). *Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 173p.

RORIZ, M. (2012). *Correções nas Irradiâncias e Iluminâncias dos arquivos EPW da Base ANTAC*. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos – SP.

RORIZ, M. (2008). *Apostila da Disciplina CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES*, São Carlos – SP.

SARAIVA, A. G. (1998). *Contribuição ao Estudo de Tensões de Natureza Térmica em Sistema de Revestimento Cerâmico de Fachada*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, DF.

SILVA, M. N. B. (2014). *Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF*. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-006A/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 198 p.

THOMAZ, E. (1989). *Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação*. São Paulo: PINI, EPUSP, IPT.

WUFI Pro 5.3. IBP - *Fraunhofer Institute for Building Physics*. Holzkirchen, Germany, 2013.

ZANONI, V.A.G. (2015). *Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília*. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 293 p.

Diagnóstico y patología del puente de hierro sobre el río Jatibonico.

R. Pérez ^{*1}, J. Nápoles²

*Raimundo F. Pérez Delgado: mundi@eniavc.cu

¹ Departamento de Geotecnia, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas UIC Villa Clara, Santa Clara, Cuba

² Departamento de Geotecnia, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas UIC Villa Clara, Santa Clara, Cuba

RESUMEN

Las visibles muestras de deterioro del puente de hierro del km 416 de la Carretera Central, con vibraciones acentuadas entre otras patologías, requirieron de estudios con el objetivo de diagnosticar su estado actual con evaluación del desempeño. El trabajo enfocado a la superestructura con análisis de estribos, elementos de apoyo, cerchas, tablero y arriostres, consigue el levantamiento estructural y caracterización de sus materiales con incertidumbre propia del laboreo sin cierre de la vía, sin acceso a determinadas uniones. Pionero entre otros trabajos similares requeridos en esta vía con casi 100 años de explotación y deficiente mantenimiento puede constituir una guía de trabajo. La infraestructura vial indicador de salud económica, justifica avizorar anomalías implementando las medidas de restauración a tiempo.

Palabras clave: diagnóstico; puente de hierro; elementos estructurales

RESUME

The visible signs of deterioration of the iron bridge of km 416 of the Central Highway, with accentuated vibrations among other pathologies, required studies in order to diagnose its current state with performance evaluation. The work focused on the superstructure with analysis of abutments, support elements, trusses, deck and bracing, achieves the structural lifting and characterization of its materials with the uncertainty of working without closure of the road, without access to certain joints. Pioneer among other similar jobs required on this road with almost 100 years of operation and poor maintenance can constitute a work guide. The road infrastructure, an economic health indicator, justifies foreseeing anomalies by implementing restoration measures on time.

Keywords: diagnosis; iron bridge; structural elements

RETOMAR

Os visíveis sinais de deterioração da ponte de ferro do km 416 da Rodovia Central, com vibrações acentuadas entre outras patologias, exigiram estudos para diagnosticar seu estado atual com avaliação de desempenho. O trabalho centrado na superestrutura com análise de pilares, elementos de apoio, treliças, tabuleiro e travessas, consegue o levantamento estrutural e caracterização dos seus materiais com a incerteza típica de trabalhar sem fecho de estrada, sem acesso a determinadas juntas. Pioneirismo entre outros trabalhos semelhantes exigidos nesta estrada com quase 100 anos de operação e má manutenção pode constituir um guia de trabalho. A infraestrutura rodoviária, um indicador de saúde econômica, justifica a previsão de anomalias com a implementação pontual de medidas de restauração.

Palavras-chave: diagnóstico; ponte de ferro; elementos estruturais

1. INTRODUCCIÓN

La tarea requería un levantamiento detallado de la superestructura, dimensiones y sección transversal de los elementos componentes, posibles deformaciones de estos con magnitud y causas, calidad del acero, resistencia, límite de elasticidad y grado de corrosión, incluyendo los aparatos de apoyo, así como funcionalidad de estos últimos, se involucraron servicios topográficos, de patología y diagnóstico, ensayos de campo y laboratorio y los trabajos de gabinete. La obra estudiada, un puente de estructuras metálicas, de 76.20 m de longitud en una sola luz, salvando alrededor de 12 m de desnivel en cause pronunciado con abundante vegetación, sin acceso vehicular a este y peatonal sólo a los dos primeros tramos de su ribera norte y uno de su ribera sur desde los estribos, no disponía de planos estructurales ocasionando incrementos considerables en los trabajos decampo y de oficina. El difícil acceso y la carencia de andamios y equipamiento que permitiera acceder a toda la estructura, unidos a la imposibilidad de cerrar la vía al tráfico durante los trabajos de campo, si bien no afectaron el levantamiento estructural si introducen en el levantamiento de lesiones subjetividad, imprecisiones e incertidumbre que le dan carácter de preliminar al estudio con aspectos pendientes de verificación en etapa ejecutiva, además del indiscutible conservador criterio técnico.

2. DESCRIPCION GENERAL DEL PUENTE

El objeto de estudio es un puente de estructura metálica, con alrededor de 90 años de servicio. Su estructura, simétrica en ambas direcciones, la forman dos cerchas longitudinales de 76.505 m de largo por 12.80 m de alto, compuestas por un cordón inferior horizontal y un cordón superior en forma de arco unidos mediante montantes y diagonales, 11 vigas principales transversales espaciadas a 7.62 m dando lugar a 10 tramos con iguales dimensiones, 60 vigas longitudinales secundarias a razón de 6 por tramos, espaciadas a 1.25 m y por último 10 crucetas inferiores, 8 crucetas superiores, 2 portales extremos y 7 contravientos interiores con elementos diagonales, todos a manera de cierre y arriostre; estos cierres de la estructura garantizan un gálibo de 5.00 m. Esta estructura descansa en cuatro elementos de apoyo que permiten el giro todos y dos de ellos, en el estribo sur, el desplazamiento longitudinal además de transmitir las cargas a la infraestructura limitada a dos estribos en forma de muros de contención, de gravedad, de hormigón masivo y con aletones inclinados. La calzada presenta pavimento rígido de hormigón armado fundido “in situ”, cubierto con adoquines y capa de rodadura de hormigón asfáltico para el tráfico vehicular, y aceras laterales también de hormigón armado, con barandas exteriores, para el tráfico peatonal. (Ver Figura 1). Con el propósito de facilitar los trabajos y hacer asequible la comprensión de los mismos se establece la siguiente nomenclatura para designar ejes, elementos y uniones entre otros componentes según esquema siguiente:

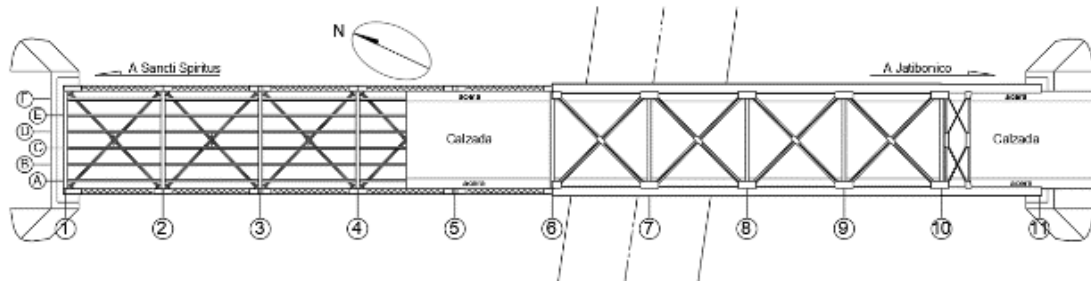


Figura 1: Esquema con la nomenclatura de los elementos

De esta forma las cerchas se definirán como A' y F' a tono con el eje longitudinal próximo y sus componentes como son cordón superior e inferior, montantes y diagonales serán referidos a los ejes transversales correspondientes, así también se denominarán apoyos, uniones y elementos de cierre.

3. LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL

Para el levantamiento estructural de toda la estructura se midieron con cintas métricas, disto y pie de rey las secciones de cada uno de los elementos componentes incluyendo la disposición y espaciado de los mismos, así como de las cabezas y orificios de los remaches, lo que unido al resultado del escaneo posibilitaron la confección de los planos de la estructura. (Ver Figura 2)

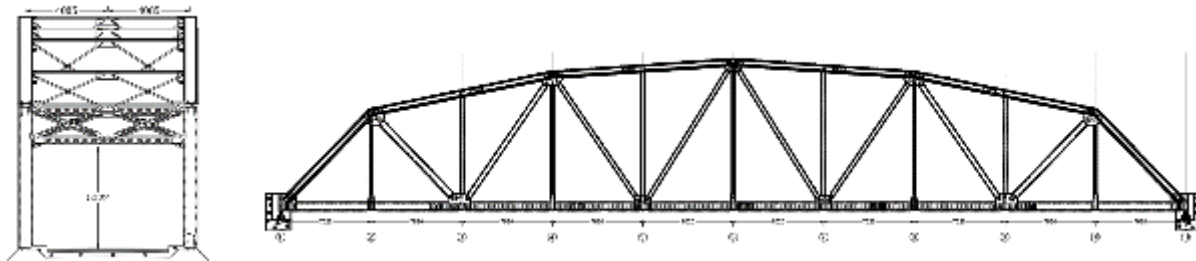


Figura 2: Vistas lateral y frontal del puente

4. ENSAYOS "IN SITU"

4.1 Esclerometría+

Se evaluaron un total de 18 puntos de esclerometría en losa a razón de 10 disparos por punto, ubicados según muestra el esquema que sigue; limitados en cantidad por tener acceso a solo tres tramos (1~2, 2~3 y 10~11). Ver Figura 3.

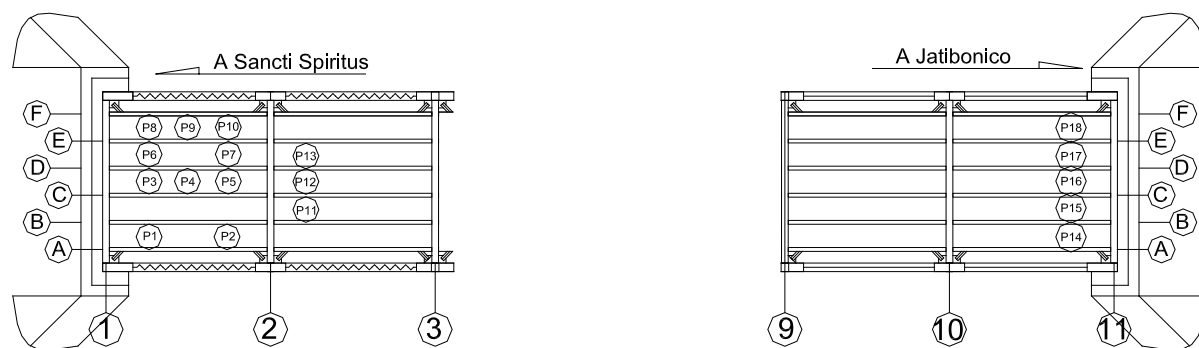


Figura 3: Posiciones de los ensayos de esclerometría

Como resultado se tiene el promedio de la resistencia característica superficial del hormigón de la losa del Puente de Jatibonico fue de 36.1 MPa, resultando valores superiores a 20 MPa para un hormigón de más de 28 días, por lo tanto, cumple con lo establecido en la NC 250:2005, Requisitos de Durabilidad para el Diseño y Construcción de Edificaciones y Obras Civiles de Hormigón Estructural y en la NC 120:2014. Hormigón Hidráulico. Especificaciones, para un nivel de agresividad bajo.

4.2 Pacometría

Aun cuando en varias zonas los efectos de la corrosión del refuerzo de la losa provocaron pérdidas de recubrimiento con exposición del mismo, se realizaron mediciones del espaciamiento y diámetro en zonas sin pérdida de recubrimiento verificando la uniformidad de su disposición en los diferentes paños cuyos resultados indican mallas con aceros de temperatura \varnothing 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") espaciados a 120 mm, con incremento del mismo hacia el centro del paño a 220 mm y recubrimiento de 36 mm; el acero de carga también de \varnothing 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") está espaciado a 80 mm con aumento hacia el centro del paño a 120 mm y recubrimiento de 25 mm.

4.3 Ensayos de resistencia a tracción y doblado

Se realizaron 8 ensayos de tracción y doblado a muestras de tres elementos metálicos diferentes previamente preparadas cuyos resultados se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1: Resultados de ensayos de resistencia a tracción y doblado

Tipo de elemento	Nº de muestra	Masa (g)	L-Largo (mm)	Re-Tensión de fluencia (MPa)	Rm-Resistencia a tracción (MPa)	d-Elongación después de la rotura en 200 mm (%)
Vigas principales	1	1767	450	260	404	2
	2	1750		381	388	2
	3	1787		260	390	2
Vigas secundarias	1	1930	480	292	450	3
	2	1791		271	427	3
Crucetas inferiores	1	1450	380	316	474	3
	2	1439		342	466	3
	3	1436		329	450	3

Por limitaciones del ensayo no se determinan módulos de elasticidad.

5. LEVANTAMIENTO PATOLÓGICO

El levantamiento de lesiones de manera organoléptica permitió la localización de daños en lugares asequibles o a distancia, que fueron volcados a los croquis o dibujos previamente confeccionados, asignando un nivel de deterioro a partir de una escala preestablecida como sigue:

- 1) corrosión sin pérdida de sección.
- 2) corrosión con pérdida de sección, pero cumple su función.
- 3) corrosión con pérdida de sección y no cumple su función.
- 4) pérdida del remache.
- 5) deformaciones excesivas.

5.1 Elementos de infraestructura

La infraestructura está formada sólo por estribos, rectangulares, cerrados, de hormigón masivo, con funciones de muro de contención de gravedad, con aletones, de aproximadamente 10.90x2.20 m y alturas de 5~7 m desde el terreno natural sin incluir los aletones que, con inflexión de 30° se extienden en los laterales con pendiente 3:2. Estos elementos presentan un escalón interior de área 9.90x1.70 m para el apoyo de la estructura. (Ver fotos estribos nno y sse).

Desde el punto de vista geotécnico no presenta manifestaciones de asentamiento ni giros o desplome en los mismos, indicando que sus bases o cimientos alcanzan el estrato resistente e indeformable, sin amenazas de socavación; tampoco muestran signos de deterioro como grietas, fisuras, pérdidas de sección u otros asociados a su explotación y el paso del tiempo, excepto en la parte superior del muro hacia Jatibonico, que muestra, en la parte este e interior una grieta local inclinada al parecer provocada por una junta deficiente entre la losa de pavimento y el muro que impida la transmisión de los efectos de las vibraciones de la estructura al muro; y en la parte oeste interior del propio estribo que exhibe otra grieta inclinada de mayor extensión y a menos de 40 cm del borde vinculada a estas mismas acciones además del pase de instalaciones. (Ver foto Grieta de borde de estribo sse).



Estribo nno

Estribo sse

Grietas de borde Est. sse

5.2 Elementos de apoyo

Los elementos de apoyo, encargados de transmitir las cargas de la estructura a la infraestructura apoyando en un escalón de 2.20 m en los estribos para soportarlos y lograr la nivelación entre la estructura y el resto de la vía, constituyen además articulaciones que permiten el giro, y giro con desplazamiento los ubicados en la ribera de Jatibonico. Mediante una articulación cilíndrica de 46.5x7.5 cm que une dos elementos piramidales metálicos y robustos fijados a través de cuatro pernos de 3.6 cm de diámetro en cada caso a la estructura metálica y a la infraestructura de hormigón se logra el giro, mientras que los apoyos 11A y 11F del extremo del lado de Jatibonico, además permiten desplazamiento a través del elemento piramidal inferior que forma otra

articulación que facilita el deslizamiento horizontal con relación a un tercer elemento que está fijado al estribo también con cuatro pernos de 3.6 cm. (Ver fotos 1A, 1F, 11A y 11F y Figura 4).

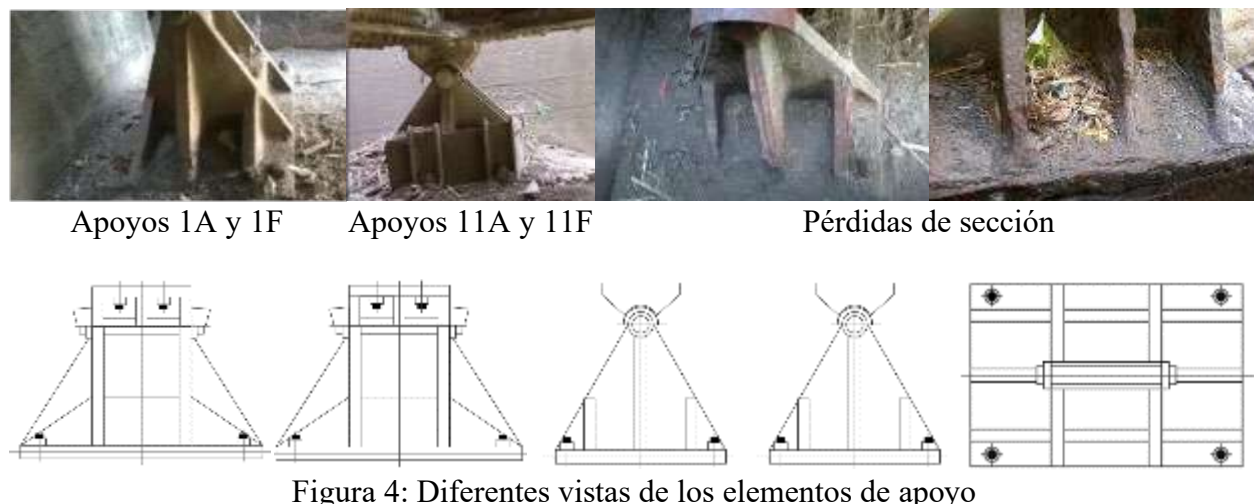


Figura 4: Diferentes vistas de los elementos de apoyo

5.3 Elementos de superestructura

La superestructura, constituida por elementos conformados con perfiles y láminas o planchas en casi la totalidad de los casos, excepto las vigas secundarias formadas por un perfil I, presenta secciones con dimensiones detalladas a continuación que en ocasiones son reforzadas convirtiéndose en otra sección como son los casos del cordón inferior de la cercha y las vigas principales que incrementan su inercia y rigidez para sus tramos más solicitados. En la práctica los componentes fundamentales de la estructura son: en las cerchas (cordón inferior, cordón superior, montantes y diagonales), el tablero (vigas principales, vigas secundarias y losa de hormigón armado) y elementos de cierre (portales, crucetas y contra-vientos). (Ver Figuras 5, 6 y 7).

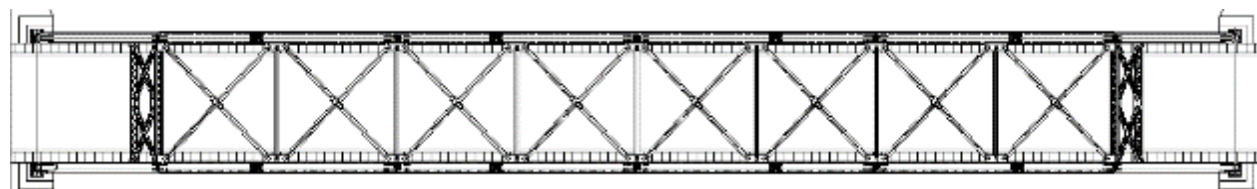


Figura 5: Vista superior

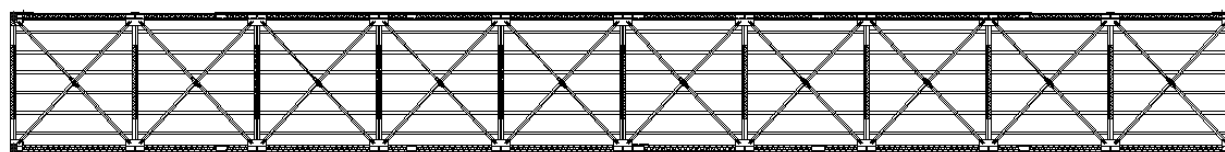


Figura 6: Vista inferior

En todos los casos estos elementos, de conformar secciones cerradas, secciones cajón, presentan una o dos de sus caras relativamente abiertas con riostras, travesaños y elementos de cruceta fijados con remaches, facilitando su revisión y mantenimiento, aunque próximo a las uniones incrementa su rigidez con tramos de láminas que lo dificultan.

De modo general se han definido 10 perfiles base además de los elementos laminares de dimensiones y espesores variables 6.35, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 mm; la conformación de estos elementos se logra con costuras de remaches mientras que las uniones entre estos se consiguen con láminas y cartabones unidos también con remaches de varias dimensiones sin definición exacta en este estudio.

A manera de ejemplo se muestra una representación de uno de los elementos de cada condición en cuanto a levantamiento estructural y de lesiones, destacando que tanto en los elementos conformados como en las uniones la distribución de los remaches y su estado de conservación resultan decisivos en la evaluación de su comportamiento.

- Las uniones entre elemento de apoyo, cordones superior e inferior, viga principal y cruceta inferior se logran mediante dos planchas verticales de 2 m² y 20 mm de espesor unidas entre sí con un perfil “I” conformado en su interior y otra lámina de fondo de 750x750x10 mm. A las dos planchas verticales llega el cordón inferior introduciéndose para ensamblar, mientras que el cordón superior lo hace envolviendo estos elementos de unión. En el caso de la viga principal empalma con el elemento de unión interior mediante angulares y remaches y a la lámina horizontal mediante remaches a la que se le une también la cruceta inferior correspondiente. La parte superior del apoyo se une mediante 4 pernos de 36 mm de diámetro. (Ver Figura 7)

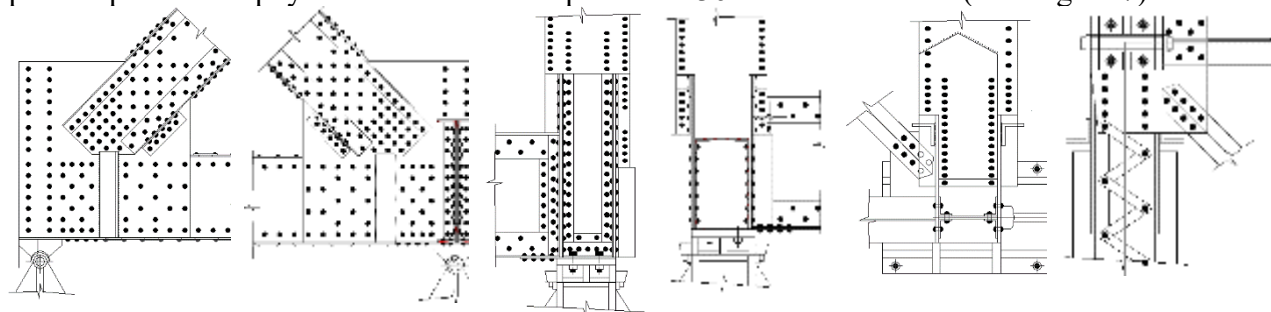


Figura 7: Vistas laterales, posterior, frontal, superior e inferior

Estas uniones coincidentes con las cuatro esquinas del tablero por donde se trasmite la carga a los estribos, asequibles para su revisión y medición; en todos los casos con daños en los elementos inferiores mayoritariamente horizontales aunque también presentan afectados tanto elementos verticales como remaches, angulares y tornillos con alta corrosión y pérdidas de sección además de pérdida del elementos en la unión 1A; la causa fundamental ha sido la falta de limpieza con acumulación de tierra y basura que mantienen la humedad de las aguas de lluvia y ambiental decisiva en el proceso de corrosión.

- A las uniones del cordón superior tramos 1 y 2 – montante – diagonal – portal – cruceta superior (ejes 2 y 10) llegan siete elementos: dos tramos de cordón superior, dos elementos del portal, cruceta superior, montante y diagonal, unidos todos con dos planchas verticales de 20 mm de espesor y dos planchas horizontales de 10 mm que mediante remaches consiguen su empotramiento. (Ver Figura 8)

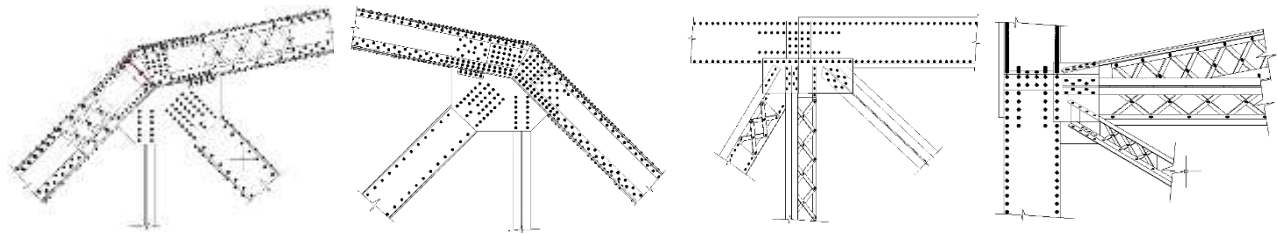


Figura 8: Vistas laterales interior y externa, superior y frontal (Unión 2-A, 2-F, 10-Ay 10-F)



- Unión cordón inferior- montante- viga principal- crucetas inferiores, de cinco elementos, se logra con una lámina inferior fijada al cordón mediante remaches a la que se fijan también con remaches dos crucetas inferiores de arriostre y la viga principal, esta última se une al cordón mediante láminas, cartabones, angulares y remaches, y a su vez con dos láminas paralela exteriores se fija el cordón al montante. (Ver Figura 9)

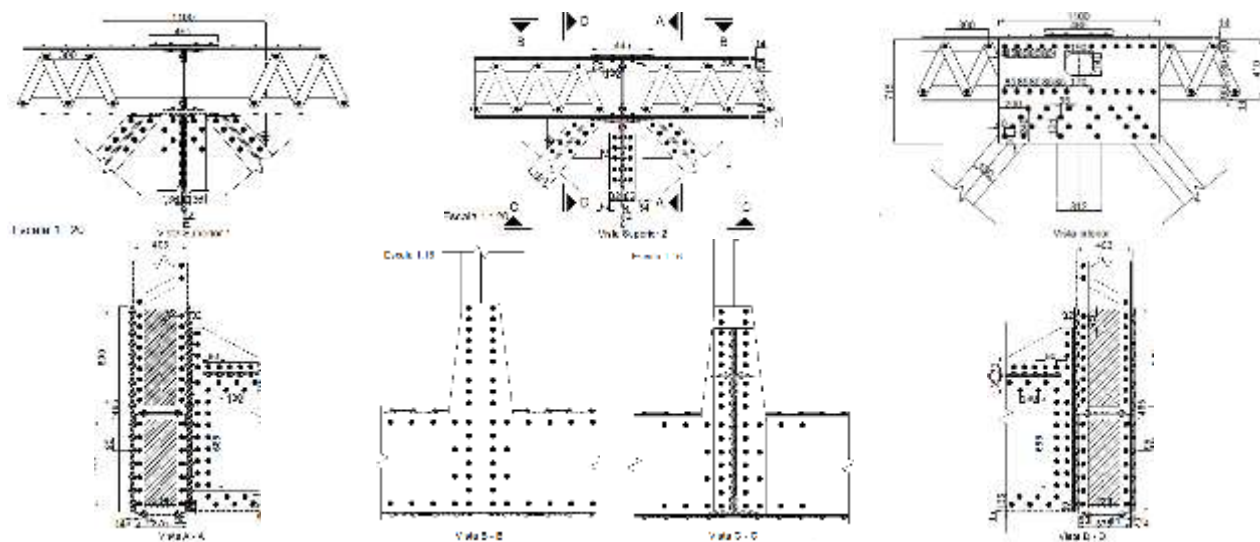


Figura 9 Vistas y secciones de las uniones inferiores 2, 4, 6, 8 y 10 en ambas cerchas.



En estos casos de uniones entre elementos de cada cercha y de las cerchas con las vigas principales, como las descritas anteriormente, conseguidas siempre con remaches, y estos, aun

cuando presentan corrosión con pérdida de sección, no han perdido su función al conservar el fuste excepto algunos casos puntuales, se puede asegurar que todas funcionan garantizando la conexión y empotramiento entre elementos hasta el momento de este estudio. De manera ilustrativa los tres tipos de uniones con las formas de trabajo seguidas, en levantamientos estructurales y patológicos con análisis específicos, explica la forma de trabajo seguida en todo el trabajo.

5.4 Elementos de cierre

- Las crucetas superiores, en diagonal, de alrededor de 10.40 m de longitud y formado por cuatro angulares unidos de manera abierta con riostras que se cruzan conformando una sección “I” de 552x278 mm, están presente en todos los tramos y además de conseguir arriostre y cierre horizontal presenta una sección con peralto tal, que también permiten rigidizar verticalmente a la estructura. Las riostras que en la mayoría de los casos no empatan con el ala arruinando su función rigidizante vertical, en esto pudieron incidir, además de la corrosión localizada en el contacto con los angulares, los impactos por accidentes contra la estructura y las vibraciones que ocurren.



Crucetas superiores

- Las crucetas inferiores, constituidas por dos angulares unidos con remaches que forman una sección “T” invertida, diagonalmente se cruzan en cada tramo rigidizando horizontalmente la estructura, su longitud aproximada es de 10.40 m y al igual que las crucetas superiores, uno de estos elementos es continuo mientras que el otro son dos tramos que se empalman con una unión empotrada mediante láminas y remaches. Las mayores afectaciones son en sus uniones al cordón inferior con corrosión y pérdida de sección tanto del propio elemento como de la lámina a la que se fija con remaches llegando a pérdida del elemento, con causa fundamental en la falta de limpieza y mantenimiento en su parte más expuesta, no así en el resto del cuerpo del elemento que se conservan muy bien.



Crucetas inferiores

- Los portales, ubicados en tramos 1~2 y 10~11, en el extremo superior, para unir ambas cerchas, están formados por elementos de sección “I” y sección “C” conformados, al igual que las crucetas superiores, por angulares como alas y alma abierta dada por riostras que se cruzan, que logran la unión entre cerchas mediante dos elementos continuos y dos crucetas interiores empotradas a las cerchas y a los elementos continuos, todos con remaches ocasionando rigidez y monolitismo en la estructura. Ver Figura 10

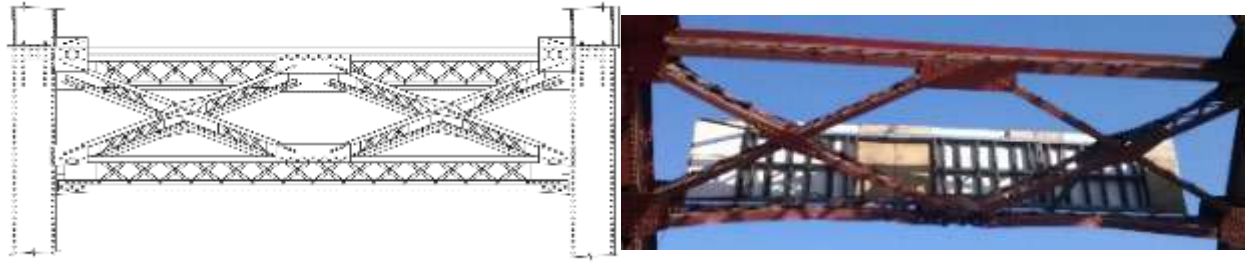


Figura 10 Dibujo y foto del portal a ambos extremos del puente

Estos elementos, aunque mantienen sus funciones de cierre de la estructura, uniendo ambas cerchas para su comportamiento como un todo, han sufrido daños importantes en su cordón inferior y la unión central de este con las crucetas, por golpes de vehículos que superan su altura libre, además, similar a las crucetas, presenta corrosión en los empalmes de las riostras con los cordones que los interrumpe. Estas patologías son comunes en ambos portales

- Contravientos ejes 3 y 9, conformados por angulares que se cruzan, empotran en montantes y cordón superior de ambas cerchas en los ejes 3 y 9, con el objetivo de rigidizar transversalmente la estructura, sus uniones en los cruces también son empotradas con láminas y remaches salvando una altura de 3.70 m para garantizar el gálibo de 5.00 m. Ver Figura 11

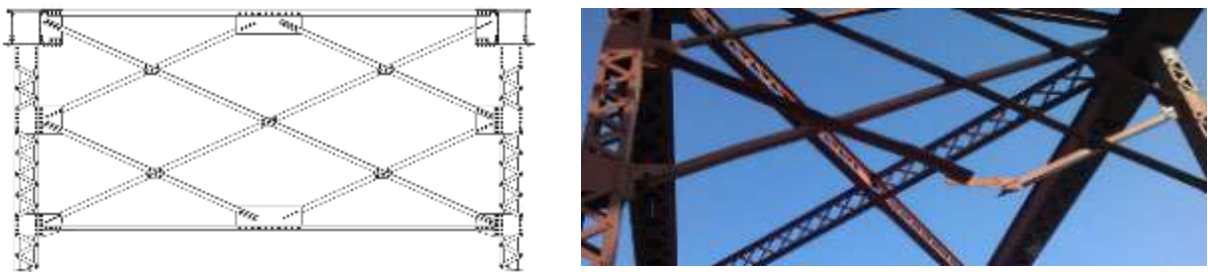


Figura 11 Dibujo y foto de los contravientos ejes 3 y 9

- Contravientos ejes 4 y 8, similar al de los pórticos anteriores son elementos conformados por angulares que se cruzan, empotran en montantes y cordón superior de ambas cerchas en los ejes 4 y 8, para rigidizar transversalmente la estructura, sus uniones en los cruces también son empotradas con láminas y remaches salvando una altura de 5.30 m para garantizar el gálibo de 5.00 m. Ver Figura 12.



Figura 12 Dibujo y foto de los contravientos ejes 4 y 8

- Contravientos ejes 5 y 7, igual a los anteriores estos contravientos presenta tres uniones en cada lado, dos en montantes y una en cordón superior, donde llegan dos elementos del contraviento en todos los casos, empotradas toda mediante láminas y remaches salvando una altura de 5.85 m y gálibo de 5.00 m. Figura 13.

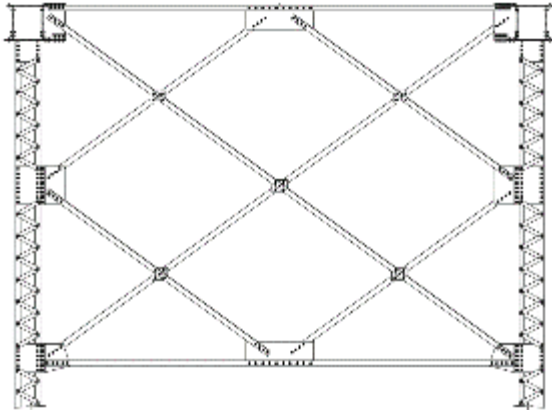


Figura 13 Dibujo y foto de los contravientos ejes 5 y 7

- Contravientos eje 6, elemento vertical de arrostramiento transversal conformado por angulares que se cruzan casi perpendicular, conectando mediante uniones empotradas a ambas cerchas en su tramo más alto con 6.40 m y altura libre de 5.00 m. (Ver Figura 14)

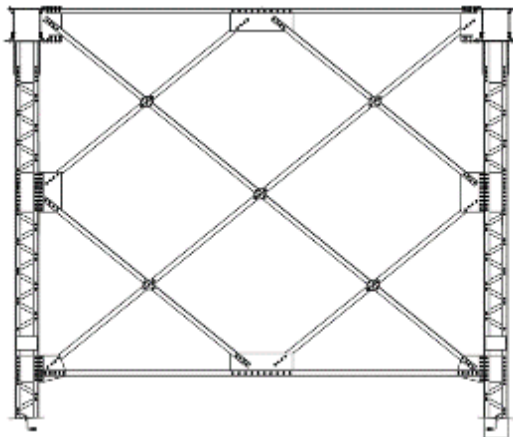


Figura 14: Dibujo y foto del contraviento eje 6

Todos estos elementos de cierre (contravientos), siete en total, presentan daños similares, principalmente los producidos por los golpes, pues al ser estructuras menos reforzadas han sufrido desplazamiento y deformaciones de su entramado llegando a ocasionarles pérdida del cordón inferior y partes de su unión a los montantes sin descartar posible corrosión y corrosión con pérdida de sección en sus uniones

6. CONCLUSIONES

- Las principales causas del deterioro observado en la estructura están en la falta de limpieza y mantenimiento y los impactos ocasionados a la misma por violaciones en la altura de la carga, superiores al gálibo, agravado por la circulación de equipos con carga muy superiores a las de diseño, tiempo de explotación de la obra, irregularidades en el pavimento, junta deficiente entre la obra y el resto de la vía con incidencia en los estribos, ver foto (Grietas de borde Est. Sse) del epígrafe 5.1 y falta de drenaje en la vía entre otros.
- El estado técnico actual de la estructura del puente, crítico en los elementos de cierre (crucetas superiores e inferiores, contravientos y portales), requiere de un proyecto de reparación que posibilite restituir la rigidez y comportamiento como un todo de la estructura, minimizando sus vibraciones y oscilaciones; su implementación exigirá de trabajos muy complejos y precisos que requerirán cierres temporales de la obra al tráfico que demanda de una solución vial alternativa.
- Los montantes, como se aprecia en la foto, presentan el efecto de los impactos en los contraviento, deformando sus elementos e incluso desprendiendo su cordón inferior en algunos pórticos con incremento de la altura libre del montante, esto ocasiona además una reducción de la luz libre a la altura del gálibo cuyas mediciones alcanzan valores entre 2 y 9 cm repartidos aleatoriamente entre los dos montantes correspondientes, este fenómeno se observa a simple vista tanto en obra como en fotos aun cuando los valores del ángulo de inflexión creado no supera un grado (1°), también debe ocurrir torsión no definidas en este estudio.
- Los aparatos de apoyos han sido otros de los elementos muy afectados por la falta de mantenimiento y limpieza programada, presentando corrosión con pérdida de sección en los cuatro casos, sin embargo, su revisión y observación cuidadosa permiten aseverar que los mismos funcionan, es decir, asimilan las solicitaciones de giro y desplazamiento, que sin mantenimiento pudieran estar ocasionándole desgastes irreversibles. Ver fotos (Pérdidas de sección) del epígrafe 5.2
- El hecho de no disponer de andamios y otros accesorios que facilitaran la inspección y medición detallada de toda la estructura, limitando este trabajo a alrededor de un 45 % del total de los componentes, de existir oscilaciones del valor obtenido en las diferentes medidas producto de las pinturas protectoras, la corrosión, deformaciones, etc, de haberse usados el sistema inglés de medidas en el proyecto original, sin equivalentes exactos en las actuales mediciones en el sistema métrico decimal y atrasos en la información interna entre otros, hacen que la información gráfica obtenida constituida por los diferentes planos confeccionados adquieran en algunos casos carácter de croquis, aunque las medidas acotadas se corresponden con determinaciones reales.
- A pesar de las dificultades afrontadas durante los trabajos de campo detalladas anteriormente, con limitaciones que imposibilitaron alcanzar mayor precisión en la cuantificación de daños a la vez que impiden asignar carácter ejecutivo al informe, mediante vías alternativas, con el uso de binoculares, escalando fotos, vistas escaneadas, etc, aunque no se eliminan, se reducen los niveles de incertidumbre, alcanzando información útil a cualquier etapa de trabajo tanto en el levantamiento estructural como patológico de la obra.



- En las restricciones de circulación impuestas actualmente por tránsito y vialidad en este tramo, con reducción de la velocidad y circulación en sólo uno de los sentidos del tráfico, tratando de reducir las vibraciones en la estructura, debe incluirse el trayecto por el centro de la calzada atenuando las sollicitaciones transversales a la estructura, pues su pérdida de inercia ha sido en todos los sentidos y afecta el trabajo de conjunto entre las cerchas muy debilitado actualmente.
- Los resultados alcanzado muy útiles aun con las limitaciones de acceso, andamios y equipamiento entren otros aquí destacados, para nada están justificando o aprobando la mala preparación para las investigaciones cuyos resultados exigen niveles de precisión que no den lugar a ambigüedades o confusiones.
- Los trabajos y resultados aquí resumidos con esta combinación de servicios de diferentes disciplinas y distintos especialistas que permitieron alcanzar los objetivos inicialmente trazados constituyen, en este tipo de obra, una estrategia a seguir en estudios venideros de estructuras con similares características.

7. REFERENCIAS

- Ref. 1. "Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado" CYTED 1997
- Ref. 2. "Menéndez Menéndez, José. "Desperfectos en obras de ingeniería y arquitectura". Editorial del Centro de Información de la Construcción". Ciudad de la Habana, Cuba. 1986.
- Ref. 3. Ortega Andrade, Francisco. "Humedades en la edificación". EDITAN, S.A., Sevilla, España. 1989.
- Ref. 4. Díaz, Marco. "Manual de Estructuras Metálicas". TECNAR
- Ref. 5. Serna, Domingo. "El acero en la construcción de estructuras metálicas". Horihuela. Alicante, España.
- Ref. 6. "722:2009 Edificaciones y obras civiles- Investigaciones ingenieras aplicadas- Requisitos de alcance y contenido de la documentación técnica".
- Ref. 7. "54:269 (1984) Procedimiento para la Ejecución de las Etapas de las Investigaciones Ingeniero Geológicas en Edificaciones".

Defectos en las Instalaciones Domésticas con Agua Debido a Disputas Legales: El Caso de Barcelona

M.J. Carretero-Ayuso^{1*}, M^a.T. Pinheiro-Alves², J.D. Bienvenido-Huertas³ y D. Marín-García⁴

*Autor de Contacto: carreteroayuso@yahoo.es

¹ Fundación-Musaat y Escuela de Arquitectura, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España

² Dpto. de Arquitectura, Escuela de Artes y Arquitectura, Universidad de Évora, Évora, Portugal

³ Dpto. de Construcciones Arquitectónicas II, ETS Ingeniería Edificación, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

⁴ Dpto. de Expresión Gráfica e Ing. Edificación, ETS Ingeniería Edificación, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

RESUMEN

Esta investigación permite conocer los defectos existentes en instalaciones con canalizaciones de agua de tres variantes de tipología constructiva residencial. Se recurre a informes periciales edificatorios debidos a las demandas de usuarios ante los tribunales. Se determinaron cuáles son las anomalías y los orígenes del fallo que actúan como agentes causales. Para cada uno de ellos se determinaron los casos presentes en la instalación en donde se ubican, así como las situaciones más recurrentes. Se desglosaron uno por uno todos los procesos patológicos que se constataron, los cuáles se definen como la interrelación constructiva entre los parámetros estudiados. De esta forma, los diferentes intervinientes en el sector edificatorio dispondrán del know-how necesario para evitar a futuro los errores de obra.

Palabras clave: daños, causas, anomalías, procesos patológicos.

Defects in Domestic Water Facilities Due to Legal Disputes: The Case of Barcelona

M.J. Carretero-Ayuso, M^a.T. Pinheiro-Alves, J.D. Bienvenido-Huertas y D. Marín-García

ABSTRACT

The objective of this research is to know the defects that occur in water facilities in three types of residential construction typologies. Expert reports attached to court complaints filed by building users were reviewed. The types of anomalies that occur were determined, as well as the origins of the errors acting as causal agents of said defects. For each one, the number of cases occurring in each facility was determined and an analysis of the most recurring situations was carried out. Lastly, each of the observed pathology processes was broken down – processes defined as the construction interrelation between the studied parameters. Furthermore, the different participants in the construction sector will possess the necessary know-how to prevent future construction errors.

Key words: damages, causes, anomalies, error origin.

Defeitos em Instalações Domésticas com Água Devidos a Disputas Legais: O Caso de Barcelona

M.J. Carretero-Ayuso, M^a.T. Pinheiro-Alves, J.D. Bienvenido-Huertas y D. Marín-García

RESUMO

O objectivo desta investigação é o de identificar os defeitos que surgem nas instalações com água em três variantes de tipologia construtiva residencial. Recorre-se aos relatórios periciais associados aos registos das queixas de tribunal feitas pelos utilizadores dos edifícios. Foram determinados os tipos de anomalias que ocorrem, bem como as origens dos defeitos que actuaram como agentes causais dos mesmos. Para cada um, determinou-se os casos em cada instalação e foi feita a análise de quais são as situações mais recorrentes. Foram discriminados todos os processos patológicos que foram constatados, os quais se definem como a interrelação construtiva entre os parâmetros estudados. Aliás, os diferentes intervenientes do sector construtivo disporão do know-how necessário para evitar erros de obra no futuro.

Palavras chave: danos, causas, anomalias, origem do defeito.

1. INTRODUCCIÓN

Los vicios ocultos en los edificios constituye uno de los temas que ha provocado más desasosiego a los ciudadanos y el que en mayor medida ha revelado la diferencia de fuerzas entre el promotor-vendedor y el usuario-adquirente (Gallego Brizuela, 2011). Las presiones y prisas para entregar cuanto antes un edificio y los problemas de coordinación con los subcontratistas, puede dar lugar a multitud de anomalías y defectos. Por esta razón, el énfasis en la supervisión y en el control de calidad de las operaciones de subcontratación de las unidades de obra es fundamental para asegurar que estas problemáticas se vean reducidas (Forcada et al., 2013).

Tras realizar una encuesta sobre 74 edificios, Chong and Low (2006) indicaron que las anomalías suelen repetirse, lo que hace muy necesario que se apliquen en los estudios de arquitectura aquellas técnicas que hagan implementar la adquisición de conocimientos a través de la retroalimentación (lesson-learned) para mejorar la calidad final de los proyectos. Forcada et al. (2013) realizaron un análisis de multitud de viviendas en España, constatando que determinados tipos de anomalías no se suelen detectar y resolver hasta que llega la hora de la primera ocupación, lo que hace que sus reparaciones sean más costosas.

Una gran parte de las investigaciones consultadas se han centrado en procesos de observación y encuestas, no en casos reales. Al diagnosticar una anomalía existente es común encontrar que las causas primitivas que originaron los casos se siguen repitiendo en los actuales procesos de trabajo, por lo que es adecuado reconocerlas para mejorar estas unidades constructivas (Meiss and Muñoz, 2015). En base a lo indicado por Josephson and Hammarlund (1999) podrían disminuirse los costos asociados por falta de calidad, concentrando la atención sobre ellos durante la fase de puesta en obra. Como se ve, a pesar de los años transcurridos por ciertas investigaciones, sus conclusiones siguen siendo válidas más de 20 años después.

Min et al. (2016) determinaron que las operaciones proactivas y las estrategias de mantenimiento en los edificios existentes pueden contribuir a mejorar significativamente el rendimiento de éstos y que los procesos de diseño integrados deben ampliarse para incluir el control operativo de facility manager y la gestión de una manera global.

Según el Laboratorio de Edificación de la Escuela Politécnica de Edificación de Barcelona, el 5% del coste operativo de un edificio corresponde al proyecto, el 20% a la construcción, el 65% al mantenimiento y gastos de explotación, y el 10% coste de la rehabilitación o derribo (García Sanz-Calcedo, 2014). Por otro lado, el coste de las instalaciones en un edificio residencial, supone entre un 25 y un 35% del valor de la construcción del mismo y ocupan el 7,7% del espacio útil del mismo (Martín-Gómez et al., 2006).

Aunque una parte de los problemas habituales en la edificación provienen de un incorrecto diseño de los edificios y de sus instalaciones, la falta o la inadecuada revisión periódica de las instalaciones es también un problema que afecta a una gran parte del parque inmobiliario (Arencibia, 2007). Esto hace que el mantenimiento se convierta en un parámetro clave que permita que se llegue o se supere adecuadamente el periodo de vida útil del edificio en condiciones óptimas de funcionamiento (AENOR, 2012), y es la herramienta imprescindible para garantizar las condiciones de diseño y de correcta gestión (Min et al., 2016).

Antes de la crisis económica y constructiva que ha venido padeciendo España desde 2008, el sector de la construcción podría representar el 18% del producto interior bruto (Azorín López and Monjo Carrió, 2005) lo que la convertía en el primer sector industrial del país. Teniendo en cuenta además, que la compra de una vivienda es la mayor inversión que un ciudadano medio hace durante toda su vida, se entiende el pensamiento de algunos autores (Blanchère, 1978) de que una de las exigencias reiteradas de las personas respecto a las construcciones es que no cuesten más que un precio determinado y que su mantenimiento sea asimismo de costo limitado. Por esta razón, y con el objeto de no judicializar en exceso las situaciones donde el importante precio pagado no exime de

padecer defectos en los inmuebles adquiridos, se han iniciado en algunas ciudades de España un servicio de mediación técnico-profesional donde los arquitectos técnicos se ofrecen como intermediarios expertos para solucionar de manera amistosa las disconformidades entre clientes y promotoras o constructoras (Fernández 2015). Estas iniciativas pueden llegar a ser interesantes dado que según la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) la vivienda ha sido tradicionalmente el tercer sector español con más reclamaciones por parte de los ciudadanos (OCU, 2018), con unas 10.0000 quejas anuales.

Coincidimos con otros estudios (Garcez et al. 2012b) en la importancia de que los diseñadores sean especialmente meticulosos en la redacción de la documentación de los proyectos y que es necesario la contratación de mano de obra cualificada en la construcción de los edificios: solo estos dos aspectos, mejorarían ostensiblemente la calidad final de las edificaciones. Sobre este último aspecto, es reseñable que aun habiendo normativa española que indica los métodos y formas de puesta en obra de las instalaciones, en muchos casos éstas no se cumplen aun cuando los operarios pertenezcan a empresas calificadas como ‘instaladores autorizados’.

Los edificios residenciales en España suponen un total de 3.500 millones de metros cuadrados, representando el 85% de la superficie construida (WWF-Spain, 2010). Todos los edificios tienen dotaciones de instalaciones, por lo que es importante que las mismas sean lo más fiables y eficaces posibles.

Sería conveniente que se implementaran de forma inminente, las nuevas tecnologías existentes (Pauwels 2014) en el proceso constructivo español, empezando por el diseño de los propios edificios, siguiendo por la contratación y la propia ejecución de las obras, así como durante el periodo de uso y mantenimiento de éstos (Lee et al., 2016). Una oportunidad para mejorar la calidad de todo el proceso edificatorio es la utilización de software BIM (Ministerio de Fomento, 2015), dado que sus características de transversalidad permitirían la reducción de costes y la mejora de los tiempos de producción (Chou et al., 2009).

2. METODOLOGÍA

Este estudio está fundamentado tomando como base documental los expedientes de responsabilidad civil de los arquitectos técnicos de España (MUSAAT, 2018). Todos estos datos proceden de reclamaciones judiciales interpuestas entre los años 2013 a 2017, con sentencia firme dictada en los años posteriores (SERJUTECA, 2013-2017). Es cuando la sentencia no es apelable, cuando los datos se introducen como casos para el estudio. Es por esta razón que hubieron de pasar varios años desde que se efectuó la demanda inicial para poder considerar cada uno de ellos en la base de datos.

En la investigación que aquí se presenta, el número de expedientes analizados relativos a las demandas efectuadas ante los tribunales fueron 242, que son aquellos correspondientes a los edificios residenciales de la provincia de Barcelona que reunían las condiciones antes mencionadas. En concreto, este artículo se centrará sobre las anomalías identificadas en los mismos relacionadas con las instalaciones de protección contra incendios, calefacción, fontanería y saneamiento.

Hay que tener en cuenta que los resultados aquí presentados tienen una aportación especial al campo del conocimiento científico: corresponden al 100% del periodo de tiempo antes indicado, por lo que no se trata de una muestra más o menos parcial (no hay -por lo tanto- posibilidad de errores o desviaciones).

Dentro de las instalaciones se considerarán dos grandes grupos: las ‘Instalaciones Con Canalizaciones de Agua’ (ICCA), formadas por las cuatro instalaciones indicadas anteriormente, y las ‘Instalaciones Sin Canalizaciones de Agua’ (ISCA: electricidad, telecomunicaciones, ventilación, etc.). Según la determinación de los 242 casos constatados en la provincia de

Barcelona, puede indicarse que el primer grupo concentra prácticamente las 2/3 partes del total (ICCA= 160 casos), mientras que el segundo está por encima levemente de una 1/3 parte (ISCA= 82 casos).

En algunas de las investigaciones consultadas, se han estudiado cuáles son las anomalías que más se dan en una unidad de obra en concreto, respecto a un conjunto muy determinado de edificios (normalmente, relacionados con algún promotor o constructor específico). Esto hace que la extensión de las mismas sea parcial, abarcando solo algunas zonas de obra (Sarman et al., 2015); por esta razón el enfoque de este estudio es diferente (es toda una provincia) y su fuente de datos no tiene precedentes conocidos. Además de ello, se han incluido y analizado también el origen causal que provocaban esas anomalías; aspecto que no suele ser habitual en otros estudios, dado el esfuerzo que supone para los autores poder determinar dicho concepto.

Las instalaciones ICCA que han sido objeto de análisis y cuantificación en este estudio, son las que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1 - Nombre de las instalaciones estudiadas y sus códigos

Nombre de la instalación con canalizaciones de agua	Código
Saneamiento	I1
Fontanería	I2
Calefacción	I3
Protección contra incendios	I4

Sobre las citadas ICCA, se han determinado los diferentes tipos de anomalías que han sido objeto de reclamación judicial (Tabla 2).

Tabla 2 - Nombre de los tipos de anomalías estudiadas en ICCA y sus códigos

Tipos de anomalías	Código
Fugas en las conducciones	A1
Mal funcionamiento y/o atasco de la instalación	A2
Ausencia o deficiente disposición de piezas	A3
Desajustes y disfunciones	A4
Salida de malos olores	A5

Del mismo modo, para cada uno de estos tipos de anomalías, se han explicitado cuáles son los tipos de ‘origen del fallo’ que dan lugar a las mismas. Se ha apreciado que existía una gran similitud entre ellos, independientemente de la instalación donde se ubicaran. Su tipificación queda descrita en la Tabla 3.

Tabla 3 - Nombre de los tipos de orígenes del fallo y sus códigos

Tipo de origen del fallo	Código
Daño en la instalación	OF1
Uniones/acoples deteriorados o mal colocados	OF2
Falta de colocación y/o omisión de elementos	OF3
Insuficiente porcentaje de pendiente	OF4
Inadecuado material o solución constructiva	OF5
Mantenimiento disconforme	OF6

Del mismo modo, se adscribió –para cada uno de los casos estudiados– la tipología constructiva donde se producían las anomalías, la cual queda descrita en la Tabla 4.

Tabla 4 - Tipologías constructivas analizadas

Nombre de la tipología constructiva	Código
Edificación en altura	TO-1
Unifamiliar pareada/adossada	TO-2
Unifamiliar aislada	TO-3

3. RESULTADOS

3.1 Distribución de los casos por cada instalación.

Una vez analizados los casos, la distribución de anomalías por cada instalación se indica en la Figura 1.

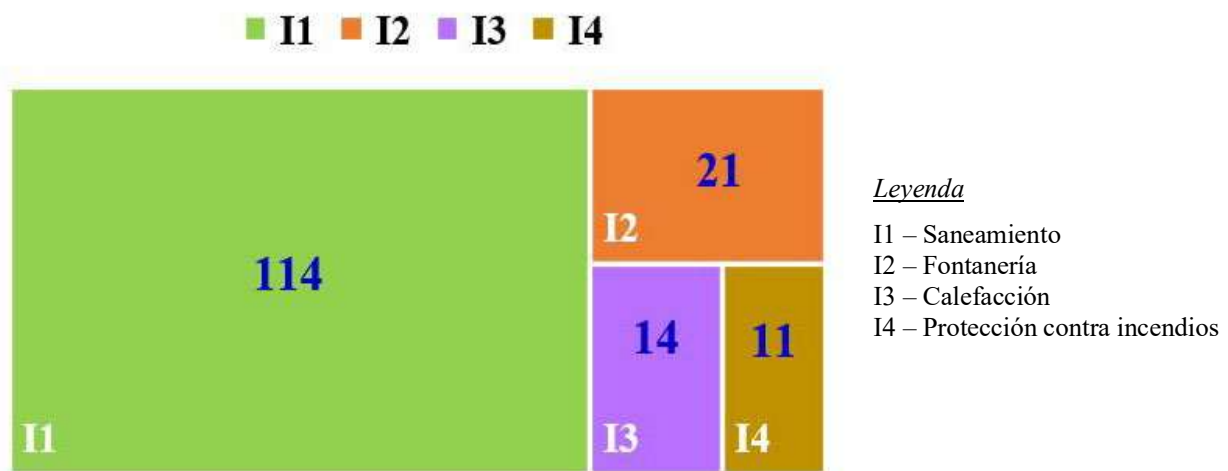


Figura 1. Distribución del número de casos por cada una de las instalaciones.

Como se aprecia, en ‘Saneamiento’ (I1) se concentra el 71% del total, lo que hace que sea muy preocupante tanta concentración de anomalías en una sola instalación. Después de ella, le sigue la ‘Fontanería’ (I2) con el 13% (21 casos).

3.2 Distribución de casos en función de la tipología constructiva.

Cuantificados los casos de anomalías por cada una de las tipologías constructivas donde se producían (Figura 2), se constató que la mayor repetición existía en las ‘edificaciones en altura’ (TO-1=62,74%), seguido de las viviendas ‘unifamiliares pareadas/adossadas’ (TO-2=21,44%).

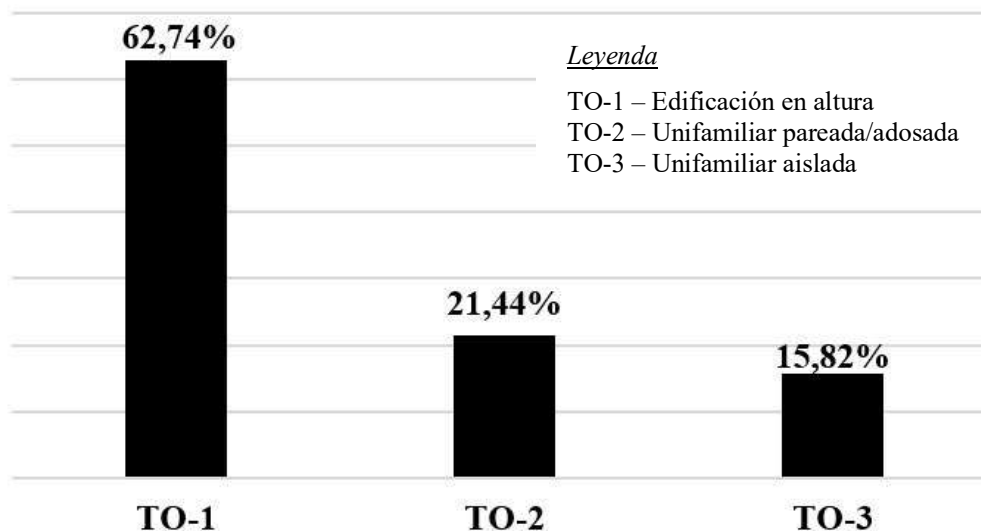


Figura 2. Distribución de casos según la tipología constructiva.

3.3 Distribución de casos según el origen del fallo.

Según se indicó en el capítulo de metodología, se tipificaron seis diferentes orígenes del fallo que daban lugar a las anomalías. En base a los resultados expresados en la Figura 3, se aprecia que los mayores valores se obtienen en ‘daño en la instalación’ (OF1=58 casos), ‘uniones/acoples deteriorados o mal colocados’ (OF2=39 casos) y ‘falta de colocación y/o omisión de elementos’ (OF3= 35 casos).

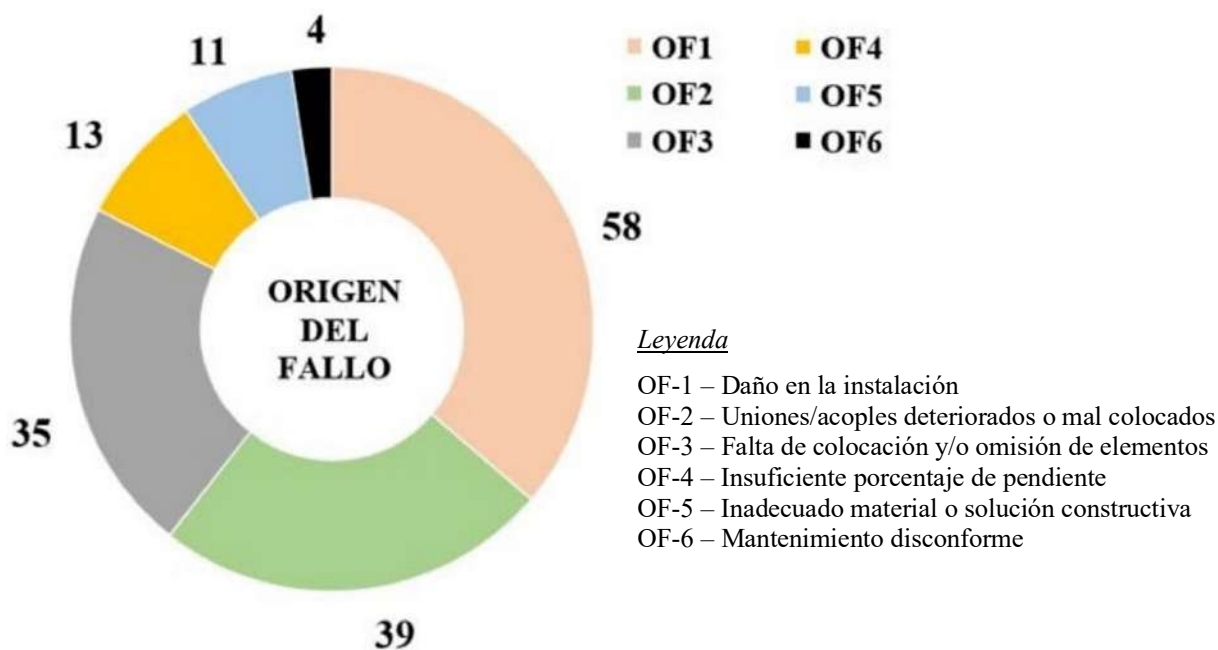


Figura 3. Distribución de los casos según el origen del fallo.

3.4 Distribución de casos en función de los tipos de anomalías.

Los cinco tipos de anomalías determinadas tienen una presencia desigual (ver Figura 4). De ellas, la que está presente en un mayor número de veces es ‘fugas en las conducciones’ (A1=72 casos), seguida de ‘mal funcionamiento y/o atasco de la instalación’ (A2=47 casos).

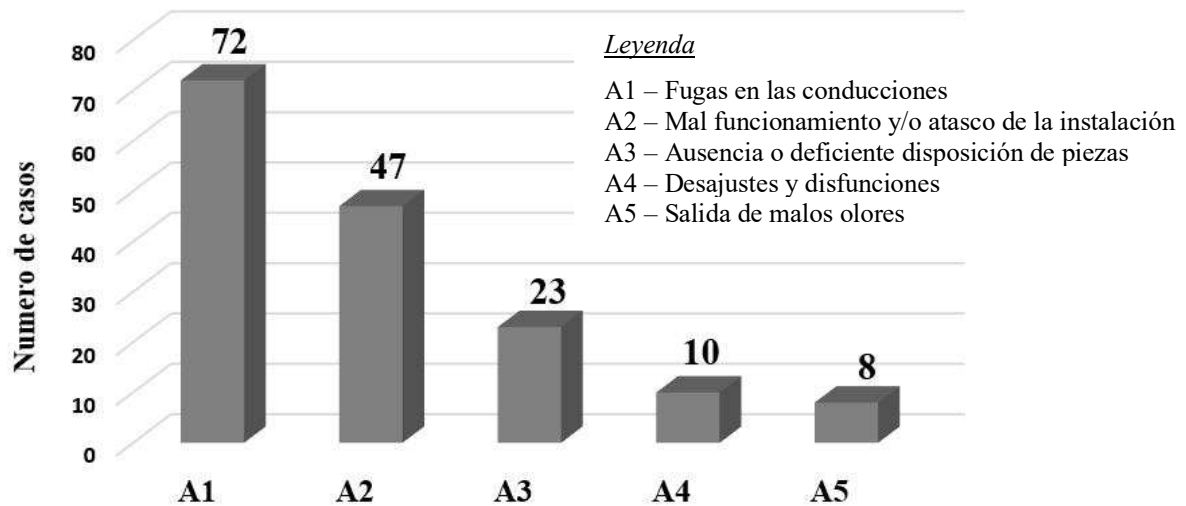


Figura 4. Distribución de casos existentes según el tipo de anomalía.

3.5 Distribución según el conjunto de instalaciones.

Haciendo un análisis detallado y descompuesto por cada uno de los tipos de anomalías, en base a los conjuntos de instalaciones ICCA e ISCA, se obtienen los valores de la Figura 5. Las anomalías en las que el peso de ICCA es totalmente dominante son A1 y A2.

Esto es, como se aprecia de la visión comparada de la Figura 4 y de la Figura 5, la distribución porcentual en el conjunto de las instalaciones (ICCA+ISCA) viene determinada por la preponderancia de anomalías existentes en ICCA por cada una de ellas. Es decir, cuanto mayor porcentaje de ICCA existe dentro de un tipo de anomalía dado, mayor preponderancia total tiene esa anomalía en el global estudiado.

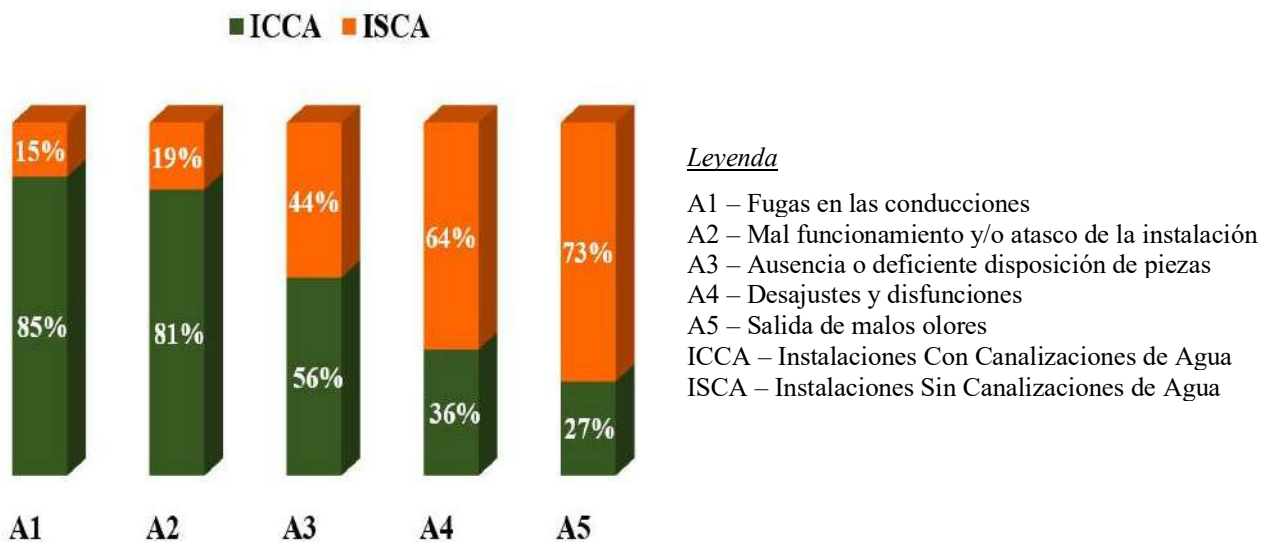


Figura 5. Distribución de casos según el tipo de anomalía y los conjuntos ICCA e ISCA.

3.6 Número de casos por tipo de anomalías en fontanería, calefacción y contra incendios.

Se ha realizado un gráfico compuesto, desglosando el tipo y número de casos por tipo de anomalía y por tipo de instalación (Figura 6). En la parte superior de la Figura 6 se muestran los valores en fontanería, en la parte central de la Figura 6 están presentes los valores de la calefacción y en la parte inferior de dicha figura los valores de protección contra incendios.

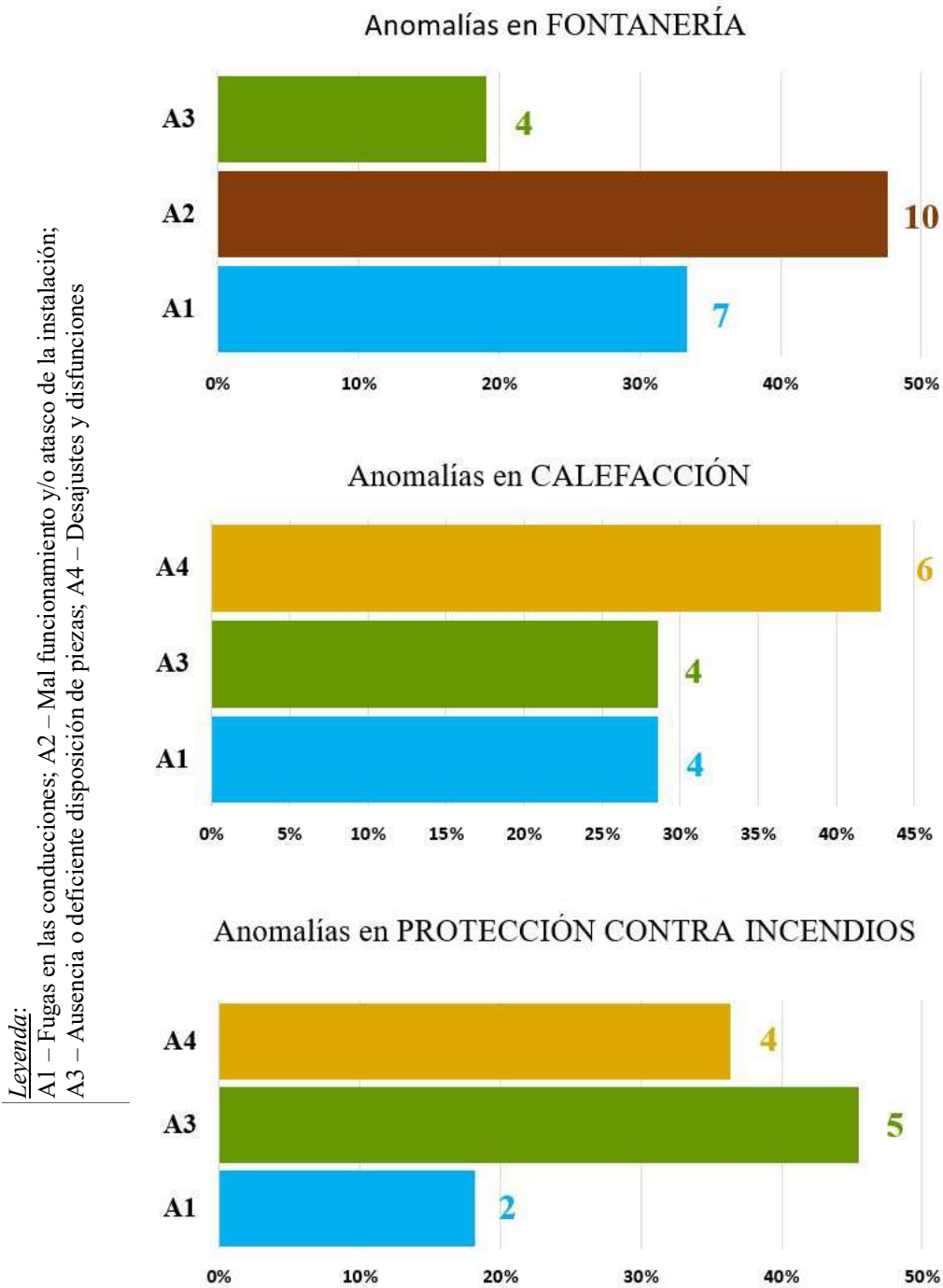


Figura 6. Número de casos por tipo de anomalía en fontanería, calefacción y protección contra incendios.

Como se aprecia, A4 no está presente en la fontanería, mientras que A2 no está presente en la calefacción y en protección contra incendios. En ninguna de estas tres instalaciones se encuentra tampoco A5, la cual solo existe en el saneamiento.

3.7 Presencia de casos por tipo de anomalías en el saneamiento.

En concordancia con lo expresado en el apartado anterior, en la Figura 7 se recogen los datos para la instalación de saneamiento, en la cual la anomalía A1 es la más recurrente (59 casos), y en donde no existe A4 ('desajustes y disfunciones').

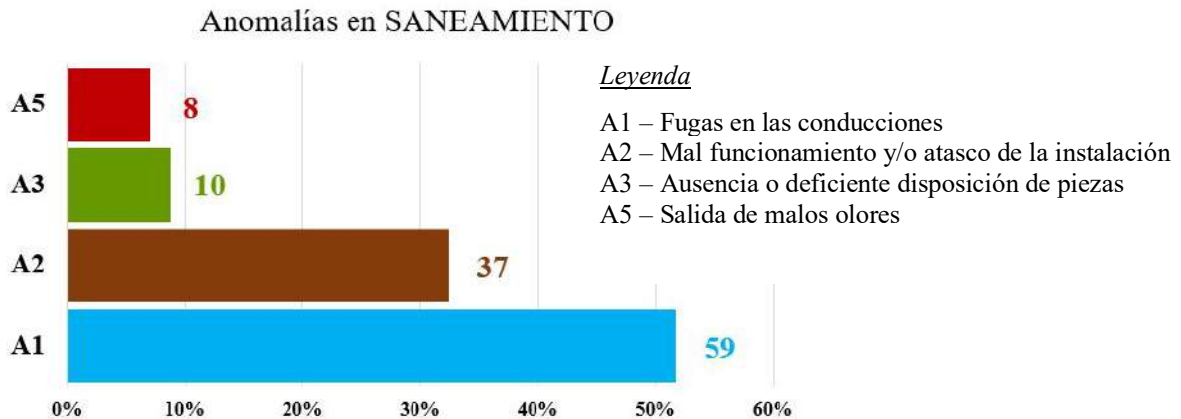


Figura 7. Número de casos por tipo de anomalía en la instalación de saneamiento.

Se han desgranado también los casos en función del subtipo de instalación de saneamiento; es decir, según se trate de 'Saneamiento Drenaje' (S.DRE), 'Saneamiento Colgado' (S.COL) y 'Saneamiento Enterrado' (S.ENT).

En la Figura 8 se incluyen los valores, tomando de base los subtipos de saneamiento y dentro de ellos los tipos de anomalías, mientras que en la Figura 9 se recogen estos mismos datos expresados a la inversa (por cada tipo de anomalía, su desglose por subtipo de instalación). Es significativo comprobar que el 'saneamiento drenaje' solo está presente en el tipo de anomalía A2 (mal funcionamiento y/o atasco de la instalación). Por su parte, se aprecia que A5 (salida de malos olores) ocurre 3 de cada 4 veces en el 'saneamiento colgado', que A1 (fugas en las conducciones) tiene una presencia de 2/3 del total en este mismo subtipo de instalación, y finalmente, que el tipo de anomalía A3 (ausencia o deficiente disposición de piezas) se distribuye a partes iguales entre el 'saneamiento colgado' y el 'saneamiento enterrado'.

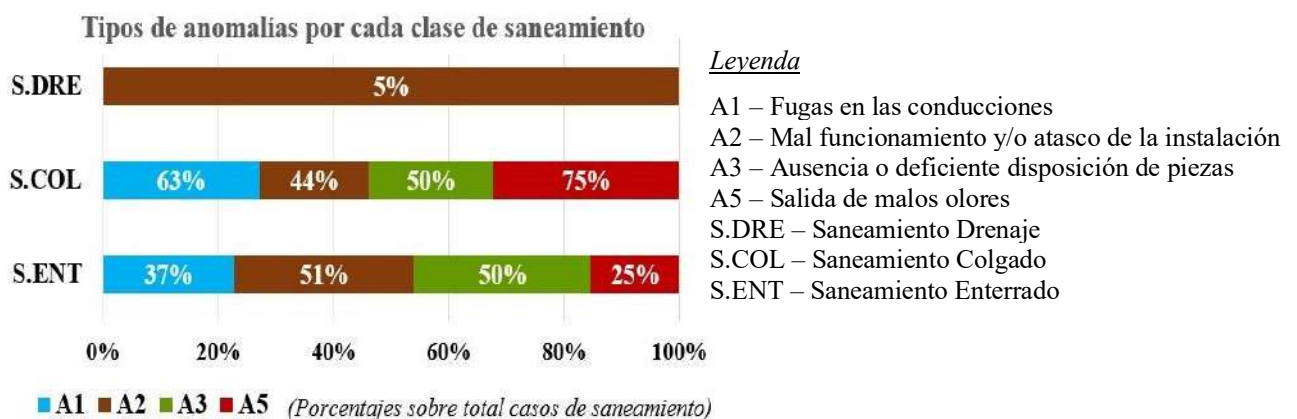


Figura 8. Distribución de casos por subtipo de la instalación de saneamiento y por tipo de anomalía.

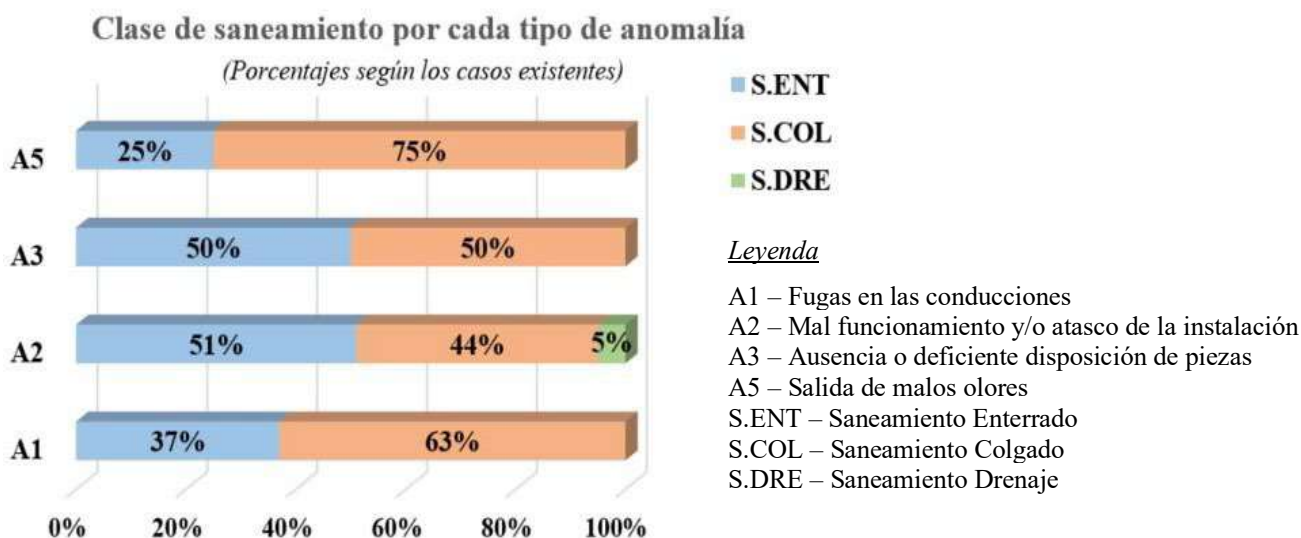


Figura 9. Distribución de casos por tipo de anomalía y por subtipo de la instalación de saneamiento.

3.8 Número de casos orígenes del fallo por cada tipo de anomalía.

Una de las informaciones más relevantes para los técnicos que tienen responsabilidades en la dirección de las obras, es conocer cada uno de los tipos de orígenes del fallo que dan lugar a cada uno de los tipos de anomalías. Esta información es extraordinariamente difícil encontrarla en las investigaciones, pues resulta complejo su constatación, y más aún, obtener un número de casos suficientes para que sea mínimamente representativo. En la Tabla 5 se proporcionan estas interrelaciones, lo que facilitará de manera importante la prevención de problemáticas en las obras, si se sabe implementar los procesos de mejoras en los sistemas constructivos para no repetir los mismos errores.

Tabla 5 - Relación de tipos de orígenes del fallo por cada uno de los tipos de anomalías

Código	Concepto (Anomalía/Origen del fallo)	Nº casos
A1	Fugas en las conducciones	72
OF2	Uniones/acoples deteriorados o mal colocados	30
OF1	Daño en la instalación	22
OF3	Falta de colocación y omisión de elementos	8
OF5	Inadecuado material o solución constructiva	7
OF4	Insuficiente porcentaje de pendiente	4
OF6	Mantenimiento disconforme	1
A2	Mal funcionamiento y/o atasco de la instalación	47
OF1	Daño en la instalación	22
OF4	Insuficiente porcentaje de pendiente	9
OF2	Uniones/acoples deteriorados o mal colocados	7
OF5	Inadecuado material o solución constructiva	4
OF6	Mantenimiento disconforme	3
OF3	Falta de colocación y omisión de elementos	2

A3	Ausencia o deficiente disposición de piezas	23
OF3	Falta de colocación y omisión de elementos	19
OF1	Daño en la instalación	3
OF2	Uniones/acoples deteriorados o mal colocados	1
A4	Desajustes y disfunciones	10
OF1	Daño en la instalación	7
OF3	Falta de colocación y omisión de elementos	3
A5	Salida de malos olores	8
OF1	Daño en la instalación	4
OF3	Falta de colocación y omisión de elementos	3
OF2	Uniones/acoples deteriorados o mal colocados	1

En base a dicha tabla, se puede documentar que: la anomalía A1 ocurre básicamente por la existencia de OF2, y en segundo lugar de OF1; que A2 se da mayoritariamente a causa de OF1; que A3 se da casi exclusivamente por OF3; que A4 está motivada principalmente por OF1; y que A5 no tiene un origen de fallo predominante.

4. CONCLUSIONES

Los informes técnicos periciales que se han tomado como base de datos para analizar las demandas realizadas por los usuarios, han demostrado ser un procedimiento de gran interés para determinar los tipos de anomalías y los orígenes del fallo de las instalaciones con canalizaciones de agua. De entre las cuatro instalaciones analizadas, el ‘saneamiento’ es la que más concentración de anomalías tiene, con un 72% del total.

De las tres tipologías constructivas que se estudiaron, las ‘edificaciones en altura’, son con diferencia en la que concurre un mayor número de casos (62,74%), seguido de las viviendas ‘unifamiliares pareadas/adosadas’ (21,44%).

De entre los tipos de anomalías determinadas, las ‘fugas en las conducciones’ es la más recurrente (A1=72 de los 160 casos analizados en las instalaciones ICCA). Por su parte, el origen del fallo más frecuente es ‘daño en la instalación’ (OF1= 53 casos).

Debido a que las instalaciones de los edificios residenciales son cada vez más similares a nivel mundial, se considera que los resultados de este estudio pueden ser extrapolables a otros países del entorno europeo. Futuros trabajos de investigación pueden centrarse en cuantificar el valor económico de las anomalías de este tipo de instalaciones y evaluar mediante el análisis de ciclo de vida su influencia en el impacto ambiental del edificio.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha desarrollado dentro del Plan marco de actuación aprobado por la Fundación-Musaat, donde se acordó la realización de una investigación de ámbito nacional español sobre patologías en la edificación (Carretero-Ayuso and Moreno-Cansado, 2019).

6. GLOSARIO DE ABREVIACIONES

<u>Abreviatura</u>	<u>Concepto o significado</u>
A1	Fugas en las conducciones
A2	Mal funcionamiento y/o atasco de la instalación
A3	Ausencia o deficiente disposición de piezas
A4	Desajustes y disfunciones
A5	Salida de malos olores
I1	Saneamiento
I2	Fontanería
I3	Calefacción
I4	Protección contra incendios
ICCA	Instalaciones Con Canalizaciones de Agua
ISCA	Instalaciones Sin Canalizaciones de Agua
OF1	Daño en la instalación
OF2	Uniones/acoples deteriorados o mal colocados
OF3	Falta de colocación y/o omisión de elementos
OF4	Insuficiente porcentaje de pendiente
OF5	Inadecuado material o solución constructiva
OF6	Mantenimiento disconforme
TO-1	Edificación en altura
TO-2	Unifamiliar pareada/adosada
TO-3	Unifamiliar aislada
S.COL	Saneamiento Colgado
S.DRE	Saneamiento Drenaje
S.ENT	Saneamiento Enterrado

7. REFERENCIAS

- AENOR. (2012). " Norma UNE-EN 15331:2012. Criterios para el diseño, la gestión y el control de servicios de mantenimiento de edificios".
- Arrecibia, J. M. (2007). "Fundamental Concepts for the Maintenance of Buildings". Revista de Arquitectura e Ingeniería, 1, 1-8.
- Azorín López, V., and Monjo Carrió, J. (2005). "La investigación en construcción. Conclusiones de las I Jornadas de Investigación en Construcción". Informes de la Construcción, 5(498), 4-15.
- Blanchère, G. (1978). "Saber construir". Apr-2003 Ed., Editores Técnicos Asociados, Sevilla.
- Carretero-Ayuso, M. J., and Moreno-Cansado, A. (2019). Estudio Estadístico Nacional sobre Patologías en la Edificación, Fundación-Musaat, Madrid.
- Chong, W., and Low, S. (2006). "Latent Building Defects: Causes and Design Strategies to Prevent Them". J. Perform. Constr. Facil., 20(3), 213-221.
- Chou, J., Yang, I., Chong, W. K. (2009). "Probabilistic Simulation for Developing Likelihood Distribution of Engineering Project Cost." Automation in Construction, 18, 570-577.

- Fernández, J. L. (2015). "Un servicio pionero de los aparejadores ahorra miles de euros en los litigios por la vivienda". <http://www.abc.es/local-alicante/20150914/abci-litigios-vivienda-servicio-201509141011.html?utm_content>.
- Forcada, N., Macarulla, M., Love, P. E. D. (2013). "Assessment of Residential Defects at Post-Handover". *J. Constr. Eng. Manage.*, 139(4), 372-378.
- Gallego Brizuela, C. (2011). *La indemnización por defectos constructivos en el edificio y en la vivienda*, CGB & Asociados, Valladolid (España).
- Garcez, N., Lopes, N., de Brito, J., Sá, G. (2012). "Pathology, Diagnosis and Repair of Pitched Roofs with Ceramic Tiles: Statistical Characterisation and Lessons Learned from Inspections". *Constr. Build. Mater.*, 36(0), 807-819.
- García Sanz-Calcedo, J. (2014). *Mantenimiento eficiente de edificios*, Agencia Extremeña de la Energía, Mérida.
- Josephson, P. E., and Hammarlund, Y. (1999). "The Causes and Costs of Defects in Construction: A Study of Seven Building Projects". *Automation in Construction*, 8(6), 681-687.
- Lee, D., Chi, H., Wang, J., Wang, X., Park, C. (2016). "A Linked Data System Framework for Sharing Construction Defect Information using Ontologies and BIM Environments". *Automation in Construction*, 68, 102-113.
- Martín-Gómez, C., Emmanuel, A., Jimenez, L., Murillo, M., Sagüés, R. (2006). "How Much Space is Occupied by the Installations of a Building?" *El Instalador*, 434, 5-49.
- Meiss, A. E., and Muñoz, J. E. F. (2015). "Lesiones y rehabilitación de las instalaciones de fontanería y saneamiento en edificios destinados a viviendas". *RE-Revista de Edificación*, 45, 143-151.
- Min, Z., Morgenstern, P., Marjanovic-Halburd, L. (2016). "Facilities Management Added Value in Closing the Energy Performance Gap". *International Journal of Sustainable Built Environment*, Ministerio de Fomento. (2015). *Se constituye la comisión para la implantación de la metodología BIM*, Ministerio of Fomento del Gobierno de España, Madrid.
- MUSAAT. (2018). *Expedientes e Informes Periciales de Siniestros de Construcción en España*. Mutua de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, Madrid.
- OCU. (2018). "Complaints made in 2017." <<http://www.ocu.org/organizacion/prensa/notas-de-prensa/2017/reclamaciones-ante-la-ocu-en-2008435944>> (feb/06, 2021).
- Pauwels, P. (2014). "Supporting Decision-Making in the Building Life-Cycle using Linked Building Data". *Buildings*, 3, 549-579.
- Sarman, A. M., Nawi, M. N., Che-Ani, A. I., Mazlan, E. M. (2015). "Concrete Flat Roof Defects in Equatorial Climates". *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(3), 7319-7324.
- SERJUTECA. (2013-2017). *Expedientes y Documentación de Siniestros de Responsabilidad Civil Profesional de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, Servicios Jurídicos Técnicos Aseguradores*, Madrid.
- WWF-Spain. (2010). *Potential for Energy Savings and Reduction in CO2 Emissions of the Building Stock in Spain in 2020*, WWF/Adena Ed., WWF/Adena, Madrid.

Civil construction pathologies

E. D. Reis^{1*}, G. M. Gava², M. A. Souza², B. C. Silva³

*Corresponding author: elvysreis@yahoo.com.br

¹Professor, Department of Civil Engineering, Presidente Antônio Carlos University, Barbacena, Brazil

²Undergraduate student, Department of Civil Engineering, Presidente Antônio Carlos University, Barbacena, Brazil

³Undergraduate student, Dept. of Civil Engineering, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

ABSTRACT

This work aims to present the main pathologies of civil construction, as well as some constructive or design flaws, besides showing what can be the main procedures of intervention and maintenance. For this, a wide bibliographic review was performed, through the reading and analysis of books, articles, and monographs on such pathologies, being made their due analysis and considerations. It has been demonstrated that there are several mechanisms or processes, from different causes, that can degrade the constructions, that some cares taken in the stages of design and execution of the work can considerably increase the durability of the construction, and that the user also has part of responsibility in the durability and useful life of the building, and should do regular maintenance and be attentive when abnormal characteristics appear. This study concluded that civil construction pathologies can have several causes, and many of them could be avoided if there was regular maintenance of the construction.

Keywords: Pathologies; Civil construction; Structural intervention.

RESUMO

Este trabalho visa apresentar as principais patologias da construção civil, bem como algumas falhas construtivas ou de concepção de projeto, além de mostrar quais podem ser os principais procedimentos de intervenção e manutenção. Para isso, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica, por meio da leitura e análise de livros, artigos e monografias sobre tais patologias, sendo feitas as suas devidas análises e considerações. Foi demonstrado que vários são os mecanismos ou processos, de diferentes causas, que podem degradar as construções, que alguns cuidados tomados nas etapas de concepção de projeto e execução da obra podem aumentar consideravelmente a durabilidade da construção, e que o usuário também tem parcela de responsabilidade na durabilidade e vida útil da edificação, devendo fazer uma manutenção regular e ficar atento quando aparecerem características anormais. Este estudo permitiu concluir que as patologias da construção civil podem ter diversas causas, sendo que muitas delas poderiam ser evitadas se existisse uma manutenção regular da construção.

Palavras-chave: Patologias. Construção civil. Intervenção estrutural.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo presentar las principales patologías de la construcción civil, así como algunos defectos constructivos o de diseño, además de mostrar cuáles pueden ser los principales procedimientos de intervención y mantenimiento. Para ello, se realizó una amplia revisión bibliográfica, a través de la lectura y análisis de libros, artículos y monografías sobre dichas patologías, realizándose su debido análisis y consideraciones. Se demostró que existen varios mecanismos o procesos, de diferentes causas, que pueden degradar las construcciones, que algunos cuidados tomados en las etapas de diseño y ejecución de la obra pueden aumentar considerablemente la durabilidad de la construcción, y que el usuario también tiene parte de responsabilidad en la durabilidad y vida útil del edificio, debiendo hacer un mantenimiento regular y estar atento cuando aparezcan características anormales. Este estudio concluye que las patologías de la construcción civil pueden tener varias causas, y muchas de ellas podrían evitarse si hubiera un mantenimiento regular de la construcción.

Palabras clave: Patologías; Construcción civil; Intervención estructural.

1. INTRODUCTION

Civil construction is a branch of activity that is growing and modernizing every day, with new technologies, new types of materials, and an increasingly specialized workforce. Its tendency is always to seek solutions to existing problems or, when possible, to avoid these problems occurring already at the beginning of its projects. In addition, civil construction deals with several types of pathologies, which often originate from project and execution failures. In addition to these, some develop over time, which can be the result of natural wear and tear and lack of maintenance.

Thus, it is important to study the main types of pathologies in civil construction, which becomes the objective of this work. It is also convenient to cover some constructive or project conception failures, besides showing what the main intervention and maintenance procedures can be.

Considering that design, construction, and maintenance faults increase the occurrence of pathologies in buildings, it becomes important to study their mechanisms. According to Bertolini (2010), every building has a useful life cycle, which can vary depending on factors such as the durability of the materials used in construction, the conditions of exposure and use, and the existence of periodic maintenance. Therefore, it is up to engineering to develop solutions and ways to prevent this type of problem, which besides generating a bad visual aspect, also generates a negative psychological impact and shows that there is some problem in the construction. Still, according to Castro (2007), the systematic practice of preventive maintenance in a building reduces the costs of corrective actions.

To achieve the listed objectives, a broad literature review was conducted, consulting books, articles and monographs, always giving priority to current works. In this context, a bibliographical research serves as a basis for the theme, making it possible to obtain the material that will be used to carry out the research. The material obtained was read, cataloged, annotated, and then analyzed, with its due considerations.

2. BIBLIOGRAPHIC REVIEW

2.1 Pathological manifestations in foundations

The materials used in civil construction are of paramount importance, so it is essential to know their deficiencies and vulnerabilities. It is from the correct and optimized use of a material that its

future behavior is predicted, thus being able to reduce its early deterioration (BERTOLINI, 2010).

Schwirck (2005 apud Macedo, 2017) defines the term foundation as the transition element between the structure and the soil, making the structure subject to the behavior of the soil when subjected to certain loading. In this sense, pathologies in foundations can appear due to several factors, starting in the design phase, compromising the quality of the construction and its useful life. There are also situations in which the soil presents deformations or volumetric variations not caused by the foundation loading, which can result in pathologies.

For this reason, at the beginning of construction, it is essential to choose well the materials that will be used and to observe, besides their mechanical aspects (stress versus deformation, elasticity limit, etc.), their behavior in relation to the environment (water absorption, thermal expansion coefficient, etc.). In this case, the designer must define well the properties of the materials, trying to ensure that these properties actually occur. During construction, quality controls must be provided to allow checking the proper use of the materials that arrive at the construction sites and their correct use (BERTOLINI, 2010).

About pathologies, Oliveira (2013) also notes that in general, pathologies do not have their origin concentrated in isolated factors but suffer the influence of a set of variables, which can be classified according to the pathological process, the symptoms, the cause that generated the problem, or even the stage of the production process in which they occur, besides also pointing to failures in the quality control system proper to one or more activities.

Gonçalves (2015) also explains that the causes of pathologies in buildings are mainly concentrated in "project conception failures, poor quality materials, errors in execution, use for purposes other than those calculated in the project, and lack of maintenance over time.

2.1.1 Soil settling

According to Militisky et. al. (2015), the pathologies called settlements or densification have a duration time measured in years, being a process in which occurs the reduction of the soil volume due to compression in the clay, generating excess pore pressures, which leads to settlements that affect the superstructure, as can be seen in Figure 1 and Figure 2.



Figure 1. Crack in wall caused by settlement.



Figure 2. Cracks in ceramic tiles caused by settlement.

As for the problem caused by settlements, Velloso and Lopes (2010) consider that it occurs due to problems related to soil-structure interaction, also highlighting that a greater stiffness of the foundation will cause more uniform settlements, stressing that when a foundation is combined or associated (more than one column), the differential settlements will consequently be lower.

Also according to Velloso and Lopes (2010), the soil settlements are generally much higher than the deflections that a pile can support. Therefore, the use of inclined piles in soils that settle should be avoided..

2.1.2 Alkali-aggregate reaction

The alkali-aggregate reaction (AAR) is a phenomenon that occurs in reinforced concrete and develops from the combination of three agents: alkalis from cement, reactive or potentially reactive aggregate, and the constant presence of moisture (MIZUMOTO, 2009). From this combination will arise often irreversible damage.

2.1.3 Attack by sulfates

The attack by sulfates is a form of attack on concrete that occurs when the structure is in contact with water or soil with the presence of sulfate (SO_4). The sulfates react with the cement components, generating expansive products, thus creating dilatations that will degrade and crack the concrete (SANTOS, 2019).

2.1.4 Setback by pressure superposition

According to Marinho (2019), buildings with high load, i.e., those that have a large area of influence of the stress bulb, close to other buildings with direct superficial foundations, can cause an overlap of the bulbs of the buildings. When this occurs, settlements will appear in the buildings, especially when they are older. The author adds that when this type of settlement occurs, cracks and fissures may appear in the construction, and may even affect its safety.

2.1.5 Setbacks due to soil problems

According to Silva Junior (2017), the choice of the foundation depends on the characteristics of the soil, its interaction with the foundation, considering the characteristics of the soil layers below the support elevation of the foundation, in order to avoid problems of foundation instability.

In this sense, the negative friction generated on compressible soils can generate soil settlements. Other causes of soil settlements are linked to the lowering of the water table, and the denting of sensitive soft clays, which can be generated by pile driving (MAGALHÃES, 2004).

2.2 Pathology of reinforced concrete structures

For years, concrete was considered to be an extremely durable material, due to old structures that still keep a good appearance, thus demonstrating a good state of conservation. However, recent deteriorations in structures have led the technical and scientific community to question the pathologies of reinforced concrete. There are some advances in research, especially consolidated in some technical standards for construction, involving the specification of materials, performance, and construction techniques, aiming to increase the final quality of the product and reduce costs as much as possible (GONÇALVES, 2015).

Within this context, the Brazilian standard NBR 6118 (ABNT, 2014), which covers the durability of materials and structures and also recommends some possible corrective procedures, defines design life as the period of time during which the characteristics of concrete structures are maintained, provided that the requirements of use and maintenance prescribed by the designer and builder are met, as well as the execution of necessary repairs arising from accidental damage. The main types of pathologies found in reinforced concrete structures are detailed below.

2.2.1 Mold

Mold is a type of pathology that usually appears on facades, and can also appear in other areas of the construction. According to Macedo (2017), it occurs when there is an accumulation of fungi of the most varied types in the coating layers, which generate colonies that feed on organic materials. The ideal places for their proliferation are areas that present humidity by condensation and where there is no running water.

According to Sena et al. (2020), the presence of mold indicates a high degree of humidity, which can bring degradation to the structure as a result of vegetation that grows through small cracks and expansion joints, causing a mechanical type interaction. Figure 3 exemplifies this type of pathology.



Figure 3. Reinforced concrete slab with mold and stains.

2.2.2 Efflorescence and leaching

According to Bertolini (2010), "leaching (pure and acidic waters, expansion by sulfates or magnesium, expansion by alkali-aggregate reaction, deleterious surface reactions) is one of the most important mechanisms in the deterioration of concrete structures".

Macedo (2017) defines efflorescence and leaching as acidic water or water with a high concentration of chlorides and sulfates that, when entering the capillary pores of the concrete, dissolves the calcium hydroxide of the cement paste, which can subsequently react with carbon dioxide from the air, forming calcium carbonate (CaCO_3).

Within this context, Bolina et al. (2019) explain that through leaching the porosity of concrete is increased, and if they are insoluble and expansive, they will cause deterioration of the material by causing cracking. In addition, the leaching process can be originated by rainwater and its most frequent consequence is the disintegration of the cement paste.

2.2.3 Cracks

Cracks are openings that affect the surface of the structural element, causing the entrance of aggressive agents to the structure. In concrete constructions, cracks may appear soon after their execution or take years to appear. Their causes are variable and generally difficult to diagnose. Cracks are designated as the rupture that occurs in concrete under mechanical or physical-chemical actions (GONÇALVES, 2015).

NBR 6118 (ABNT, 2014) establishes the following values to determine the degree of its environmental aggressiveness: for aggressiveness class I, the maximum opening of 0.4 mm; for aggressiveness class II and III, the maximum opening of 0.3 mm; for aggressiveness class IV, the maximum opening of 0.2 mm; in specific cases, these limits must be reduced.

2.2.4 Segregation

According to Gonçalves (2015), the concrete launch height is a point of attention to the execution of concrete elements, reinforced or not. The author states that the concreting of parts with more than two meters in height should be carried out carefully, in order to avoid segregation (concreting nests) of the coarse aggregates in the lower regions of the part, originating pits or voids. Moreover, compaction can also generate segregation problems.

2.2.5 Corrosion of reinforcement

Steel when used in structures can be a victim of corrosion, producing stresses that the concrete cannot resist. Consequently, cracks are formed. And when it comes to reinforcements that are closer to the surface they will be more exposed to the action of external agents, generating more corrosion (GONÇALVES, 2015).

The cracks in reinforced concrete need to be treated properly, blocking the corrosion process to not allow their aggravation. One should seek to identify, diagnose and correct the true causes of the problem (GONÇALVES, 2015).

According to NBR 6118 (ABNT, 2014), the acceptable limits for the opening of cracks caused by corrosion are 0.1 mm, for unprotected parts in an aggressive environment; 0.2 mm, for unprotected parts in a non-aggressive environment; and 0.3 mm, for protected parts.

Figure 4 and Figure 5 exemplify the corrosion process in the reinforcement of reinforced concrete structural elements.



Figure 4. Drill in the beam-column connection that favors the corrosion of the reinforcement.



Figure 5. Exposed reinforcement in the frame support beam.

2.2.6 Deterioration of reinforced concrete

The Brazilian standard NBR 6118 (ABNT, 2014) defines durability as the ability of the structure to resist environmental influences foreseen and defined jointly by the author of the structural project and the contractor, at the beginning of the project preparation work.

According to Santos (2019), the degradation of reinforced concrete structures occurs by the penetration of substances in the form of gases, vapors, and liquids, through pores and cracks. Therefore, it is understood that permeability is the main determinant of vulnerability to external agents.

Furthermore, concrete deterioration rarely occurs due to an isolated cause, since concrete can sometimes be satisfactory, but a single additional adverse factor can cause its deterioration.

2.3 Masonry pathology

Masonry can be defined as elements made up of units called components, such as ceramic or concrete blocks, which are usually joined by binding material but can also be embedded (SENA et al., 2020). Also according to these authors, masonry can be classified as structural or sealing, which have different design life, and the main types of pathologies presented by these are:

- Cracks due to thermal movement - occur in the structural elements, especially in upper floors, and induce tensile and shear stresses in the seals;
- Cracks due to the absence or inefficiency of lintels and counter-verges - the lintels and counter-verges are regulated by the Brazilian standard NBR 8545 (ABNT, 1984). They can be executed by means of blocks, channels, pre-molded, and even executed directly on-site by means of formwork, recommending that they have at least two bars along their length. When these elements are not executed correctly, cracks may occur. Figure 6 shows a crack due to the lack of lintels and Figure 7 due to the lack of counter lintels.



Figure 6. Crack in lintels.



Figure 7. Crack in counter lintels.

- Cracks due to differential settlements - may be noticed by the presence of openings in the structure, but the most recurrent ones are in the masonry, which, as they are less resistant elements, may crack more easily. Their possible causes may be related to buildings built on deformable layers and superficial embankments, overlapping stress bulges, proximity to unstable slopes, the influence of humidity or water table on the soil, among others;
- Cracks due to failure in the wedging - early wedging or with inadequate materials may cause cracks in the masonry. This can occur due to the efforts induced in the masonry by the deformations of the structural elements above it;
- Pathological manifestations from humidity - humidity is linked to the amount of water absorbed by a material, depending on its porosity and capillarity. Most construction materials are hygroscopic, absorbing or losing moisture according to the increase or decrease in relative humidity. This moisture may act as a degradation material or components through expansion or shrinkage. Figure 8 shows moisture occurring in a wall as a result of a leak in the hydraulic installations, while Figure 9 shows moisture due to capillary rise from the ground.



Figure 8. Moisture due to leakage in a water tank.



Figure 9. Moisture due to rising dampness from the ground.

2.3.1 Layers and constituent materials of the grout and ceramic covering systems

The grout and ceramic systems are the most used in Brazil, because, in addition to aesthetics, they have good durability if they are well done. When they present problems, they are usually related to a lack of care and can be found at any stage of construction (SENA et al. 2020).

As for grout coatings, Thomaz (1989) also considers the importance of the Brazilian standard NBR 13529 (ABNT, 2013), which defines them as the covering of a surface with one or more superimposed layers of grout, able to receive a decorative finish or constitute a final finish.

These coating systems are preceded by the substrate (or base) and roughcast layers, as well as by the main constituent core based on grout, which is composed of mixtures of one or more binders. There are differences in these layers that are related to finishing and execution. For external ceramic coatings, the Brazilian standard NBR 13755 (ABNT, 2017) specifies their upper limits as 50 mm and lower limits as 20 mm.

2.3.2 Main pathological manifestations in grout coating systems

Coating problems generally originate from a lack of control in its various stages, such as in grout coatings. The deterioration of these coatings can occur in three ways: physical-mechanical, chemical, and biological. These effects usually overlap, making it difficult to analyze the real cause of the problem, whose causative source may be related to the quality of the constituent materials, the composition of the grout mix, the executive processes, and external factors (SENA et al. 2020).

According to Masuero (2001), some technical standards referring to coating grouts must be respected, namely: NBR 13528 (ABNT, 2019), NBR 7200 (ABNT, 1988), NBR 13749 (ABNT, 2013), and NBR 13281 (ABNT, 2005).

According to Segat (2005), the occurrence of pathological manifestations on external facades usually comes from the lack of technical competence in construction work when executing the coating. Many times, it is related to water and additive dosage errors, execution of layers that are too thick or not thick enough, lack of grout uniformity, and even lack of substrate cleaning. This is why it is so important to adopt rigorous criteria when selecting the grouts that will compose the coating.

Within this context, Masuero (2001) points out that the main pathological manifestations of grout are cracks, detachment, and peeling, which occur especially in external cladding, and there may also be stains caused by humidity or microorganism colonies, as detailed below.

- Fissures - their cause is not unique. The problem usually results from the movement and/or deformation of the base on which the mixture is applied. This situation occurs at the interface between concrete and masonry, in the upper region of the masonry, or at stress concentration points, such as corners of openings. They are also linked to grout water loss;
- Dislocation and peeling - related to the lack of adherence of the coating to the base, depending on the occurrence of situations related to the characteristics of the surfaces, the type of grout used and the execution process, and weather conditions. For this reason, the substrate to be coated must present absorption that provides micro-anchorage, resulting from the penetration of the paste or grout into its pores, providing macro roughness, providing a greater area of contact of the mixture on the irregularities of the base;
- Stains and colonies of microorganisms - resulting from a series of factors, the most common reasons for this type of pathology are problems with infiltration, waterproofing, low-quality window frames, which allow rain to enter, and leaks from the hydraulic system.

To correct these pathological manifestations with grout, it is necessary to investigate each case. If the cracks are caused by the structure's movement, for example, the existing deformations must be analyzed. The correction will involve the use of joints or screens in the coating, a solution specified based on the characteristics of each project. When it is the case of detachment, the

coating must be removed and re-executed. The procedure must be redone from the beginning, starting with the preparation of the base and continuing through the execution process, including the correct specification of the grout (MASUERO, 2001).

For prevention, Bolina et al. (2019) explain that the best way to avoid the appearance of pathological manifestations is by performing the proper coating project, which will present all the technical specifications of the materials to be used. The project should also foresee the correct processes of execution and control, aiming to obtain the satisfactory performance of the coating.

2.3.3 Main pathological manifestations in ceramic tiling

Ceramic tiles are also one of the types of tiling with the highest incidence of pathologies, which, according to Sena et al. (2020), have become less frequently used due to this factor. Even so, they are still among the most commonly used types of coating.

These coatings are regulated by the Brazilian standard NBR 13755 (ABNT, 2017), which specifies the procedures related to the design, execution, inspection, and acceptance of ceramic tiles.

According to Campante and Baía (2003), one of the main causes of pathologies in ceramic tiles is poorly executed laying. In addition, it is very common that in the design phase the execution of the façade cladding is not specified, and this lack of planning and, often, of skilled labor, end up resulting in pathologies. The author indicates that the main causes are usually: inadequate preparation of the base, insufficient wetting of the base, compromising the hydration of the grout's cement, roughcast prepared with fine sand, grout with excessive thickness, and grout with excessive cement.

Among the main problems found in both ceramic and grout coverings are efflorescence and cracks. Ceramic detachment, exemplified in Figure 10, is among the anomalies that most occur in ceramic tiles.



Figure 10. Ceramic detachment.

Still, within this context, Santos (2019) states that the absence of proper maintenance in buildings is responsible for a variety of anomalies, which in turn are the cause of material damage and sometimes personal injury. Maintenance activities performed in accordance with the real needs presented by a previously inspected building tend to make it return to conditions similar to those of its initial state. Thus, it is the responsibility of the builder to prepare a building maintenance manual for the property.

The durability and performance of the facades depending on the decisions made in the various stages of the building production process, i.e., planning, design, specification, materials, execution, and use (SANTOS, 2019).

3. CONCLUSIONS

From the literature review conducted in this paper, it is ratified the statement that the pathologies in civil construction can have various causes and require different interventions. It is noteworthy that, because it is a very extensive topic, only the main types of pathological manifestations were addressed.

Among the different parameters that contribute to the degradation of buildings, we can mention temperature variations, chemical reactions, vibrations, erosion, and especially the phenomenon of reinforcement corrosion in reinforced concrete, a very important pathological phenomenon that contributes greatly to the deterioration of the construction. These phenomena can manifest themselves from the foundations to the final finish of a building, as explained in this paper.

Therefore, it is pertinent to note that there are several mechanisms and causes for the degradation of buildings. Thus, some care taken in the stages of project conception and execution of the work can considerably increase the durability of the construction. In addition, the owner and the user also have a share of responsibility for the durability and service life of the building and should perform regular maintenance and be aware when anomalies appear.

4. REFERENCES

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2014. *NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1988. *NBR 7200. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. *NBR 8545. Execução de Alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005. *NBR 13281. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2019. *NBR 13528-3. Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 3: Aderência superficial*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013. *NBR 13529. Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Terminologia*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013. *NBR 13749. Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2017. *NBR 13755. Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento*. Rio de Janeiro.

- Bertolini, L. (2010), "*Materiais de Construção: Patologia. Reabilitação. Prevenção*". Oficina de Textos, São Paulo.
- Bolina, F. L., Tutikian, B. F., & Helene, P. (2019). Patologia de estruturas. Oficina de Textos.
- Campante, E. F.; Baía, L. M. (2003), "*Projeto e execução de revestimento cerâmico*". São Paulo: O Nome da Rosa.
- Castro, U. R. (2007), "*Importância da manutenção predial e as ferramentas para sua execução*". Federal University of Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Gonçalves, E. A. B. (2015), "*Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações*". Rio de Janeiro.
- Macedo, E. A. V. B. (2017), "*Patologias em obras recentes de construção civil: análise crítica das causas e consequências*". Federal University of Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Magalhães, E. F. (2004), "*Fissuras em alvenarias: configurações típicas e levantamento de incidências no Estado do Rio Grande do Sul*". Master Thesis, School of Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Marinho, R. D. O. (2019), "*Desenvolvimento de um software para dimensionamento de fundações do tipo tubulão para torres de linhas de transmissão*".
- Masuro, A. B. (2001). Estabilização das escórias de aciaria elétrica com vistas a sua utilização como substituição ao cimento.
- Milititsky, J.; Consoli, N. C.; Schnaid, F. (2015), "*Patologia das fundações*". 2. ed. São Paulo: Oficina de textos.
- Mizumoto, C. (2009), "*Investigação da reação álcali-agregado (RAA) em testemunhos de concreto e agregados constituintes*".
- Oliveira, D. F. (2013), "*O Conceito de Qualidade Aliado às Patologias na Construção Civil*". Federal University of Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Santos, Y. M. (2019), "*Análise de patologias de pisos cerâmicos*". Management Bulletin, v. 10, n. 10, p. 31-42.
- Sena, G. O. *et al.* (2020), "*Patologia das Construções*". Salvador.
- Silva Júnior, I. V. D. (2017) "*Análise dos efeitos do recalque em um edifício de concreto armado com apoios elásticos e discretizados*".
- Thomaz, E. (1989), "*Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação*". São Paulo: Pini.
- Velloso, D. A.; Lopes, F. R. (2010), "*Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas*". Oficina de Textos. São Paulo.

Verificação da estanqueidade do leito de secagem em concreto armado de uma estação de tratamento de esgoto (ETE)

V.K. Ortolan^{1;2*}, P.P. Ortolan², D.C.M Arnold¹

*Autor de Contato: ykortolan@gmail.com

¹ Instituto de Ciências Criativas e Tecnológicas, Escola de Engenharia Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo-RS, Brasil

² Ortolan Engenharia, Campo Bom-RS, Brasil

RESUMO

Estações de tratamento de esgoto executadas em concreto armado são sistemas estruturais empregados para o tratamento de esgotos domésticos. Estas estruturas são expostas a agentes agressivos oriundos dos fluídos ricos em sulfatos. O esgoto doméstico não pode entrar em contato com o solo, por ser um fluido patogênico, sendo assim, as estruturas das estações de tratamento de esgoto, devem permanecer estanques durante todo o período da vida útil. O objetivo do estudo foi verificar se as manifestações patológicas existentes nas paredes dos leitos secantes, são prejudiciais à estanqueidade do sistema. Os resultados demonstraram que os danos patológicos existentes, geram perda de estanqueidade e que necessitam de tratamento, para impedir a passagem de águas residuais para o meio ambiente.

Palavras chaves: estanqueidade; reservatório de concreto; fissura.

1. INTRODUÇÃO

Estruturas de reservatório são elementos que objetivam o armazenamento de fluídos, sendo assim, demandam o atendimento ao desempenho à estanqueidade. A fissuração do concreto é uma das principais manifestações patológicas de uma estrutura de concreto armado destinada ao tratamento de águas residuais. De acordo com Thomaz (2007), em estruturas destinadas ao fim hidráulico, como reservatórios, as fissuras podem causar comprometimento do desempenho destes, devido à falta de estanqueidade do concreto, o que leva a redução da sua durabilidade.

Fissuras superficiais podem surgir no concreto durante o período de endurecimento, ocorridas por retração plástica (OLLIVIER e VICHOT, 2014). Os autores complementam que a retração plástica é uniforme em todo o volume do elemento de concreto e não acarreta risco de formação de fissuras em peças que permitem deformações. Por outro lado, quando em situação de impedimento, ocorre frequentemente uma parcela não desprezível de fissuração.

Deve ser destacado que as deformações ocorridas durante o período inicial de endurecimento do concreto, em decorrência das baixas propriedades mecânicas do mesmo, pois a influência da temperatura, oriunda do processo de cura do concreto, pode gerar alterações dimensionais por secagem do mesmo e, por consequência, pode causar alargamento e a ocorrência de novas fissuras (ZYCH, 2016).

Paredes de concreto armado são elementos esbeltos e de elevado comprimento, o que segundo Cánovas (1988), são facilmente suscetíveis aos efeitos de retração plástica. As fissuras nestes elementos costumam se apresentar em configuração vertical, espaçadas de modo equidistantes, com maiores aberturas na parte superior, bordo livre de restrição, e a medida que se aproxima da base da parede a fissura se fecha, ao ponto de desaparecer.

Além do calor de hidratação e em consequência dele, outras podem ser as causas da geração de tensões térmicas em concretos, resultantes de fissuras em estruturas de reservatórios. Thomaz (2007) cita as seguintes causas resultantes de fissuras em reservatório: o impedimento de deslocamento que a laje de fundo provoca nas paredes do reservatório, devido à exaustão do calor proveniente das reações químicas da pasta de cimento; o impedimento de retração da argamassa devido à perda de água para a atmosfera, por parte do agregado graúdo; o impedimento da argamassa de se retrair ao secar por parte da armadura; o fluxo de calor entre as camadas do concreto e entre o interior e a superfície externa da parede de concreto; a retração plástica na fase fresca do concreto nas primeiras horas; a retração hidráulica por causa da perda de água do concreto para o ar; a retração térmica por resfriamento, ou seja, há a perda de calor do concreto para a atmosfera.

Limites para a abertura de fissuras em estruturas de reservatório em concreto armado são cuidados que devem ser tomados em projeto, a fim de satisfazer o desempenho à estanqueidade dos líquidos e a durabilidade da estrutura. O fib Model Code (2010) estabelece requisitos para a abertura de fissuras conforme consequências da perda da estanqueidade, caso o vazamento for limitado em pequenas quantidades com o surgimento de manchas na superfície do concreto, deve-se limitar a abertura em $w_k = 0,2\text{mm}$. Este limite também é recomendado para utilização de aditivo cristalizante na mistura do concreto, para correção de fissuras. Caso contrário, o limite de $w_k = 0,1\text{mm}$ se mostra mais adequado para estruturas de reservatórios de líquidos.

A norma EN 1992 (2006) estabelece que os valores limites para a abertura de fissuras devem ser definidos em função da razão da altura hidrostática do líquido (h_d) com a espessura da parede (h) do reservatório. Quando a razão é menor que 5 a abertura da fissura é limitada em $w_k = 0,1\text{mm}$, por outro lado, quando a razão for maior que 35 a abertura deve ser inferior a $w_k = 0,05\text{mm}$. É acrescentado ainda que o atendimento aos limites de abertura de fissura deve resultar na vedação eficaz em um período curto de tempo.

O procedimento de análise da abertura das fissuras indicado pela EN 1992 (2006), segundo Zych (2016), pode ser caracterizado como método simplificado, com resultados seguros para baixas

pressões hidrostáticas. O autor acrescenta que a EN 1992 necessita de atualizações, principalmente em relação as condições de altas pressões.

A formação das fissuras, o espaçamento e distribuição podem ser influenciados pela quantidade de reforço estrutural, relação de restrição e insolação (SERUGA e ZYCH, 2015).

Stoffers (1978) estabelece que o espaçamento das fissuras pode chegar a compreender a relação de 1 a 1,5 vezes a altura da parede.

Com o intuito de confirmar o atendimento ao desempenho a estanqueidade, a norma EN 1992 (2006) recomenda a realização de testes de estanqueidade, como um procedimento seguro de verificação e certificação.

Diante do exposto o estudo tem como objetivo avaliar se as manifestações patológicas nas paredes de concreto armado desenvolvem prejuízos à estanqueidade à água em um reservatório de uma estação de tratamento de esgoto.

2. MÉTODO

Os procedimentos adotados para desenvolvimento deste trabalho estão descritos nos itens que seguem.

2.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo é um reservatório em concreto armado semienterrado utilizado para o tratamento de esgoto, componente que integra o complexo da estação de tratamento de esgoto (ETE), localizada em região rural, com afastamento aproximado de 475m da Rua Santos Dumont, na cidade de Rolante/RS, Brasil, a Figura 1 demonstra a visão geral da situação do empreendimento durante o estudo.



Figura 1. Visão geral da estação de tratamento de esgoto (ETE)

O complexo da estação de tratamento de esgoto é composto por diferentes etapas de tratamento, em uma destas etapas, o efluente é destinado a secagem em leitos de secagem dispostos em duas áreas na estação de tratamento. O estudo foi desenvolvido em um dos leitos de secagem (03), o qual está demarcado na Figura 2. O leito de secagem possui largura de 10,60m, comprimento de 11,40m e profundidade de 1,30m, sendo composto por duas células com volume de 71,50m³.

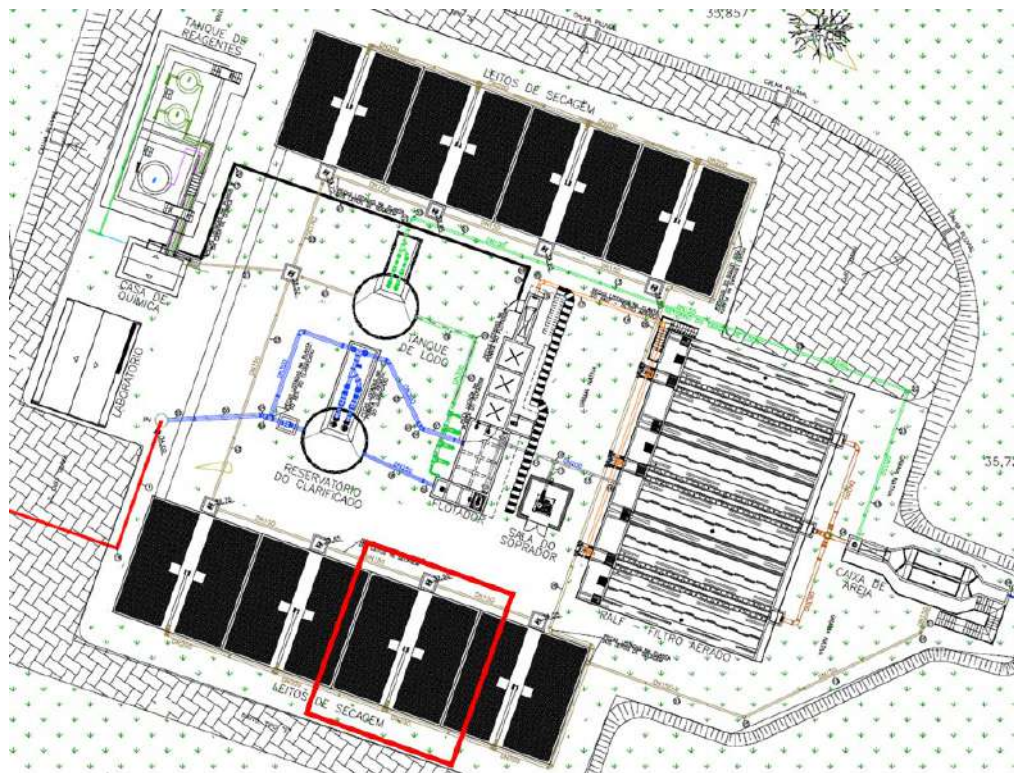


Figura 2. Leito de secagem objeto de estudo

2.2 Verificação das manifestações patológicas

As manifestações patológicas existentes na estrutura de concreto armado foram determinadas de modo visual e quantificadas com auxílio de trena e fissurômetro.

2.3 Teste de estanqueidade

Após a demarcação das manifestações patológicas existentes no leito de secagem em estudo, passou-se para a etapa de verificação da estanqueidade do tanque, a fim de analisar a existência de vazamentos na estrutura.

O teste de estanqueidade foi realizado de forma adaptada ao procedimento de ensaio descrito no manual técnico de orientação dos processos de construção e fiscalização de estações de tratamento de esgoto e reservatório em concreto armado da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento).

O procedimento consistiu-se no enchimento e esvaziamento de água do leito secante, de forma lenta e gradual, com velocidade de elevação e rebaixamento do nível de água não deve superar 2 cm/h, conforme exigido pelo órgão regulador (CORSAN, 2011). No entanto, a velocidade de enchimento foi superior, por deficiência do equipamento de bombeamento disponível para o ensaio.

O enchimento do leito foi realizado com bomba de recalque a diesel com potência de 64cv, o enchimento foi realizado apenas por um ponto, como demonstrado na Figura 3.

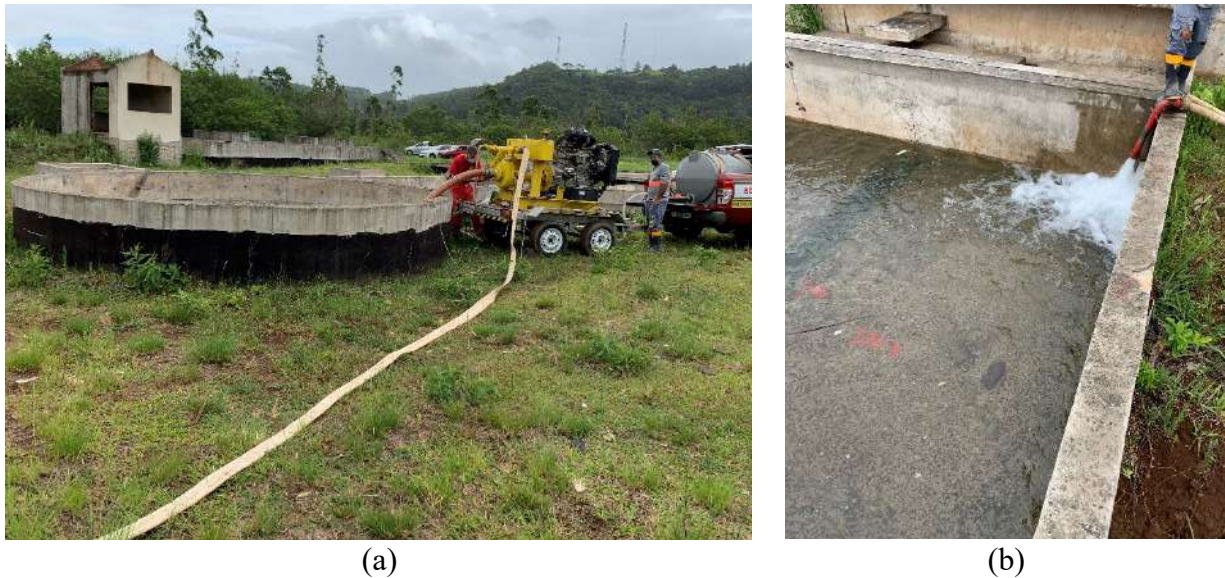


Figura 3. (a) bomba de recalque de água, (b) ponto de enchimento do leito

O nível máximo de água foi mantido para que os pontos com vazamentos fossem demarcados. O órgão regulador recomenda a manutenção do nível de água por 10 dias, no entanto, este período não foi mantido em decorrência da elevada velocidade da perda de estanqueidade do tanque. O comportamento mecânico foi verificado pela variação de deslocamento com auxílio da medição da abertura das fissuras (Figura 4) e eventuais recalques foram acompanhados com medições por equipamento topográfico do tipo estação total.

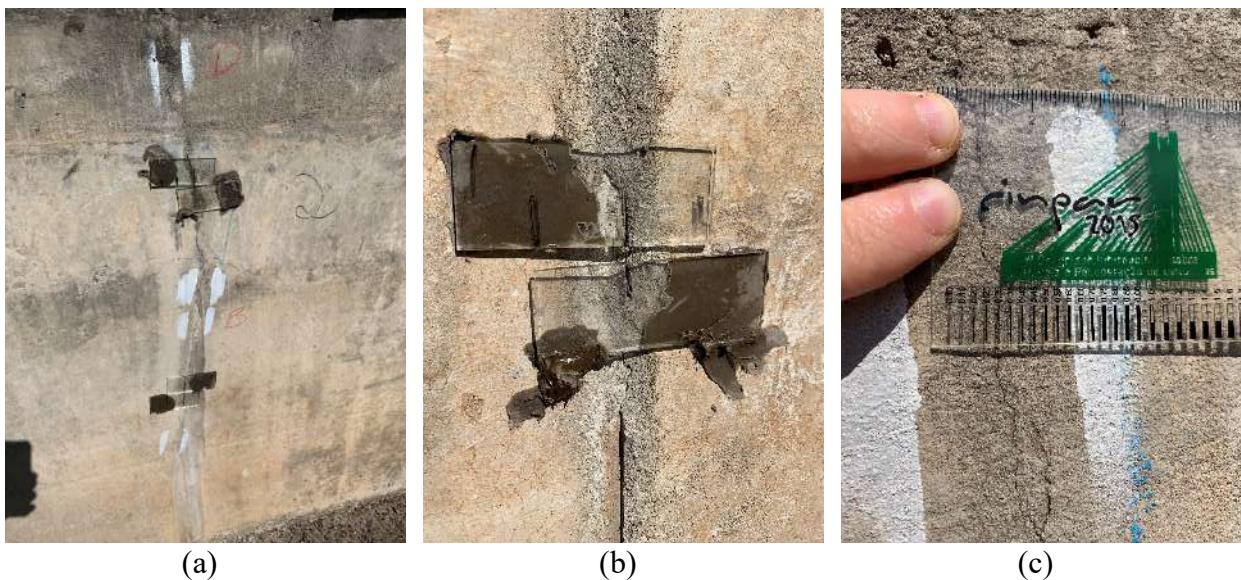


Figura 4. Verificação da movimentação de abertura das fissuras, a) visão geral dos locais analisados, b) placas de vidro, c) fissurômetro.

O leito em estudo foi demarcado com pontos estratégicos, com o intuito de apurar os deslocamentos durante o procedimento de ensaio, a Figura 5a apresenta croqui com os pontos de registro das movimentações da estrutura, enquanto que a Figura 5b e Figura 5c demonstram a baliza de medição do equipamento topográfico.

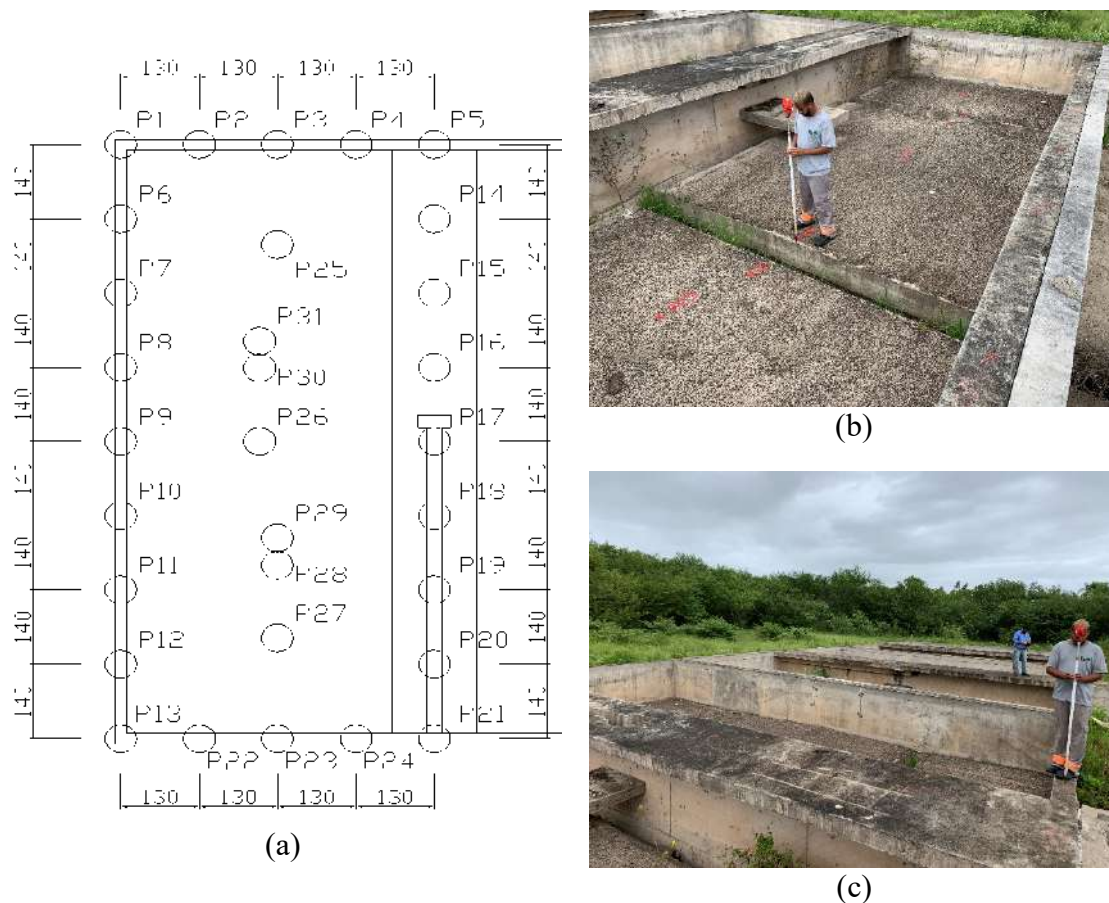


Figura 5. a) locais de medição das deformações do leito, b) e c) baliza de medição do equipamento topográfico

Foram registrados 31 pontos de medição sendo os pontos 1 a 24 nas paredes superiores e os pontos 25 a 31 o fundo do leito de secagem. As medições ocorrem antes do enchimento, sendo o tempo zero (t_0), após o período de enchimento (t_1) e última medição, 5 dias do término do enchimento (t_f) do leito de secagem com água.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos no decorrer do procedimento técnico de verificação das manifestações patológicas no leito de secagem da estação de tratamento de esgoto executada em concreto armado, estão expressos nos tópicos subsequentes.

3.1 Manifestações patológicas observadas

Foram observadas manifestações patológicas de fissuras nas paredes de maior lado, parede 3 e 4, conforme representadas na Figura 6b. Nas paredes de menor lado não foram observadas fissuras. As formações das fissuras visualizadas são verticais e compreendem toda a espessura e altura da parede, estão regularmente espaçadas entre si, como demonstrado na Figura 6b.

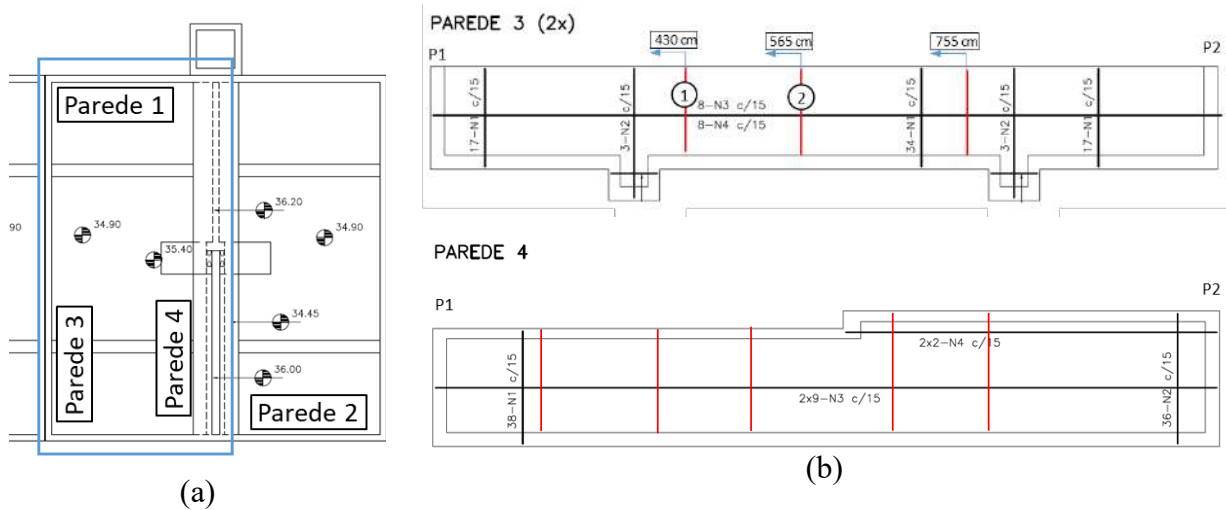


Figura 6. a) Representação dos locais analisados no leito de secagem, b) locais nas paredes com fissuras

As fissuras 1 e 2 manifestadas na parede 3 são demonstradas na Figura 7, respectivamente, sendo possível observar que as mesmas percorrem toda a altura da parede.

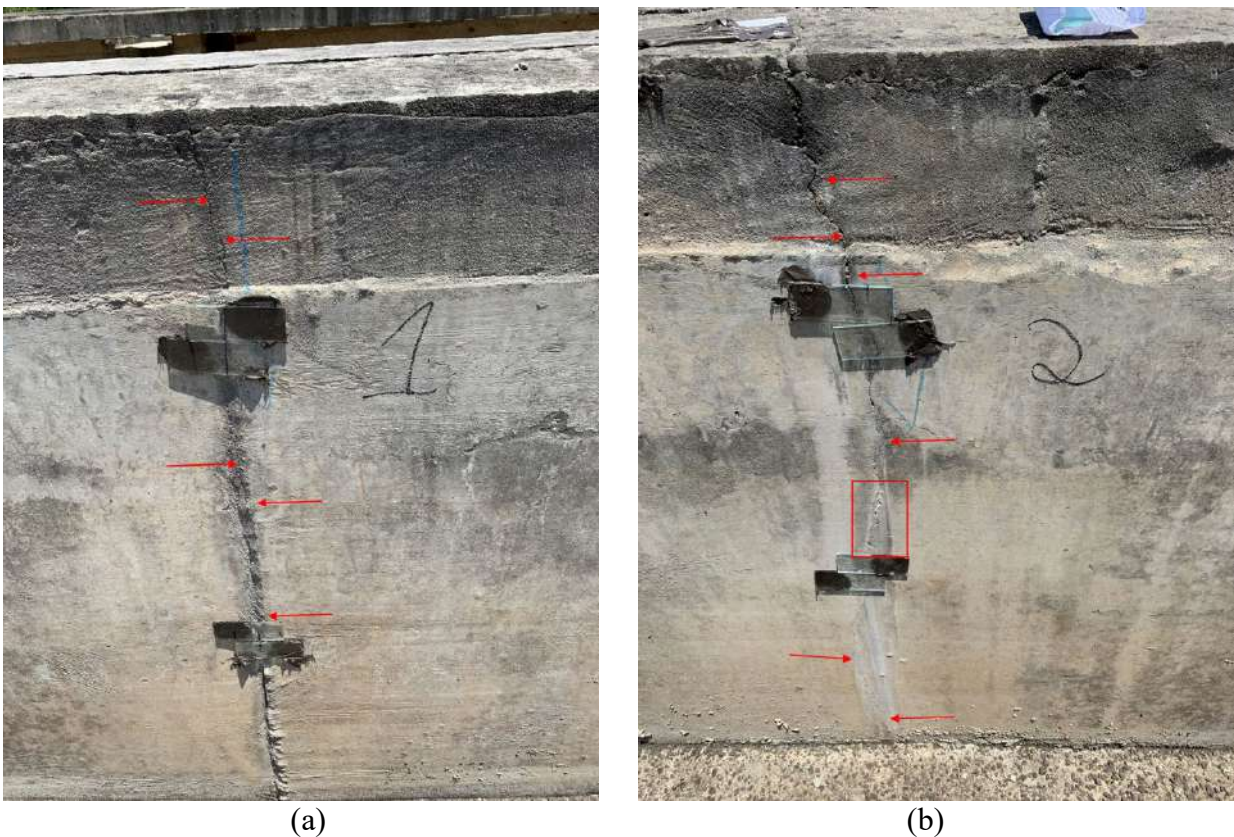


Figura 7. (a) Fissuras 1 e (b) 2 verticais na parede 3

A abertura das fissuras foram registradas ao longo de todo o comprimento e os resultados das aberturas das fissuras 1 e 2, são organizados na Tabela 1. A Figura 8 demonstra a medição da abertura da fissura na borda superior e na região central com régua graduada do tipo fissurômetro.

Tabela 1. Abertura das fissuras 1 e 2 ao longo do comprimento na parede 3, unidade em mm

	Fissura 1	Fissura 2
Borda superior (livre)	0,35	0,5
Região central	0,45	0,45
Borda inferior	0,3	0,3



Borda superior



Região central

Figura 8. Determinação da abertura da fissura

Ao observar os resultados da medição da abertura das fissuras, foi possível destacar que, de modo geral, as fissuras apresentaram maior abertura nas regiões próximas a borda superior e à medida que a fissura percorre a parede no sentido do piso, a abertura da fissura diminui.

Na fissura 2, em região próxima à borda superior da parede, possui abertura aproximada de 0,50 mm e em região central da parede, a fissura possui abertura aproximada de 0,45 mm. Indicando com isto, que a fissura possui menor abertura nas regiões próximas a base da parede, constatação também mencionada por Cánovas (1988), a qual caracteriza o diagnóstico de fissuras por retração plástica com impedimento.

Na Figura 8, como destacado pelo retângulo vermelho, em um determinado ponto da fissura, foi observado deposição de cristais na cor branca na borda da fissura próxima a região central da parede, a manifestação patológica foi caracterizada como lixiviação, pelo acúmulo de sais solúveis formados pelo transporte do carbonato de cálcio pela infiltração de água pela fissura.

Além das fissuras, foram observadas na parede 4, em regiões próximas a base da parede, segregação das partes constituintes do concreto, como demonstra a Figura 9.



Figura 9. Segregação das partes constituintes do concreto

Nos locais destacadas pelos retângulos vermelhos, são indicadas as regiões da parede com segregação do concreto. Esta manifestação patológica foi originada pelo processo deficiente de adensamento do concreto no instante da concretagem da parede, gerando ninhos de concretagem. Após levantamento das manifestações patológicas no leito de secagem em estudo, o teste de estanqueidade foi realizado.

3.2 Teste de estanqueidade

O teste de estanqueidade foi finalizado com nível máximo de água em 60 cm, como demonstrado na Figura 10, por motivos de paralisação do equipamento de recalque.



Figura 10. Nível máximo do enchimento do tanque

O nível de 60 cm foi adotado como nível máximo de ensaio, este nível foi mantido até o esvaziamento, por completo, do tanque. Importante destacar que em decorrência do acesso limitado à equipamentos de recalque, que a manutenção do nível de água não foi mantida, tampouco o procedimento de esvaziamento, que não pode ser desenvolvido.

Durante e após o término do enchimento do leito, foram realizadas inspeções em todos os pontos visíveis do leito de secagem, com o intuito de identificar possíveis vazamentos.

Junto a parede 4, foram observados pontos de vazamentos, alguns destes são demonstrados na Figura 11.



Vazamento na segregação do concreto



Vazamento de água pela fissura

Figura 11. Locais com vazamento na parede 4 durante o teste de estanqueidade

Os pontos de vazamentos ocorreram pelas fissuras e nos locais com ocorrência de segregação do concreto.

Importante destacar que, como o nível de água não superou a altura de 60cm e como as fissuras possui formação em toda a altura da parede, o vazamento de água se manteve apenas na parte inferior da fissura, compreendida na região de pressão da água.

Nas regiões de encontro da parede 4 com as paredes 1 e 2 também foram observados pontos de vazamento, os quais são apresentados na Figura 12.



Encontro da parede 4 com a parede 2



Encontro da parede 4 com a parede 1

Figura 12. Locais com vazamento na parede 4 na junta de concretagem

Nos locais de encontro da parede 4 com as paredes 1 e 2, foram registrados vazamento de água, estas regiões são caracterizadas em projeto como junta de concretagem, conforme processo executivo, a parede 4 foi executada posterior às paredes 1 e 2.

Ao longo do período em que a água permaneceu no reservatório, não foram observados sinais de vazamentos de água nos locais sem ocorrências de manifestações patológicas.

Depois do esvaziamento do tanque, após 6 dias do enchimento, foi realizada nova vistoria, no qual não foram visualizadas surgimento de novas manifestações patológicas, tampouco aumento na abertura das fissuras.

Os resultados dos deslocamentos, determinados pelo equipamento topográfico, durante o teste de estanqueidade são apresentados na Figura 13.

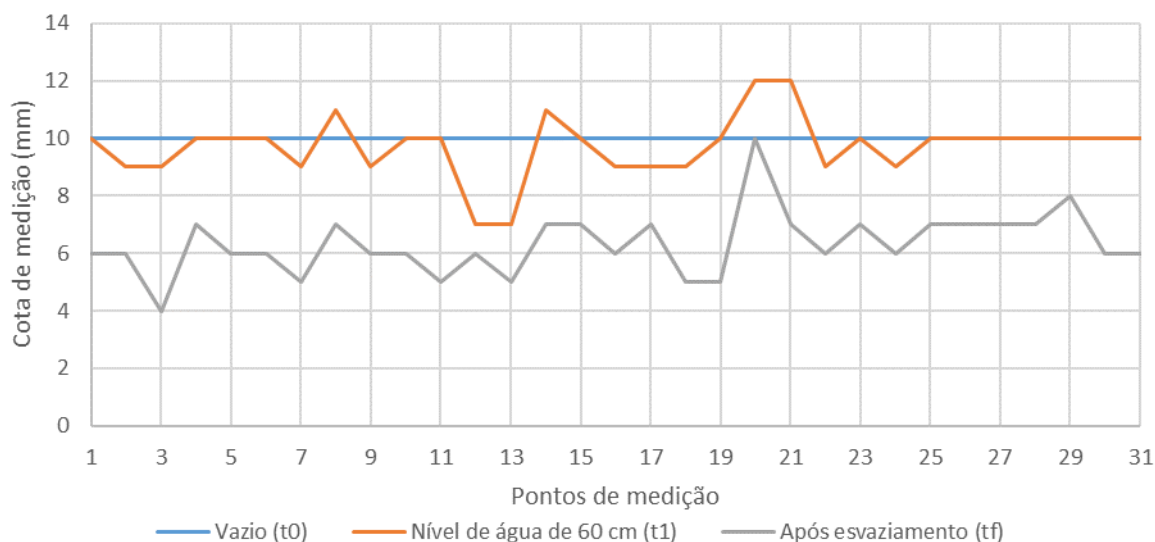


Figura 13. Resultados das medições do deslocamento

Os resultados das medições demonstram que o processo enchimento até o nível de 60cm de água não motivou deslocamento na estrutura. No entanto, após o total esvaziamento, os resultados das medições indicaram movimentação média de 4mm negativos, que satisfaz o movimento de recalque. Entretanto, por não terem sido observados alterações na abertura das fissuras, entende-se que as alterações nos resultados do deslocamento, tenham sido geradas pela dificuldade na precisão das medições.

De modo geral, foi possível indicar que o teste de estanqueidade realizado de modo adaptado, não foi capaz de desenvolver alterações ou deslocamentos no elemento em estudo.

4. CONCLUSÕES

Como as fissuras estão concentradas nas paredes do leito de secagem, com configuração vertical e espaçadas regularmente são de maior abertura junto a borda superior da parede e à medida que a fissura se aproxima da base a abertura diminui ao ponto de até desaparecer, entende-se que as fissuras foram originadas por retração impedida do concreto, pois a laje de piso do leito de secagem exerceu restrição de movimento na parede.

Após o teste de estanqueidade, foi possível confirmar que as manifestações patológicas de fissuras, por possuírem abertura superior ao estabelecido pelas normativas, não são capazes de manter a estanqueidade do tanque. Além do mais, os pontos com segregação do concreto, bem como as juntas de concretagem, também foram passíveis de escoamento de água, desenvolvendo com isto, prejuízos na estanqueidade do leito secante. Por consequência, as manifestações patológicas possuem carácter funcional.

Por fim foi possível indicar que o teste de estanqueidade, mesmo realizado de modo adaptado, determinou o desempenho à estanqueidade do objeto de estudo e não desenvolveu alterações ou deslocamentos no elemento em estudo.

Além do mais, o teste de estanqueidade demonstrou que a estrutura apresenta deficiências na função de estanqueidade, apenas nos locais com manifestações patológicas, o que remete à necessidade do tratamento das fissuras, além dos pontos com segregação do concreto e na junta de concretagem, para que a função de estanqueidade do tanque seja garantida.

5. REFERENCIAS

- Fédération internationale du béton (fib): Model Code 2010, final draft. fib Bulletin Nos. 65/66, Lausanne, 2013.
- European Committee for Standardization (CEN): PN-EN 1992-3: Design of concrete structures - Part 3: Liquid retaining and containment structures, Eurocode 2, Brussels, 2006.
- ZYCH, Mariusz. Modification of the simplified method of crack control included in EN 1992-3. **Structural Concrete**, v. 17, n. 4, p. 553-563, 2016.
- Stoffers, H. Cracking due to shrinkage and temperature variation in walls, *3rd ed., Delft University of Technology & I.B.B.C.*, 23 (3), p. 68, Delft, 1978.
- Seruga, A., Zych, M.: Thermal Cracking of the Cylindrical Tank under Construction. I: Case Study. *ASCE Journal of Performance Construction Facilities*, 29 (4), pp. 04014100-1-04014100-9, 2015.
- OLLIVIER, J.; VICHOT, Angélique. Durabilidade do concreto—Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. 1th. **Brazil: IBRACON**, 2014.
- CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patología e terapia do concreto armado**. Pini, 1988.
- COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. CORSAN. Manual de elaboração de projetos e construção de Estação de Tratamento de Esgoto. 2011.
- THOMAZ, Eduardo. **Fissuração em reservatórios**, Revista IBRACON, São Paulo, n° 4, p.19-23, agosto 2007.

Avaliação da degradação de fachadas: Estudo de caso em duas edificações no Bairro do DORON – Salvador/BA

P.C. NUNES, ¹; P.V.G. FREITAS ^{2*}; A. R. A. OMORE³, M. A. MACHADO³; V. A. COELHO⁴;
F. G.S. SILVA⁵

*Autor de Contato: priscilav@fieb.org.br

¹ Pós-Graduanda em Engenharia de Avaliações e Perícias, UNIJORGE, Salvador, Brasil

² Área de construção civil, SENAI CIMATEC, Salvador, Brasil

³ Graduado(a) em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁴ PPEC, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁵ Departamento de Construção e Estruturas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

O trabalho pretendeu avaliar a degradação das fachadas do bairro popular Doron – Salvador/BA. Dentre os edifícios multifamiliares que compõe o território estudado, foram selecionados dois, nos quais recaiu um estudo mais detalhado, onde, para além de identificar as anomalias existentes, procurou-se definir as possíveis causas, a fim de determinar as melhores manutenções, preservando a funcionalidade e a estética das fachadas. As principais anomalias encontradas foram descoloração, manchas, fissurações, fungos, destacamento da pintura e eflorescência, originadas pela falta de qualidade no projeto e dos materiais, aliados a uma inexistente manutenção preventiva e reparativa, o que contribui para a sua degradação.

Palavras-chave: Fachadas; Degradação; Recuperação

Evaluation of façade degradation: Case study in two buildings in the neighborhood of DORON – Salvador/BA

ABSTRACT

The work aimed to evaluate the facade degradation of the popular neighborhood Doron at Salvador / BA. Among the multifamily buildings that make up the studied territory, two were selected, which included a more detailed study, where, in addition to identifying the existing anomalies, possible causes were defined, in order to determine the best maintenance, preserving the functionality and aesthetics of the facades. The main anomalies found were discoloration, stains, cracking, fungus, painting detachment and efflorescence, caused by the lack of quality in the design and materials, coupled with a absence of preventive and reparative maintenance, which contributes to its degradation.

Keywords: Facades; Degradation; Restoration.

Evaluación de la degradación de fachadas: estudio de caso en dos edificios en Bairro do DORON - Salvador / BA

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la degradación de las fachadas del popular barrio Doron - Salvador / BA. Entre las edificaciones multifamiliares que componen el territorio estudiado, se seleccionaron dos, en las que se realizó un estudio más detallado, donde, además de identificar las anomalías existentes, se buscó definir las posibles causas con el fin de determinar el mejor mantenimiento, preservando la funcionalidad y estética de las fachadas. Las principales anomalías encontradas fueron decoloración, manchas, grietas, hongos, desprendimiento de pintura y eflorescencias, provocadas por la falta de calidad en el diseño y materiales, combinado con un inexistente mantenimiento preventivo y reparador, lo que contribuye a su degradación.

Palabras clave: Fachadas; Degradación; Recuperación.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional cada vez maior, o crescimento habitacional também ocorre proporcionalmente e de maneiras desordenadas devido aos diferentes perfis e realidades das famílias. Com isso, se percebe a importância da construção das cidades e em como atender essa demanda. Com o crescimento desordenado, alguns problemas ocorrem, como é o caso da carência da habitação de baixo custo. Para as pessoas, os conjuntos habitacionais têm sido um meio de adquirir moradia própria.

Na grande maioria, os conjuntos, por possuírem objetivos econômicos de baixos custos - para construção e totalização de seus imóveis, são planejados com composições bastante simplificadas, tanto de sua arquitetura, contempladas por suas formas com altura baixa, como pela composição de materiais utilizados. Essa redução, é uma das causas, aliado à falta de manutenção da construção, para o surgimento de patologias de construção nos conjuntos habitacionais. Essas patologias são facilmente vistas e detectadas nas fachadas desses edifícios.

No entanto, esse cenário tem mudado bastante, devido à exigibilidade da NBR 15575 (ABNT, 2013), conhecida como norma de desempenho, e hoje visa, principalmente, as exigências dos usuários, com base nas condições de habitabilidade das edificações e na sua vida útil, que está relacionada com a manutenção.

A NBR 13755 (ABNT, 2017), define revestimento das fachadas como elemento funcional com papel de proteger a edificação da ação da chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação conjunta do vento e partículas sólidas (exigências associadas a durabilidade do elemento), bem como de acabamento final, complemento das vedações e dar acabamento estético. Sabe-se que o revestimento externo da edificação é um dos sistemas mais exigidos, justamente por estar ligado diretamente a agressividade do meio ambiente e por propriedades físico-químicas dos seus diferentes materiais constituintes. Para manter a capacidade funcional durante a vida útil prevista em projeto, sem os sinais de desgaste do edifício, devem se realizar as intervenções periódicas de manutenção e conservação (BAUER et al, 2011).

ANTUNES (2010) indica como principais causas a omissão de elementos construtivos importantes, várias etapas executadas inadequadamente, não seguimento das especificações de projetos, uso inadequado dos materiais e a ausência de manutenção. E com a incidência de problemas patológicos sobre as fachadas, o desempenho das mesmas vem sendo alterado, e suas funções básicas como valorização estética e econômica do edifício, melhoria de estanqueidade da vedação, regularização e acabamento final da fachada são comprometidas.

Portanto, é essencial o levantamento dos danos, detecção das causas prováveis, e realização de diagnósticos mais rigorosos para sistema de revestimento de fachadas danificados. Os diagnósticos, muitas vezes, são realizados e não compreendidos, seja pela subjetividade ou por falta de capacidade técnica do solicitante, conseqüentemente são indicadas soluções de reparo inadequado ao tipo de dano identificado. E com isso, a patologia não é resolvida e só gera mais gastos.

2. OBJETIVOS

O conhecimento e a identificação das patologias em fachadas é necessária, pois, permite promover meios de prevenção e verificar o risco desta para os seus usuários, subsidiando intervenções de forma mais assertiva, pois, segundo Guimarães (2009) os edifícios antigos que chegaram aos dias de hoje preservando a sua autenticidade são aqueles que tiveram uma manutenção periódica limitada ao que era necessário ser executado, com materiais e técnicas tradicionais originais ou compatíveis da referida época. Logo, o estudo das manifestações patológicas, assim como suas

causas, efeitos e consequências em qualquer que seja a edificação, é essencial, pois estas edificações podem causar algum dano maior para os seus usuários.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo fazer uma avaliação das manifestações patológicas das fachadas de duas edificações em um conjunto habitacional na cidade de Salvador, capital baiana.

3. METODOLOGIA

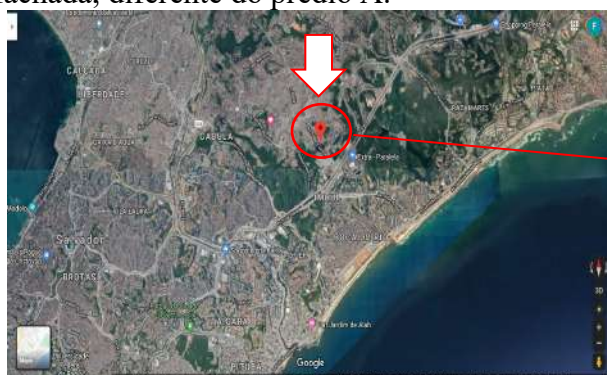
Este trabalho apresenta dados referentes às manifestações patológicas detectadas em dois edifícios, localizados no bairro Doron na cidade de Salvador/BA. Os edifícios apresentam revestimento em argamassa com acabamentos em pintura. A inspeção dos edifícios (A e B) foi de caráter estritamente visual.

A análise das inconformidades presentes nas fachadas se deu através de visitas ao local, mapeamento fotográfico, análise in loco, identificação e classificação das manifestações patológicas e busca por informações que auxiliasse no diagnóstico dos danos.

3.1. Caracterização tipológica das edificações

O bairro Doron foi construído nos anos 80 e é composto por 160 edifícios de 4 pavimentos e 8 apartamentos. Antigamente era considerado um conjunto habitacional, mas com o desenvolvimento econômico do comércio, se tornou um dos bairros da cidade Salvador. A Figura 1 apresenta uma vista geral do bairro.

O objeto de estudo são as edificações identificadas como A e B, como mostra a Figura 1. Elas foram construídas na mesma época, mas a edificação B já passou por algumas manutenções na fachada, diferente do prédio A.



Fonte: GoogleMaps (2019)



Fonte: Geopolis – CONDER (2019)

Figura 1 - Vista Geral do bairro Doron

3.2. Orientação das fachadas

Os edifícios A e B apresentam as fachadas orientadas no mesmo sentido, sendo a frontal sudoeste e a posterior nordeste, sendo apresentadas nas Figuras 2 a 5.



Figura 2 - Edifício A, fachada frontal



Figura 3 - Edifício A, fachada posterior



Figura 4 - Edifício B, fachada frontal



Figura 5 - Edifício B, fachada posterior

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As ações externas as quais as edificações estão submetidas como a temperatura, radiação solar, vento, umidade modificam as propriedades dos materiais constituintes das fachadas. Afetando diretamente a maneira como se dá a absorção de água e capilaridade pelas vedações e como esses componentes reagem à variação de temperatura (LIMA et al., 2014).

4.1. Descoloração

Como pode-se observar nas Figuras 6 a 9, as fachadas apresentam descoloração do revestimento, caracterizada pela perda parcial de cor de uma película da pintura. Essa patologia tem algumas causas como o processo natural de envelhecimento, ação contínua de agentes climáticos e o contato com agentes químicos.

Na Figura 6 pode-se observar ainda a presença de umidade na proximidade da cobertura, o que pode ser originado de uma falta de impermeabilização da laje, ou deslocamento de telhas.



Figura 6 - Descoloração na fachada frontal, Edifício A



Figura 7 - Descoloração na fachada posterior, Edifício A



Figura 8 - Descoloração na fachada frontal, Edifício B



Figura 9 - Descoloração na fachada posterior, Edifício B

4.2. Manchas

Em todas as fachadas analisadas, como apresentado nas Figuras 10 a 12, foram encontradas manchas escuras, o qual o principal responsável é a poluição atmosférica, através do recobrimento dos revestimentos por pó, fuligem e partículas contaminantes. Alguns fatores também contribuem para essa patologia que são o vento (dispersa as partículas podendo ocorrer acumular na fachada), a chuva (ao escorrer sobre a fachada pode acumular nos depósitos), a porosidade do material de revestimento (a água pode penetrar nos poros) e a forma das fachadas (nas superfícies horizontais a deposição de partículas é maior) (CHAVES, 2009).



Figura 10 - Manchas na fachada frontal,
Edifício A



Figura 11 - Manchas na fachada posterior,
Edifício A



Figura 12 - Manchas na fachada posterior,
Edifício B

4.3. Fissuração

Durante a inspeção as edificações, constatou-se ainda a existência de fissuras generalizadas no revestimento da fachada posterior do Edifício A, como mostram as Figuras 13 e 14. No Edifício B não foram encontradas fissuras. O aparecimento de fissuras afeta a impermeabilização, que, ao permitir o acesso da água e de outros agentes agressivos, reduz a durabilidade do revestimento. Elas podem ser originadas devido à perda de água da argamassa após a aplicação, hidratação tardia de cal magnésiana e expansões de material gráudo, como torrões de argila na variação de umidade ou materiais com dilatação muito diferente, frente às mudanças de temperatura (TELES, 2010). O que também podemos observar nas edificações é a utilização de arenoso no revestimento e, segundo Chaves (2009), a fissuração está intimamente relacionada com excesso do teor de finos e com a espessura da camada argamassada.



Figura 13 - Fissuras na fachada frontal,
Edifício A



Figura 14 - Fissuras na fachada posterior,
Edifício A

4.4. Desenvolvimento de fungos

De modo geral, constatou-se desenvolvimento de fungos em ambas as edificações (Figuras 15 a 18). Para o aparecimento de fungos é necessário a exposição de condições favoráveis, como umidade e temperatura elevada, ausência de radiação solar e ventilação e o revestimento ser de cor clara, com baixo teor de fungicidas.



Figura 15 - Agentes biológicos, fachada
frontal Edifício A



Figura 16 - Agentes biológicos, fachada
posterior, Edifício A



Figura 17 - Agentes biológicos, fachada frontal Edifício B

Figura 18 - Agentes biológicos, fachada posterior, Edifício B

4.5. Destacamento da pintura

As Figuras 19 e 20 mostram o destacamento da pintura nas fachadas posterior das edificações, ou seja, as fachadas nascentes que estão expostas constantemente as intempéries. Os raios ultravioletas são prejudiciais aos pigmentos das tintas e, quando combinados com altas temperaturas causam a rápida degradação da película sintética pela perda de elasticidade e enfraquecimento do filme. Consequentemente acontece, também, dilatação diferencial entre as camadas sobrepostas, expostas ao calor. Com o passar do tempo formam-se fissuras capilares com a migração de agentes degradantes do meio para o interior do suporte (BEZERRA, 2010).



Figura 19 - Destacamento da pintura, Edifício A



Figura 20 - Destacamento da pintura, Edifício B

4.6. Eflorescências

A eflorescência é caracterizada pelo aparecimento de depósitos cristalinos/salinos no revestimento. Para que ocorra a formação, Bauer (1997) e Uemoto (1988) afirmam ser necessária a existência simultânea de sais solúveis, água e pressão hidrostática. Nos revestimentos de fachadas, das diversas origens, os sais solúveis podem ser provenientes do rejuntamento da cerâmica. Já a água pode ser originária da fase de execução das diversas camadas do revestimento, da infiltração da água de chuva pelas fissuras, pela condensação de vapor da atmosfera dentro das paredes (SABBATINI; BARROS, 1990).

As eflorescências são, portanto, cristalizações de sais solúveis que se dão à superfície de meios porosos e podemos observá-la na Figura 21 do estudo. Na mesma figura, percebe-se a presença de vegetação o que indica a presença de umidade, que é um dos principais fatores de degradação dos elementos construtivos.



Figura 21 - Manchas na fachada posterior, Edifício B

5. CONCLUSÕES

A longo da sua vida útil, todos os edifícios sofrem alterações dimensionais, deslocamentos e variações de volume, que conseqüentemente dão origem a tensões, que provêm sobretudo de fenômenos de variação de temperatura e umidade e que refletem no desempenho dos revestimentos exteriores. Neste trabalho, foram descritas as condições atuais de duas edificações no bairro Doron, Salvador-BA. Com a metodologia utilizada foi possível realizar a identificação dos danos e prováveis causas, com o objetivo de ter um diagnóstico que possibilite a determinação das medidas de manutenção corretiva e preventiva, e desta forma, impedir que as patologias se agravem ou até mesmo provoquem outras.

Tais medidas são necessárias, principalmente à edificação A, frente ao estado avançado de degradação das fachadas, ela ainda apresenta suas características originais, necessitando de manutenção e correção das patologias o mais breve possível.

Já o edifício B apresenta melhor estado de conservação, pois passou por algumas manutenções corretivas durante o tempo. Entretanto, ainda necessita de manutenção corretiva com soluções adequadas das patologias encontradas, feito por um profissional capacitado.

De acordo com o estudo realizado foi possível verificar que devido ao uso inadequado de materiais na fachada, aliado a falta de manutenção preventiva e corretiva proporcionaram o alto índice de danos nas fachadas sudoeste e nordeste. Cabe ainda destacar que os detalhes construtivos quando não considerados podem comprometer a edificação com manifestações de danos, como foi constatado a deficiência no sistema de impermeabilização das lajes e do reservatório superior.

É importante ressaltar que, tendo em consideração a idade da edificação, seria de se esperar o aparecimento de diversas patologias, principalmente ocasionadas pelos agentes externos como a umidade, o aparecimento de fissuras e o destacamento da argamassa. Desta forma, é importante estudos com o intuito de utilizar técnicas e materiais que permitam manter o desempenho esperado ao longo de toda a sua vida útil das edificações.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR 15575-4: *Edifícios habitacionais - Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE*. Rio de Janeiro.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR 13755: *Revestimentos de paredes externas e fachadas em com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ANTUNES, G. R.(2010). Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília-sistematização da incidência de casos. *Dissertação*. Universidade de Brasília, Brasília: DF (BRASIL), p. 199.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K. ANTUNES, G. R. (2011), “*Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico*” in: IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- BAUER, R.J.F (1997). “*Patologia em revestimento de argamassa inorgânica*”. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, UFRGS, Anais., Porto Alegre (BRASIL), pp. 389-96.
- BEZERRA,F.A (2010). “As cores das Fachadas de Edificações Históricas Pintadas a Cal”. *Dissertação*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: SC (BRASIL), p. 139.
- CHAVES, A. M. V. A. (2009). “Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas”. *Dissertação*. Universidade do Minho: Escola de Engenharia, Braga (PORTUGAL), pp.176.
- GUIMARÃES, J.P (2009). “Técnicas Tradicionais de Construção, Anomalias e Técnicas de Intervenção em Fachadas e Coberturas de Edifícios Antigos”. *Dissertação*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal.
- LIMA, G. E. S. L; SOUZA, K.D; T, A. C. G. (2014). “*Investigação e Diagnóstico de Patologias Relacionadas às Fachadas de uma Edificação*” In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Alagoas, Maceió, BRASIL.
- SABBATINI, F.H.; BARROS, M.M.S.B. (1990). “Recomendações para a produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria”. *Relatório Técnico R6-06/90*, Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Teles, C. D. M (2010). “Inspeção de fachadas históricas. levantamento de materiais e danos de argamassas”. *Tese de Doutorado*. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- UEMOTO, K. L. (1988). “*Patologia: Danos causados por eflorescência*” In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: SP (BRASIL), pp.561-64.

Avaliação da penetração de cloretos em concretos imersos em água do mar por meio da aspersão de nitrato de prata

J. V. Tito^{1*}, F. G. S. Silva²

*Autor de Contato: joaovictortito@hotmail.com

¹ Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

² Departamento de Construção e Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a profundidade da frente de penetração de cloretos em concreto de cimento Portland com diferentes relações água/cimento. Para tanto, foi utilizado o método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata, desta forma, foram confeccionados em laboratório e de acordo com as normas, corpos de prova e posteriormente esses corpos de prova foram curados ao ar e então imersos em água do mar, num recipiente dentro do laboratório. Os resultados foram uma frente de cloretos menor no concreto com menor relação água/cimento. Conclui-se, que quanto menor a relação água/cimento menor a profundidade de penetração de cloretos em função do tempo, resultados esperados, visto que, a relação água/cimento influencia diretamente a microestrutura do concreto.

Palavras-chave: cloretos; concreto; método colorimétrico; água do mar; corrosão.

Evaluation of chloride penetration in concrete immersed in seawater through silver nitrate spray

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the depth of the penetration front of chlorides in Portland cement concrete with different water/cement ratios. For this purpose, the colorimetric method by spraying silver nitrate was used, thus, they were made in the laboratory and according to the standards, specimens and later these specimens were air-cured and then immersed in sea water, in a container inside the laboratory. The results were a lower chloride front in concrete with a lower water/cement ratio. It is concluded that the lower the water/cement ratio, the lower the penetration depth of chlorides as a function of time, expected results, since the water/cement ratio directly influences the microstructure of concrete.

Keywords: chlorides; concrete; colorimetric method; seawater; corrosion.

Evaluación de la penetración de cloruros en hormigón sumergido en agua de mar mediante pulverización de nitrato de plata

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la profundidad del frente de penetración de cloruros en hormigón de cemento Portland con diferentes relaciones agua/cemento. Para ello se utilizó el método colorimétrico mediante aspersión de nitrato de plata, por lo que se elaboraron en el laboratorio y del acuerdo a los estándares, las probetas y posteriormente estas probetas se curaron al aire y luego se sumergieron en agua de mar, en un recipiente dentro del laboratorio. Los resultados fueron un frente de cloruro más bajo en el concreto con una relación agua/cemento más baja. Se concluye que cuanto menor es la relación agua/cemento, menor es la profundidad de penetración de los cloruros en función del tiempo, resultados esperados, ya que la relación agua/cemento influye directamente en la microestructura del hormigón.

Palabras clave: cloruros; hormigón; método colorimétrico; agua de mar; corrosión.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais largamente utilizado na engenharia devido a sua resistência à água, a facilidade de execução de elementos estruturais, em variadas formas e tamanhos, por fim a enorme disponibilidade dos materiais e seu baixo custo. (Mehta e Monteiro, 1994)

Porém, o concreto é falível e em condições de uso frequentemente tornam as armaduras vulneráveis aos processos corrosivos, pela permissão à sua despassivação. (Cascudo e Helene, 2001)

A degradação de estruturas de concreto devido ao problema da corrosão é algo que afeta a construção civil em todo o mundo, com repercussões em função do volume de casos registrados, da precocidade com que ocorrem, bem como do montante de recursos envolvidos. (Meira, 2017)

O ataque por cloretos é diferente, devido ao fato de que o ponto de ação principal é a corrosão da armadura, e é somente em consequência da corrosão que o concreto circundante é danificado. (Neville, 2016)

A corrosão de armaduras induzida por cloretos, por sua vez, representa uma das manifestações patológicas mais severas que acometem estruturas de concreto armado. Pois, a ação extremamente

deletéria dos cloretos, que vai desde a despassivação da armadura até a participação plena no processo corrosivo. (Cascudo, 1997)

A relação água/cimento (a/c) determina a microestrutura das pastas, argamassas e concretos de cimento Portland. A quantidade, forma e distribuição dos poros capilares que em última instância representam o caminho de transporte do ânion cloreto, são decorrentes da relação a/c, da idade e da cura, ou seja, do grau de hidratação dos grãos de cimento. (Helene, 1993)

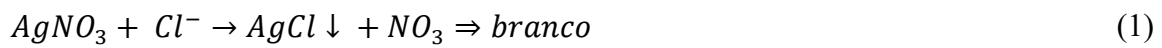
Dada a influência da relação a/c quanto à penetração de cloretos em concretos de cimento Portland, o presente trabalho busca avaliar essa influência, através do método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata em corpos de prova imersos em água do mar.

O método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata, se trata de um método qualitativo, vez que não será possível a quantificação de íons cloreto e a conseguinte determinação do teor de cloretos. Pois, baseia-se na aplicação de indicador químico, em que na presença de cloretos, apresenta mudança de cor. (França, 2011)

Este método teve início na Itália, em 1970, foi desenvolvido pelo Dr. Mario Collepari. (França, 2011)

O método chegou a ser normalizado na Itália. A UNI 7928:1978 “*Determinazione della penetrabilità dello ione cloruro*”, normalizou-o, porém, pela incerteza dos resultados apresentados, foi cancelada sem substituição até o presente momento. (Colombo, 2001 apud França, 2011)

Quando aspergida a solução de nitrato de prata na superfície do concreto, ocorre uma reação fotoquímica. Então, onde há presença de cloretos livres forma-se um precipitado branco de cloreto de prata (1). Nas áreas onde não há cloretos ou que apresentam cloretos combinados, ocorre a formação de um precipitado marrom, que é o óxido de prata. (Silva, 2006; Real et al., 2015)



Como as cores branco e marrom são bem contrastantes, é possível distinguir com facilidade as áreas com e sem cloretos livres. Porém, a frente de penetração não é uniforme, sendo necessária a realização de várias medidas ao longo da estrutura ou corpo de prova.

A NT BUILD 492 (1999) recomenda realizar sete medidas a cada 10 mm devido a não uniformidade da frente de cloretos, sendo o resultado a média entre todas as medidas. No caso de impossibilidade de leitura de alguma das medidas pela presença de agregados, deve-se alterar o ponto de medição ou ignorar esta profundidade se houver outras cinco válidas, de modo a evitar erros grosseiros na leitura da frente de penetração alcançada pelos cloretos. Para evitar o efeito parede, deve-se evitar fazer medidas de profundidade a menos de 10 mm das bordas.

Ainda é preciso levar em conta que na superfície analisada do concreto, se houver presença de carbonatos também haverá a formação de um precipitado branco, carbonato de prata (2), podendo levar os resultados do método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata a acusar falso positivo para a presença de cloretos livres. (Medeiros et al., 2018)



Logo, é necessário verificar se há carbonatação para garantir a validade dos resultados obtidos. De modo que, a aplicação do método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata apresente resultados consistentes, a fim de determinar a profundidade da frente de penetração de cloretos em concretos de cimento Portland com diferentes relações a/c.

2. PROCEDIMIENTO

A metodologia utilizada para avaliar a profundidade da frente de penetração de cloretos no concreto foi a aplicação do método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata em concretos com diferentes relações água/cimento.

Para cumprir tal objetivo, foram confeccionados 18 corpos de prova cilíndricos de concretos, com dimensões 10 x 20 cm, para cada relação a/c escolhida. As relações a/c adotadas foram 0,65 e 0,45, presentes na NBR 6118 (ABNT, 2014) como relações a/c máximas para as classes de agressividade ambiental I e IV, respectivamente.

Portanto, foram moldados 36 corpos de prova (CP's). Cada traço teve os 18 CP's analisados da seguinte forma:

- 6 CP's para ensaiar à compressão axial;
- 6 CP's para avaliar absorção de água;
- 6 CP's para ensaiar à tração por compressão diametral e avaliar frente de cloretos.

Após moldagem dos 36 CP's, os mesmos foram curados ao ar por 28 dias, após este período, 6 CP's de cada concreto foram rompidos a compressão axial. Os 24 CP's restantes foram imersos em água do mar por 60 dias.

Após 60 dias imersos em água do mar, os 24 CP's foram secados em estufa por 3 dias. Desses 24 CP's, 12 CP's foram analisados quanto a absorção de água, os outros 12 CP's foram rompidos à tração por compressão diametral. Após o ensaio de tração por compressão diametral tem-se o CP partido longitudinalmente em duas faces, nessas faces foram aspergidas as soluções para avaliação das frentes de cloretos e de carbonatação, uma solução em cada face.

Os CP's foram nomeados da seguinte forma: 1C1 a 1C6 (Concreto 1) e 2C1 a 2C6 (Concreto 2) foram ensaiados absorção por capilaridade, porém os resultados trazidos serão apenas gráficos; 1C7 a 1C12 (Concreto 1) e 2C7 a 2C12 (Concreto 2) foram aspergidos com as soluções de fenolftaleína e nitrato de prata.

2.1 Materiais

2.1.1 Agregado miúdo

Tabela 1. Caracterização do agregado miúdo.

Caracterização do agregado miúdo	
Granulometria do agregado miúdo	
Peneiras (mm)	Porcentagem retida acumulada
6,3	0
4,75	0
2,36	0
1,18	1
0,6	8
0,3	47
0,15	93
Dimensão máxima característica (mm)	1,18
Módulo de finura	1,49
Massa específica (g/cm³)	2,71
Massa unitária solta (g/cm³)	1,51
Materiais pulverulentos (%)	0,53
Umidade (%)	0,01
Absorção de água (%)	0,26

O agregado miúdo utilizado é proveniente de Camaçari, BA. O agregado foi seco ao ar e armazenado em pilha no laboratório. A areia foi ensaiada seguindo as normas de caracterização e distribuição granulométrica.

2.1.2 Agregado graúdo

Tabela 2. Caracterização do agregado graúdo.

Caracterização do agregado graúdo	
Granulometria do agregado graúdo	
Peneiras (mm)	Porcentagem retida acumulada
19	0
12,5	64
9,5	96
6,3	100
4,75	100
2,36	100
1,18	100
0,6	100
0,3	100
0,15	100
Dimensão máxima característica (mm)	19
Módulo de finura	6,96
Massa específica (g/cm³)	2,79
Massa unitária solta (g/cm³)	1,46
Massa unitária compactada (g/cm³)	1,56
Materiais pulverulentos (%)	0,51
Absorção de água (%)	0,32

O agregado graúdo utilizado é proveniente de Salvador, BA. O agregado foi armazenado em pilha no laboratório. A brita foi ensaiada seguindo as normas de caracterização e distribuição granulométrica.

2.1.3 Cimento

O cimento utilizado foi o Cimento Portland composto com fíler, CPII-F-32.

2.1.4 Água de amassamento

A água de amassamento foi da rede de abastecimento comum, fornecida pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA).

2.1.5 Água do mar

A água do mar utilizada foi coletada na praia de Jardim de Alah, Salvador, Bahia.

2.1.6 Soluções aspergidas

Para a avaliação da frente de cloretos foi utilizada uma solução de nitrato de prata a 0,1 mol/l, como indica NT BUILD 492 (1999). Para a determinação da frente de penetração de cloretos, foram tomadas 7 medidas de cada lado de 20 cm de uma face fraturada de um CP, portanto foram tomadas 14 medidas de cada CP.

Para a avaliação da frente de carbonatação foi utilizada uma solução de fenolftaleína a 1%, como indica a RILEM CPC – 18 (1988). Para a determinação da frente de carbonatação, foram tomadas 3 medidas de cada lado de uma face fraturada de um CP, portanto foram tomadas 12 medidas para cada CP.

As frentes foram medidas com um paquímetro, desprezando 3 cm de cada extremo, evitando assim o efeito parede.

2.2 Dosagem e produção dos concretos

O método de dosagem utilizado foi o ABCP/ACI, método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) adaptado do American Concrete Institute (ACI).

Para a dosagem foi fixado um valor de abatimento de 100 a 120 mm para ambos os concretos. Os concretos com relação a/c de 0,65 e 0,45 foram denominados de Concreto 1 e Concreto 2, respectivamente.

Os corpos de prova confeccionados foram curados ao ar em ambiente de laboratório, protegido de intempéries, porém em área ventilada e não climatizada.

A confecção e moldagem e dos corpos de prova, bem como a realização do Slump test seguiram os procedimentos normativos.

Segue a Tabela 3, com o traço, este em cimento:areia:brita:água, e a resistência média à compressão dos concretos produzidos.

Tabela 3. Caracterização dos concretos.

Concretos produzidos			
Concreto	Traço	Abatimento (mm)	Resistência (MPa)
Concreto 1 (a/c = 0,65)	1:2,28:3,57:0,65	130	16,03
Concreto 2 (a/c = 0,45)	1:1,32:2,47:0,45	110	25,12

2.3 Imersão em água do mar

Na Figura 1 abaixo, tem-se o acondicionamento para a imersão dos CP's em água do mar. Devido a disponibilidade de espaço, os CP's foram empilhados para minimizar a variabilidade que isso poderia causar. Os CP's foram trocados de posição aos 30 dias, assim como a água.

Figura 1. Imersão dos CP's em água do mar.



O recipiente foi forrado com uma camada de britas e entre as pilhas de CP's foi usada uma tela plástica. O recipiente foi mantido fechado durante os 60 dias de imersão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes da apresentação dos resultados é importante salientar que a areia utilizada, com dimensão característica de 1,18 mm, teve a granulometria classificada como abaixo da zona utilizável inferior, sendo assim um agregado não recomendado para uso, conforme NBR 7211 (ABNT, 2009), essa mesma norma numa versão anterior, publicada em 1983, a classificaria como uma areia muito fina. Apesar de um maior teor de finos do agregado miúdo promover uma melhora de algumas das propriedades do concreto como, por exemplo, trabalhabilidade, exsudação e permeabilidade, a melhora dessas propriedades tem um custo, pois, ao melhorar a trabalhabilidade com o alto teor de finos, o concreto exigirá mais água de amassamento, assim exigindo mais cimento para se manter a relação a/c. Por outro lado, essas propriedades só são melhoradas, uma vez que, também há uma boa distribuição granulométrica para garantir uma compacidade, distribuição essa que não se vê no agregado miúdo caracterizado, logo, além de não melhorar significativamente essas propriedades a falta de compacidade produz um concreto menos resistente e durável.

A resistência à compressão do concreto, depende do fator água/cimento, que, por sua vez, depende da distribuição granulométrica do agregado. A distribuição granulométrica deverá ser tal que permita uma mistura de máxima compacidade, compatível com a peça a concretar. (Bauer, 2003) Se a mistura final tiver uma distribuição descontínua, os concretos resultam permeáveis e de baixa trabalhabilidade. (Bauer, 2003)

Não há dúvidas de que a granulometria do agregado seja um fator preponderante para a trabalhabilidade do concreto. A trabalhabilidade, por sua vez, afeta as demandas de água e cimento, controla a segregação, exerce algum efeito na exsudação e influencia o lançamento e o acabamento do concreto. Esses fatores representam importantes características do concreto fresco e também afetam propriedades do concreto endurecido, como resistência, retração e durabilidade. (Neville, 2016)

Para a dosagem dos concretos, foi fixado o abatimento na faixa de 100 a 120 mm e variou-se a relação água/cimento. Não houve ajustes de traço durante a produção ou testes para se atender a requisitos, pois, não era objetivo do trabalho atender a um fck exigido ou outro parâmetro definido. Os ensaios mecânicos realizados então, serviram a outros ensaios ou mesmo como caracterização dos traços executados.

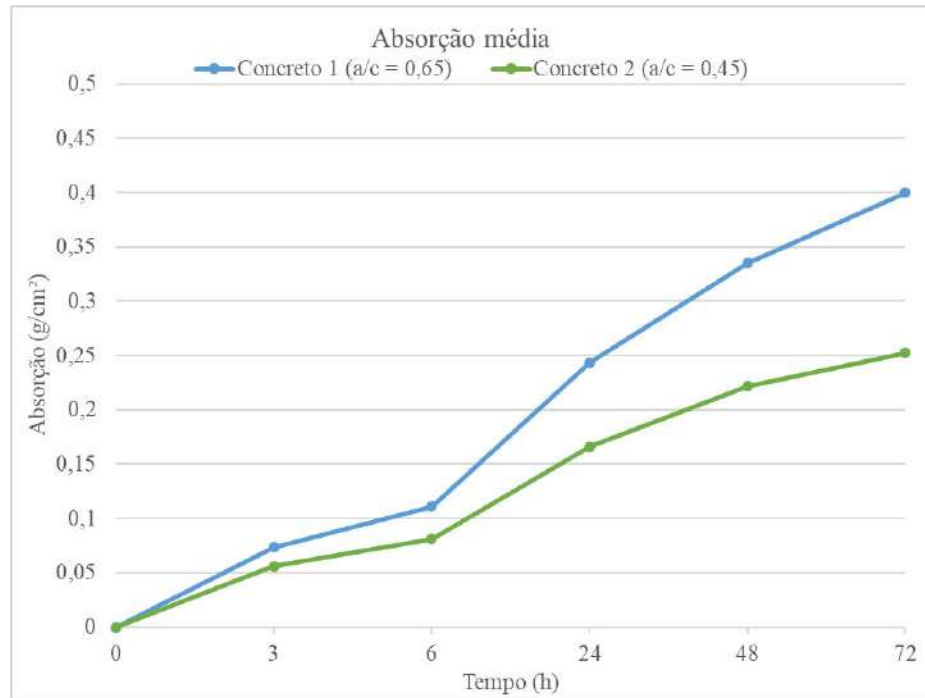
O ensaio de resistência à compressão axial serviu para avaliar a diferença que a variação na relação água/cimento produziu na resistência do concreto dosado com os materiais utilizados para tal. O ensaio de resistência à tração por compressão diametral serviu para expor a face interna dos CP's para que se pudesse avaliar as frentes de carbonatação e cloretos, através da aspersão das soluções de fenolftaleína e nitrato de prata respectivamente.

Serão apresentados a seguir, os resultados de absorção de água por capilaridade, que ilustra um pouco a dificuldade que os íons cloretos têm para penetrar os respectivos concretos, os resultados das frentes de carbonatação e frente de penetração de cloretos.

3.1 Absorção de água e aspectos visuais

A partir da Figura 2, pode-se observar a capacidade de absorção de ambos os concretos. Essa absorção de água por capilaridade ajuda a ilustrar a capacidade de penetração de cloretos no concreto, através de um dos principais mecanismos de transporte dos cloretos do meio externo para o interior do concreto, que é a absorção.

Figura 2. Absorção de água por capilaridade de ambos os concretos.



3.2 Carbonatação

A partir das Tabelas 4 e 5 abaixo, podemos observar como se deram as frentes de carbonatação em ambos os concretos. E uma ilustração dessas frentes é vista na Figura 3, com fotos de um exemplar de cada concreto.

Figura 3. Solução de fenolftaleína aspergida no CP 1C9 (à esquerda) e no CP 2C11 (à direita).

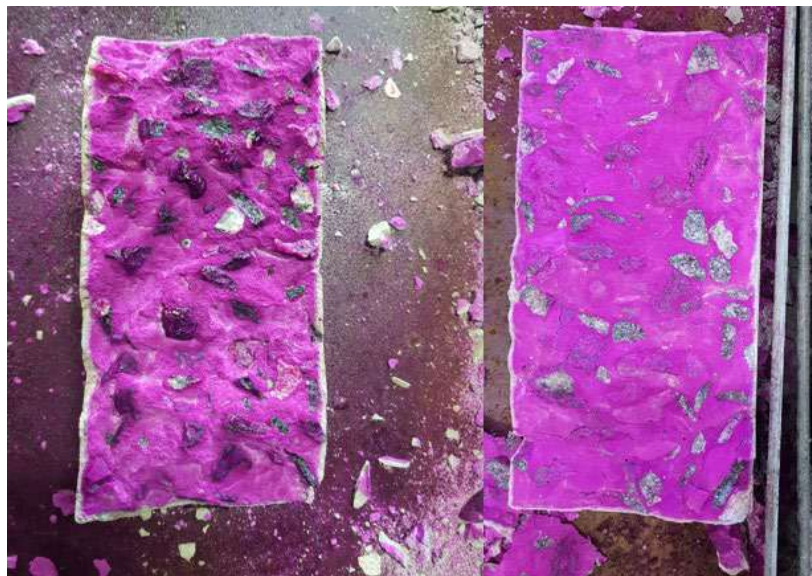


Tabela 4. Medidas da frente de carbonatação do Concreto 1.

Profundidade de carbonatação do Concreto 1 ($a/c = 0,65$)					
CP	Lado	Medidas (mm)			Média (mm)
		1ª	2ª	3ª	
1C7	topo	2,0	2,0	2,0	1,6
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	3,0	2,0	2,0	
	lado b	2,0	2,0	2,0	
1C8	topo	2,0	2,0	2,0	1,5
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	2,0	4,0	2,0	
	lado b	2,0	1,0	1,0	
1C9	topo	1,0	1,0	1,0	1,4
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	2,5	2,0	2,0	
	lado b	2,0	2,0	3,0	
1C10	topo	1,0	1,5	1,0	1,1
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	3,0	2,0	1,5	
	lado b	1,0	1,5	1,0	
1C11	topo	2,0	2,0	1,0	1,6
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	2,0	1,0	3,5	
	lado b	3,0	2,0	3,0	
1C12	topo	1,0	1,0	1,0	1,1
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	1,0	2,0	1,5	
	lado b	3,0	1,0	2,0	
Profundidade média de carbonatação do Concreto 1 (mm)					1,4

Tabela 5. Medidas da frente de carbonatação do Concreto 2.

Profundidade de carbonatação do Concreto 2 ($a/c = 0,45$)					
CP	Lado	Medidas (mm)			Média (mm)
		1ª	2ª	3ª	
2C7	topo	0,5	0,5	0,5	0,5
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	0,5	0,0	0,5	
	lado b	1,5	1,0	1,0	
2C8	topo	0,0	0,0	0,0	0,0
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	0,0	0,0	0,0	
	lado b	0,0	0,0	0,0	
2C9	topo	0,0	0,0	0,0	0,1
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	0,5	0,0	0,0	
	lado b	0,0	0,5	0,0	
2C10	topo	0,0	1,0	0,0	0,6
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	2,0	0,5	0,5	
	lado b	0,5	2,0	0,5	
2C11	topo	0,5	0,5	0,5	0,4
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	0,5	0,5	0,5	
	lado b	0,5	0,5	0,5	
2C12	topo	0,0	0,5	0,0	0,3
	base	0,0	0,0	0,0	
	lado a	0,5	0,5	0,5	
	lado b	0,5	0,5	0,5	
Profundidade média de carbonatação do Concreto 2 (mm)					0,3

Houve uma carbonatação média de 1,4 mm para o Concreto 1 e 0,3 mm para o Concreto 2. Sempre houve pelo menos um dos lados de 10 cm sem frente de carbonatação alguma. Portanto, houve uma proteção à base de cada CP. Buscando minimizar essa distorção e trazer dados mais fidedignos, foram desprezadas as medidas da base de cada CP e então calculadas novas médias de frente de carbonatação, apesar da RILEM CPC – 18 (1988) indicar a tomada de medidas por todos os lados. Segue Tabela 6 abaixo, com a frente de carbonatação média de cada concreto, desprezando-se a base.

Tabela 6. Frente de carbonatação, desprezando-se a base.

Frente de carbonatação média desprezando a base	
Concreto	Carbonatação (mm)
Concreto 1 (a/c = 0,65)	1,9
Concreto 2 (a/c = 0,45)	0,4

3.3 Penetração de Cloretos

A partir das Tabelas 7 e 8 abaixo, podemos observar como se deram as frentes de penetração de cloretos em ambos os concretos. E uma ilustração dessas frentes é vista na Figuras 4, com fotos de um exemplar de cada concreto.

Figura 4. Solução de nitrato de prata aspergida no CP 1C7 (à esquerda) e CP 2C11 (à direita).



Tabela 7. Medidas da frente de penetração de cloretos do Concreto 1.

Frente de penetração de cloretos no Concreto 1 (a/c = 0,65)												
CP	1C7		1C8		1C9		1C10		1C11		1C12	
Medidas	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)
1 ^a	3,5	4,9	2,5	4,3	3,2	3,2	4,0	3,6	4,0	4,2	3,5	4,3
2 ^a	2,9	5,9	3,5	3,3	4,5	4,0	4,0	4,1	3,0	5,6	3,5	4,5
3 ^a	2,3	3,5	3,0	2,5	5,2	2,5	3,5	3,5	3,6	3,5	3,5	5,0
4 ^a	4,0	3,3	5,0	7,0	2,6	2,5	4,0	3,0	2,5	4,0	3,0	4,0
5 ^a	3,0	3,9	3,5	3,0	1,8	2,2	3,5	4,5	4,0	4,6	2,0	3,0
6 ^a	3,0	3,0	4,9	4,3	2,3	1,6	3,3	3,8	3,3	4,0	3,0	3,0
7 ^a	3,8	6,0	3,3	2,8	3,0	1,5	3,0	3,1	5,6	4,0	4,0	5,4
Média (mm)	3,8		3,8		2,9		3,6		4,0		3,7	
Profundidade média da frente de penetração de cloretos no Concreto 1 (mm)												
3,6												

Tabela 8. Medidas da frente de penetração de cloretos do Concreto 2.

Frente de penetração de cloretos no Concreto 2 (a/c = 0,45)												
CP	2C7		2C8		2C9		2C10		2C11		2C12	
Medidas	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Lado A (mm)	Lado B (mm)
1 ^a	1,9	1,0	1,5	1,0	1,8	1,2	0,4	0,9	2,0	1,0	0,9	0,9
2 ^a	0,9	1,0	1,5	1,1	1,0	1,5	0,4	0,4	1,6	1,0	0,9	1,1
3 ^a	2,1	0,8	0,9	0,9	1,0	1,5	0,4	0,4	1,0	1,0	0,9	1,1
4 ^a	1,8	0,5	0,8	1,6	1,0	0,8	0,4	0,4	0,5	0,5	0,9	1,1
5 ^a	1,3	0,5	0,5	1,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,9
6 ^a	0,8	0,4	0,4	1,3	1,1	0,5	0,4	0,4	1,8	0,4	0,7	1,1
7 ^a	0,9	0,4	1,5	1,1	0,4	0,5	0,4	0,4	0,8	0,3	1,0	1,1
Média (mm)	1,0		1,1		1,0		0,4		0,9		1,0	
Profundidade média da frente de penetração de cloretos no Concreto 2 (mm)												
0,9												

Tabela 9. Frente média de cloretos e carbonatação.

Resumo de frentes de cloretos e carbonatação		
Concreto	Cloretos (mm)	Carbonatação (mm)
Concreto 1 (a/c = 0,65)	3,6	1,9
Concreto 2 (a/c = 0,45)	0,9	0,4

Os resultados obtidos foram de uma frente de penetração de cloretos de 3,6 mm no Concreto 1 e 0,9 mm no Concreto 2, uma diferença 2,7 mm entre as frentes, ou ainda, uma frente 4 vezes maior no Concreto 1 em relação ao Concreto 2.

Uma carbonatação pode sugerir um falso positivo no uso da solução indicadora de nitrato de prata para determinação da profundidade de penetração de cloretos no concreto. (Medeiros et al., 2018) No entanto, a profundidade desta frente de carbonatação não é suficiente para interferir na avaliação da profundidade atingida pela penetração de cloretos nos dois concretos, visto que a diferença das frentes foi discrepante. Por fim, as condições as quais os corpos de prova foram expostos não promoveu o avanço da carbonatação, uma vez que, os corpos de prova ficaram na maior parte do tempo imersos em água do mar.

Se os poros do concreto estão saturados, a carbonatação também não avança porque a difusão do CO_2 na água é 10^4 vezes mais lenta do que no ar. (Meira, 2017)

A influência da relação água/cimento na capacidade de penetração dos íons cloreto é crucial, vez que, dentre os fatores que influenciam a corrosão induzida por cloretos, como por exemplo, cura, temperatura, fissuras, tipo de cimento, entre outros, o único que houve variação foi a relação água/cimento e logicamente sua influência na permeabilidade e absorção dos respectivos concretos. Ambos os concretos foram submetidos as mesmas condições desde a sua produção até a realização dos ensaios, desta forma, outros aspectos que poderiam influenciar na profundidade de penetração de cloretos são minimizados e a maior causa destes resultados obtidos são por consequência da respectiva relação água/cimento de cada concreto.

É fato que a relação água/cimento é diretamente proporcional a resistência do concreto e tem uma relevante contribuição para a microestrutura do concreto, desta forma, influenciando a permeabilidade e absorção.

A resistência costuma fornecer uma ideia geral da qualidade do concreto, visto que está diretamente relacionada à estrutura da pasta de cimento hidratada. (Neville, 2016)

Resistência e permeabilidade da pasta de cimento hidratada são dois lados da mesma moeda, uma vez que ambos estão estreitamente relacionados à porosidade capilar ou à relação sólido/espaço. (Mehta e Monteiro, 1994)

Sendo assim, a relação água/cimento tem grande influência nos poros e capilares do concreto, e estes são de extrema relevância para a inserção dos cloretos no concreto, ou ainda, para o transporte dos cloretos dentro do concreto. O tamanho dos poros tem influência na absorção e permeabilidade, quanto maior menor a absorção, porém tem efeito contrário à permeabilidade, e principalmente a comunicação entre os poros garante o transporte dentro do concreto, além de outros fatores como tipo de cimento, grau de hidratação do cimento, condições de exposição, entre outros.

Segue abaixo as imagens de todos os CP's e suas frentes de cloretos e carbonatação.

Figura 5. Da esquerda para direita: 1C7, 1C8, 1C9, 1C10, 1C11 e 1C12.

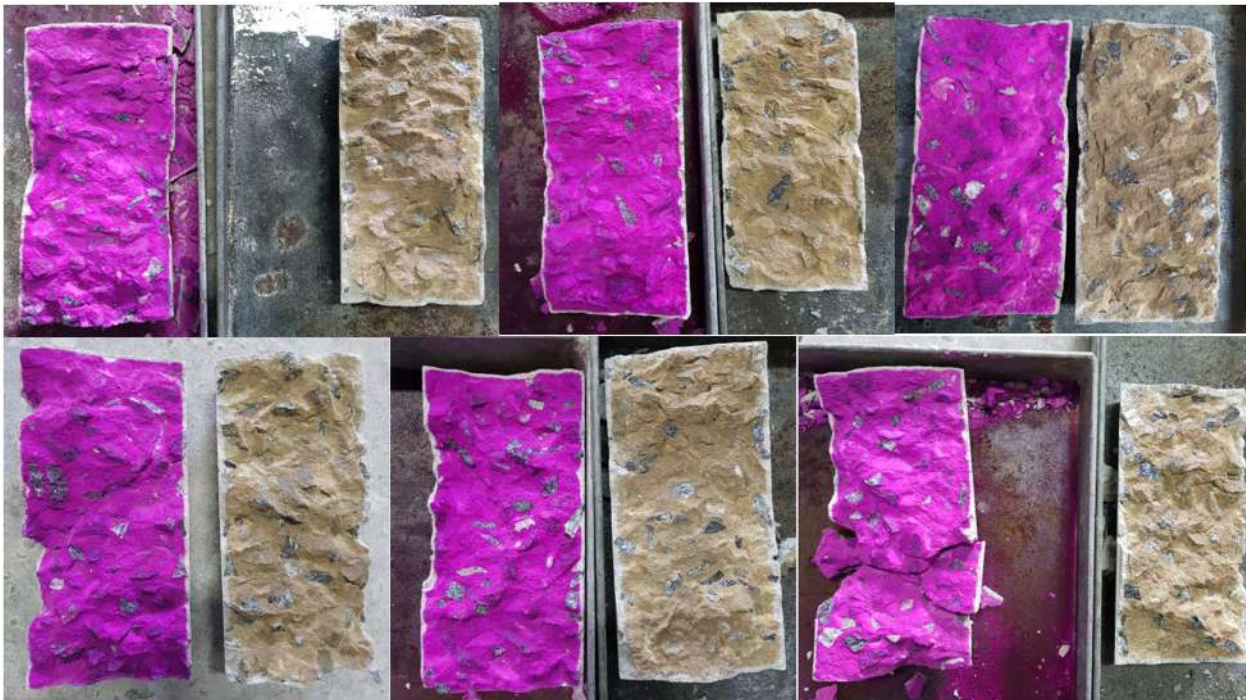
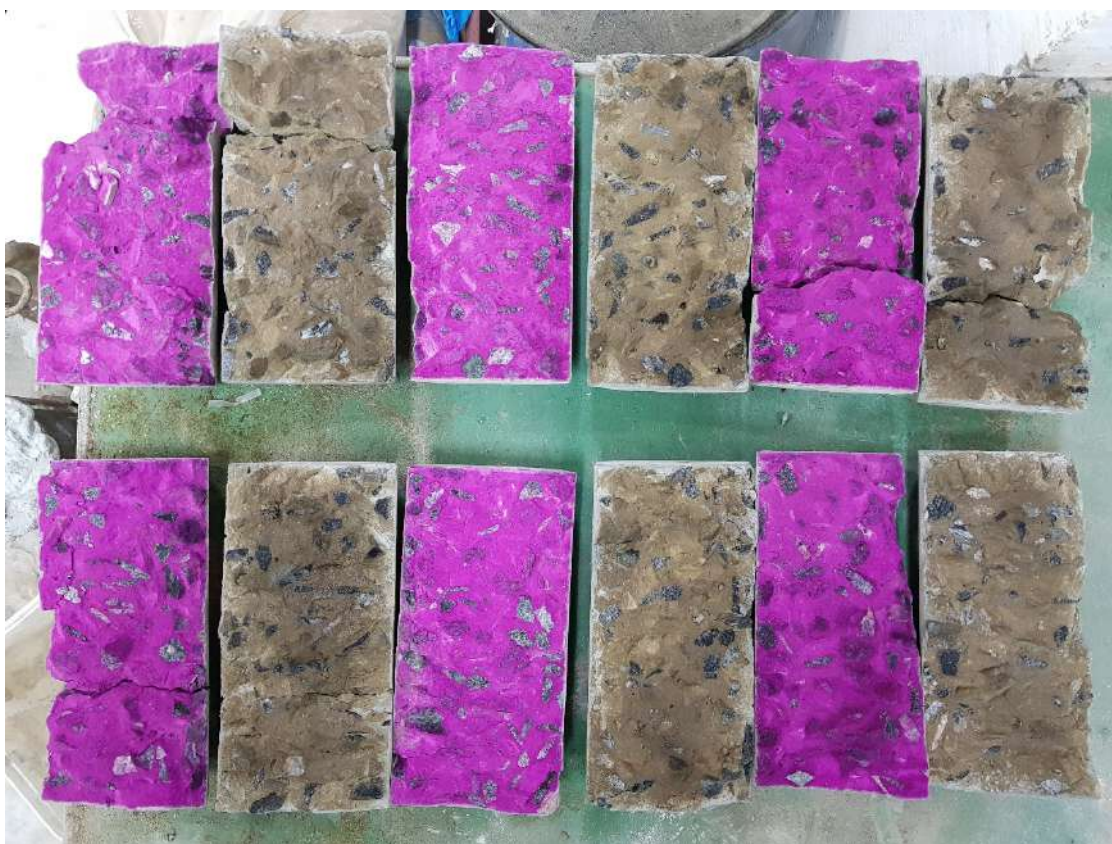


Figura 6. Da esquerda para direita: 2C7, 2C8, 2C9, 2C10, 2C11 e 2C12.



4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos foram de uma frente de penetração de cloretos menor no concreto com menor relação água/cimento.

Apesar do acréscimo de resistência ter sido baixo entre os concretos com relação água/cimento de 0,65 e 0,45, a sua diferença de relação água/cimento de 0,20 proporcionou uma diferença de 300% entre as profundidades das frentes de penetração de cloretos, e uma diferença de 375% entre as profundidades das frentes de carbonatação. Resultados já esperados, visto que a relação água/cimento é inversamente proporcional a resistência e a resistência, por sua vez, depende da fase sólida do concreto, ou seja, temos uma menor porosidade e uma microestrutura mais compacta nos concretos com menor relação água/cimento, frente a concretos com maior relação água/cimento e utilizando os mesmos materiais. Claro que a compacidade dos concretos depende de outros fatores, mas neste trabalho a maior influência vem da relação água/cimento. Assim os resultados nos mostram que o concreto com menor relação água/cimento tem maior resistência a penetração de cloretos, e isso só é possível com uma menor porosidade e desde que essa menor porosidade também resulte numa menor intercomunicação entre os poros.

Pode-se destacar ainda, que o método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata apresentou resultados consistentes, visto que, foi de fácil aplicação e leitura da frente de penetração de cloretos para concretos expostos a cloretos e ainda carbonatados em menor grau. Porém, deve-se ter cuidado na avaliação de concretos somente carbonatados, ou pelo menos, concretos com alto grau de carbonatação.

5. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). *NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). *NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2006). *NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). *NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). *NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.
- Bauer, L. A. F. (2003), “*Materiais de construção I: concreto, madeira, cerâmica, metais, plásticos, asfalto - novos materiais para construção civil*”. LTC, Rio de Janeiro.

- Cascudo, O. (1997), “*O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas*”. PINI, São Paulo; Editora UFG, Goiânia, Brasil.
- Cascudo, O., Helene, P. R. L. (2001), “*Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado*”. EPUSP, São Paulo, Brasil, 20p.
- França, C. B. (2011), “*Avaliação de cloretos livres em concretos pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Pernambuco.
- Helene, P. R. L. (1993), “*Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado*”, Tese de livre docência, Universidade de São Paulo.
- Medeiros, M. H. F., Réus, G. C., Pontes, C. V. (2018). “*Nitrato de prata como método colorimétrico para detecção da penetração de cloretos: análise crítica*”, 3º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (3º SPPC), artigo 3SPPC1017, pp. 186-197. DOI: 10.4322/2526-7248.017
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (1994), “*Concreto: estrutura, propriedades e materiais*”. PINI, São Paulo, Brasil, 573p.
- Meira, G. R. (2017), “*Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção*”. IFPB, João Pessoa, 130p.
- Neville, A. M. (2016), “*Propriedades do concreto*”. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Bookman, Porto Alegre.
- NORDTEST METHOD. (1999). *NT BUILD 492: Concrete, mortar and cement-based repair: chloride migration coeficiente from non-steady-state migration experiments. Finlândia.*
- Real, L. V., Oliveira, D. R. B., Soares, T., Medeiros, M. H. F. (2009), Método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata para avaliação da penetração de cloretos em concreto: estado da arte. *Revista ALCONPAT*. 5(2):149-159. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v5i2.84>
- RILEM Recommendations. (1988). *CPC - 18: Measurent of hardened concrete carbonation depth*. Pp. 453-455.
- Silva, F. G. (2006), “*Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos*”, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.

Análise da incidência de manifestações patológicas em edificações públicas que passaram por processos de reabilitação

R. de A. Garcia Sobrinho^{1*}, L. A. de C. Motta¹, P. R. C. Guterres¹

*Contato do autor: renner_tt@hotmail.com

¹ PPGEC, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil

RESUMO

A reabilitação é uma alternativa sustentável para a construção civil. Porém, verifica-se a existência de poucas literaturas técnicas sobre esta tipologia de obra. Este estudo tem como objetivo levantar e caracterizar manifestações patológicas em edificações públicas que passaram por processos de reabilitação. Foram realizadas inspeções em 8 edificações que passaram por intervenções entre 2018 e 2019. A partir dessas visitas e dos documentos das obras executadas, foram detectados e classificados 4696 pontos de problemas que foram transformados em gráficos para as análises. Detectou-se diversas falhas envolvendo fissurações, umidade e danos aos sistemas. O estudo evidenciou um estado problemático das obras investigadas, podendo servir de referência para melhorias de processos e base para outros estudos.

Palavras-chave: Reabilitação de Edificações; Manifestação Patológica; Obras Públicas; Processos de Reabilitação.

ABSTRACT

The building rehabilitation is a sustainable alternative for civil construction. However, there are few technical literatures on this type of work. The aim of this study is to survey and characterize pathological manifestations in public buildings that are passed through rehabilitation processes. Were realized Inspections in 8 buildings that underwent interventions between 2018 and 2019. From these visits and from the documents of the works carried out, 4696 problem points were detected and classified, which were transformed into graphs for analysis. Several failures were detected involving cracks, moisture and damage to systems. The study evidenced a problematic state of the investigated buildings, being able to serve as a reference for process improvements and basis for other studies.

Key words: Building Rehabilitation; Pathological Manifestation; Public Buildings; Rehabilitation Process.

EL RESUME

La rehabilitación es una alternativa sostenible a la construcción civil. Sin embargo, existe poca literatura técnica sobre este tipo de trabajos. Este estudio tiene como objetivo plantear y caracterizar manifestaciones patológicas en edificios públicos que han sufrido procesos de rehabilitación. Se realizaron inspecciones en 8 edificios que sufrieron intervenciones entre 2018 y 2019. A partir de estas visitas y de los documentos de las obras realizadas, se detectaron y clasificaron 4696 puntos problemáticos, que fueron transformados en gráficos para su análisis. Se detectaron varias fallas que involucraron grietas, humedad y daños en los sistemas. El estudio evidenció un estado problemático de los trabajos investigados, pudiendo servir de referencia para mejoras de procesos y base para otros estudios.

Palabras clave: Rehabilitación de edificios; Manifestación patológica; Obras Públicas; Procesos de rehabilitación

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades que mais consomem recursos naturais, tanto na fabricação de seus insumos quanto nos seus processos construtivos. Segundo Torgal e Jagali (2010), “a nível mundial a indústria da construção civil consome mais matérias primas (aproximadamente 3000 Mt/ano, quase 50% em massa) que qualquer outra atividade econômica, o que evidencia um setor claramente insustentável”. A atividade de construção também gera grandes volumes de resíduos. Segundo Bourscheid e Souza (2010) “o entulho da construção civil tornou-se um grande problema na administração das cidades brasileiras, devido à enorme quantidade (chegando a responder, em alguns casos, por 60% dos resíduos sólidos urbanos produzidos)”. Verifica-se, desse modo, a importância de promover a eficiência do setor da construção, otimizando recursos e minimizando desperdícios, tendo em foco, principalmente, a sustentabilidade (Sáez et. al, 2019; Qualharini, 2017; Agopyan e John, 2011).

De acordo com Mateus (2009):

Para que um edifício seja sustentável é necessário que durante o seu ciclo de vida se respeitem, entre outras, as seguintes prioridades: otimizar o potencial do terreno; preservar a identidade cultural regional; minimizar o consumo de energia; proteger e preservar os recursos de água; utilizar materiais e produtos de construção eco-eficientes; manter um ambiente interior saudável e confortável; otimizar as práticas de utilização e de manutenção; e reduzir os custos de ciclo de vida.

Ou seja, verifica-se que a sustentabilidade na construção civil deve abranger todos os processos das etapas de construção e de utilização. Sendo assim, as edificações não podem ser vistas como produtos descartáveis, que serão inutilizados ao fim de sua vida útil ou se apresentarem problemas e defeitos. Um conceito que está sendo aplicado à sustentabilidade na construção, que envolve a solução de problemas das edificações já existentes, é a reabilitação de edifícios.

No processo de reabilitação de um imóvel, geralmente, aproveita-se os sistemas já construídos e evita-se demolições minimizando, assim, o consumo de materiais e a geração de resíduos. Desse modo, observa-se a relevância da prática de reabilitação de edificação para minimizar os prejuízos ambientais causados pela construção civil e verifica-se a possibilidade de enquadrar esse processo na definição de sustentabilidade proposta por Bruntland (1987), onde o desenvolvimento sustentável é aquele que “permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas”. (Almeida et al., 2017; Batista, 2014; Thomsen e van, 2009; Mikhailova, 2004).

As obras de reabilitação têm características próprias que as diferenciam das obras de construção nova. Elas possuem particularidades quanto aos seus custos, planejamento, capacitação de mão de obra, projetos entre outros. A reabilitação nem sempre é a alternativa mais econômica em relação

à demolição e à execução de edifícios novos sendo, muitas vezes, não utilizada mesmo com seus benefícios ambientais (Rodríguez et. al, 2017; Brás, 2015; Martins, 2011; Tuppurainen, 1990). Segundo Miragaia (2011) “reabilitar é muito mais complicado do que construir a partir do zero; pois implica a utilização de materiais e tecnologias diferentes das habitualmente utilizadas em construção nova”.

De acordo com Jesus (2008):

[...] as particularidades relativas à produção de reabilitação de edifícios não têm sido objeto de estudo sistêmico. Há expressivo desconhecimento sobre a dinâmica de produção deste tipo de empreendimento, o que tem resultado, sobretudo, em obras cujos custos usualmente extrapolam as estimativas iniciais.

Para Correia 2009 “Apesar da extensa bibliografia existente, constata-se a inexistência de estudos concretos sobre a duração das diferentes etapas, os custos de construção do processo de reabilitação e a própria metodologia de intervenção”. Deste modo, verifica-se a necessidade de estudos que caracterizem esse tipo de obra, levantando seus principais problemas e propondo possíveis soluções ou medidas paliativas.

Os edifícios que passam por reabilitação, na maioria das vezes, já estão com sua vida útil em operação, portanto, seus sistemas já estão em processo de desgaste. Além disso, vários outros fatores podem influenciar no surgimento de problemas no imóvel gerando, assim, manifestações patológicas (Possan e Demoliner, 2013; Qualharini et al., 2001).

O estudo de patologia é uma ferramenta que traz bons resultados retroalimentando o processo construtivo e solucionando, de maneira eficiente, os problemas. Dentre os vários tipos de estudo envolvendo patologias tem-se a caracterização de manifestações patológicas (Villa e Ornstein, 2013; Thomaz, 2001).

Verificam-se poucos estudos de pós-obra e caracterização de anomalias em edificações que passaram por processos de reabilitação. A questão é que os problemas formados após a execução desta tipologia de obra poderiam ter sido solucionados ou evitados no próprio procedimento. Sendo assim, uma reabilitação ineficiente vai demandar de outra intervenção em menor prazo de tempo. As obras públicas costumam apresentar, constantemente, irregularidades como o aumento de orçamento e/ou aumento de prazos. Dessa maneira, existe a possibilidade de que os processos de reabilitação nessas obras sejam feitos de maneira ineficiente, negligenciando fatores importantes ou não sendo executados plenamente. O setor de construção gasta muitos recursos públicos, é inconcebível que obras reabilitadas necessitem de mais recursos e novas intervenção devido a procedimentos inadequados (Santos et al., 2015; Campelo e Cavalcante, 2013).

Sendo assim, observa-se dois pontos relevantes que necessitam de maiores investigações quanto aos seus procedimentos e aplicações sendo eles: as obras de reabilitação e as obras públicas. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo estudar e levantar manifestações patológicas em edificações públicas que passaram por processos de reabilitação, por meio de análises qualitativas e descritivas caracterizando, assim, os principais problemas encontrados.

2. PROCEDIMENTO

Para a investigação, foram realizados levantamentos das manifestações patológicas em edificações públicas, por meio de inspeções. O estudo foi realizado na cidade de Uberlândia, localizada no estado de Minas Gerais, Brasil.

As visitas foram realizadas em 8 escolas que passaram por processos de reabilitação entre 2018 e 2019. As inspeções ocorreram no período de 11 a 18 de dezembro de 2019. Foi analisada, também, a documentação gerada no processo de licitação das obras estudadas por meio de documentos como: projetos arquitetônicos e complementares, manuais descritivos, orçamentos e cronogramas físico-financeiros.

Cada manifestação patológica encontrada foi catalogada e classificada. Entende-se como manifestação patológica, para esse trabalho, qualquer problema na edificação que possa ser identificado por meio da análise sensorial.

As anomalias detectadas foram catalogadas em grupos de manifestações patológicas. Para agrupar os problemas, seguiu-se as linhas estabelecidas por Ioshimoto (1988), Azevedo (2008) e Carraro e Dias (2014), com algumas adaptações que foram necessárias para abranger todos os problemas encontrados no estudo. Adicionou-se alguns agrupamentos baseados nos estudos de Brito et al. (2011) e de Cupertino e Branstetter (2015). Os grupos de manifestações patológicas podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Agrupamentos das manifestações patológicas

Agrupamento de manifestação	Crítérios de classificação
Fissurações	Todos os problemas relativos a fissuras, trincas, rachaduras e fendas, de todas as formas e configurações;
Umidade	Qualquer problema relacionado a presença de umidade na edificação;
Perda de material	Situações em que ocorre perda de massa em elementos estruturais, vedações ou pisos. Estão incluídos nesta categoria deslocamento de revestimento, de pintura, esboroamentos, perdas volumétricas, buracos, entre outros.
Irregularidade nos acabamentos	Qualquer deficiência na parte superficial do acabamento da edificação, relativa ao seu desempenho visual e/ou sua estruturação. Estão incluídos nesses problemas desnivelamentos visíveis em revestimentos, abaulamento, variação de textura indesejada, pintura irregular, manchas de tinta, entre outros. Não estão incluídas machas relacionadas diretamente com a umidade.
Problemas nas instalações prediais	Foram consideradas manifestações nas instalações prediais os problemas que apresentavam prejuízos a funcionalidade dos seus sistemas ou os danos em seus componentes.
Problemas nas esquadrias	Estão classificados nesta categoria defeitos que prejudiquem a funcionalidade das esquadria e danos causados aos seus componentes. Independente de qual for a causa, os prejuízos a estrutura física da esquadria estão enquadrados nesse grupo.

Além dos agrupamentos de manifestações, cada anomalia detectada também foi atribuída a um problema nos procedimentos de reabilitação. As falhas decorrentes do processo de intervenção podem ser vistas na Tabela 2. O enquadramento de cada manifestação patológica nesses problemas foi realizado a partir de uma análise global relacionando o problema, os levantamentos obtidos nas inspeções e a documentação produzida para as obras das edificações investigadas.

Tabela 2. Tipos de falhas relacionados ao processo de reabilitação

Problema	Descrição
-----------------	------------------

Problemas gerados na intervenção	Aqueles que foram incorporados na edificação durante o processo de reabilitação
Solução não proposta	São as manifestações que já existiam antes da intervenção e não foram tratadas por não terem nenhuma solução especificada no projeto
Solução insuficiente	Acontece quando a medida de recuperação proposta não é suficiente para solucionar os problemas que deveria
Problema gerado após a intervenção	São referentes às manifestações que foram introduzidas na edificação após o processo de reabilitação concluído
Solução executada inadequadamente	São referentes às propostas de reabilitação que foram executadas incorretamente resultando no agravamento do quadro ou reincidência dos problemas
Solução não executada	Ocorre quando a solução definida na proposta da reabilitação não foi realizada

Após a catalogação e classificação das manifestações, os dados obtidos foram transformados em gráficos para visualização do cenário estudado. A estatística utilizada foi do tipo descritiva, ela teve como foco demonstrar, exclusivamente, os dados da investigação.

Foram obtidas na inspeção 4481 imagens que possuíam, no total, 4696, pontos com manifestações patológicas, de acordo com as classificações estabelecidas para o estudo. Esses dados foram transformados em dois gráficos:

- Um deles demonstra a porcentagem da incidência de cada agrupamento de manifestação patológica, de acordo com o total de problemas encontrados, em todas as edificações estudadas;
- O outro mostra a porcentagem de cada problema, relativo aos processos de reabilitação, dentro de cada agrupamento de manifestações patológicas.

A partir dos gráficos obtidos são feitas discussões, apontamentos e análises qualitativas em relação aos resultados.

3. RESULTADOS

As porcentagens relativas a cada agrupamentos das manifestações patológicas, em relação a todos problemas encontrados nas edificações, podem ser vistas no Figura 1.

Os principais problemas encontrados estão associados com as fissurações (42%); seguidos de irregularidades no acabamento (26%) e perda de material (19%). As umidades representaram 8% no total das manifestações e os problemas em esquadrias e em instalações prediais 3% cada. A relação entre as porcentagens dos problemas relacionados com a reabilitação em cada agrupamento de manifestações, pode ser observada no Figura 2.

Observou-se que o maior problema relativo às fissurações é a falta de proposições de tratamentos destas nos projetos de reabilitação. Este tipo de manifestação patológica representa 42% do total de deficiências encontradas nos edifícios estudados, isso pode indicar que as fissurações são um dos defeitos mais negligenciado no momento de propor soluções para reabilitar um edifício.

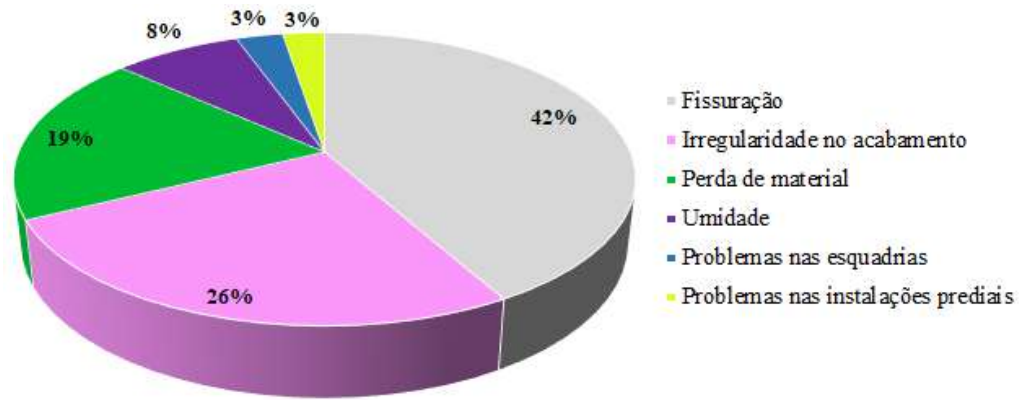


Figura 1. Manifestações patológicas em obras de reabilitação

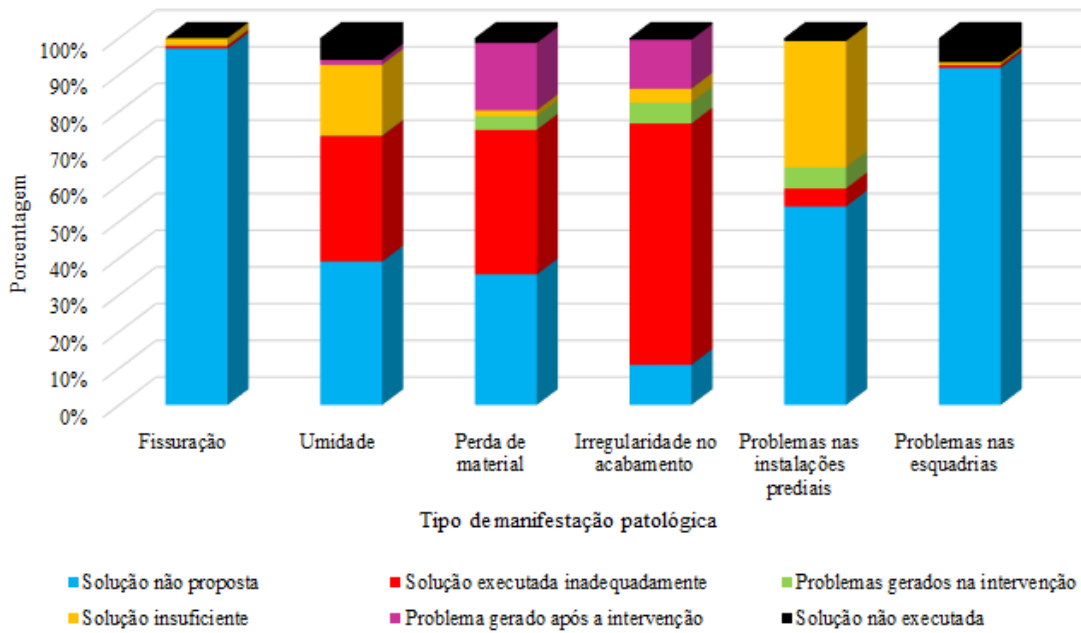


Figura 2. Relação de manifestações por problemas de intervenção

Foi possível observar diversas modalidades de problemas referentes as fissuras. Um exemplo desta situação é o péssimo estado de conservação que se encontram algumas juntas de dilatação. Em alguns casos, elas contêm infiltração, o que pode gerar prejuízos à estrutura. Esses problemas podem ser visualizados na Figura 3.



Figura 3. Juntas de dilatação com fissuras

Foram encontradas, também, muitas fissuras, trincas e rachaduras em pontos de concentração de tensões em esquadrias, provavelmente por inexistência e/ou deficiência de vergas e contravergas, essa situação pode ser observada na Figura 4.



Figura 4. Fissuração por concentração de tensões nas esquadrias

Alguns tratamentos de fissuras ativas são propostos e/ou executados de maneira inadequada; como a realização somente do emassamento, por exemplo, para recuperação do problema. Como consequência, o defeito volta a ocorrer. Essa situação pode ser verificada na Figura 5.



Figura 5. Reincidência de trinca ativa

No caso da umidade, ela é o quarto item com maior representatividade dentro dos agrupamentos de manifestações patológicas, com 8% de relevância. Porém, verificou-se que mesmo sendo quantitativamente menor, esse tipo de problema influencia diretamente na salubridade e durabilidade da edificação.

Observando a Figura 2, as soluções que foram propostas de maneira insuficiente para o tratamento do problema são mais de 30% das causas relativas à umidade. Maioria dessas propostas inadequadas estão relacionadas com intervenções em coberturas sem detalhamento, proposições essas que só destinaram uma porcentagem da área do telhado para substituição sem avaliar de fato qual era a origem da umidade.

Algumas intervenções para solucionar problemas, relativos à umidade, foram especificadas adequadamente no projeto, porém, mesmo após a reabilitação, os problemas ainda continuam ou podem até ter se agravado. Esses itens foram definidos como soluções executadas inadequadamente.

Uma edificação, que tinha um dos projetos de intervenção no telhado mais detalhado, apresentou um estado de degradação avançada em relação a umidade. Isso pode indicar problemas relativos aos processos de execução. Na Figura 6 é possível verificar alguns problemas de umidade, desta edificação, devido a intervenção em seu telhado.



Figura 6. Infiltração por reabilitação inadequada em cobertura

Na Figura 7 é possível averiguar a gravidade que problemas de umidade podem gerar para a salubridade da edificação, onde se tem, como consequência, a presença de fungos em ambientes fechados.

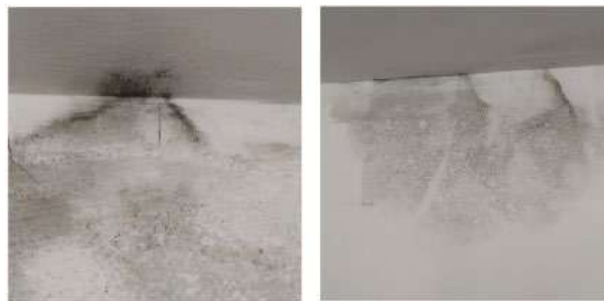


Figura 7. Fungos gerados pela umidade

No caso de não ser proposto um tratamento para a umidade, é adequado escolher materiais que tenham desempenho melhor nessas condições. Esta questão pode ser vista na Figura 8, onde o emprego de pintura acrílica dificultou a ventilação do revestimento, aumentando a concentração da umidade e agravando, assim, problemas como: empolamento, eflorescências, criptoflorescências e perda de revestimento.



Figura 8. Problemas com umidade ascensional

Quando se observa os problemas relacionados com o agrupamento de manifestações de perda de material, verifica-se que a maior parte desses estão relacionados a soluções que não foram executadas adequadamente. A perda de aderência de pintura foi um dos itens que foram relacionados a esse grupo. Essa falha técnica ocorreu na maioria dos casos observados, por causa de uma preparação inadequada da superfície que foi pintada, como pode ser observado na Figura 9. Verificou-se que, geralmente, a pintura antiga não é lixada e removida adequadamente, mesmo quando é especificado no projeto básico esta atividade de apresto. Isso resulta em degradação precoce dos sistemas de pintura, mesmo após pouco tempo da execução da reabilitação.

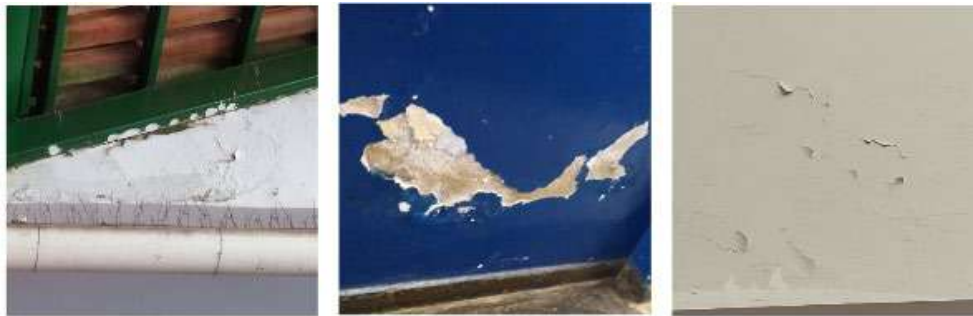


Figura 9. Desplacamento de pintura por preparação inadequada da base

Alguns dos problemas mais significativos, em relação a perda de material, foram os que surgiram após a reabilitação realizada. Muitos desses foram decorrentes do mau uso e operação nos espaços. Observou-se muitos esboroamentos de revestimento resultantes de impactos ocorridos na movimentação de equipamentos na edificação. Alguns destes casos podem ser observados na Figura 10.



Figura 10. Perda de material por impacto de equipamentos

Quanto à parcela relativa às soluções não propostas, que foi mais de 30% dos problemas de perda de material, verificou-se que muitos deslocamentos e esboroamentos não tiveram recomendações de tratamento em projeto. Foram encontrados casos com deslocamento em regiões externas da alvenaria que resultaram em infiltrações no ambiente interno. Foi comum encontrar revestimento cerâmico deslocando ou danificados em ambientes como cozinha e banheiros. Na Figura 11, é possível observar alguns casos de perda de material que não tiveram soluções propostas em projeto.



Figura 11. Perda de material que não foi proposto solução

Dentre as situações encontradas, destacou-se uma onde foi proposto a substituição das placas cerâmicas que estavam deslocando, mas, provavelmente não foi realizada uma investigação profunda da estabilidade dos demais componentes do revestimento. Como resultado, a área destinada a recuperação foi tratada, porém, outras regiões vieram a sofrer deslocamento após a intervenção. Esse caso pode ser observado na Figura 12.



Figura 12. Desplacamento de revestimento cerâmico após a intervenção

Em relação ao grupo de manifestações de irregularidades nos acabamentos, os problemas mais significativos estão relacionados com a execução inadequada dos processos de reabilitação. No caso da pintura, já foi levantado, neste texto, sobre a consequência da preparação inadequada da base para execução da pintura nova, nesse caso, a principal causa foi um processo mau feito de lixamento e remoção de tinta na perda de material, entretanto, não é a única consequência que foi observada. Alguns elementos deveriam ter sido retirados no processo de preparação da base para pintura e não foram, desse modo, gerou-se inadequações no acabamento final. Foram encontradas gomas de mascar, fitas adesivas, restos de papeis aderidos a tinta antigas, entre outros resíduos que não foram removidos. A pintura foi, nesses casos, executada sobre os mesmos. Na Figura 13 é possível ver as situações descritas.



Figura 13. Materiais não removidos na base da pintura

Foram detectadas regiões que não passaram pela limpeza adequada para o processo de pintura, como pode ser visto na esquadria da Figura 14. A janela em questão estava suja de poeira na execução do acabamento; sendo assim, a sujeira incorporou ao pigmento não sendo mais possível remove-la da esquadria.



Figura 14. Esquadria com pintura sobre sujeira

Outro problema, em relação aos procedimentos de execução responsáveis por irregularidades nos acabamentos, foi a pintura, principalmente com aplicações de spray, em regiões onde as demais finalizações já estavam prontas, sem a realização da proteção adequada destes, ocasionando, assim, em manchas de tinta. Esta questão pode ser ver verificada na Figura 15.



Figura 15. Mancha de tinta por não proteção adequada dos outros acabamentos

Quanto às soluções que não foram propostas ou foram definidas de maneira insuficiente nos acabamentos, ambas estão relacionadas, principalmente, com deficiências na especificação no projeto para regularização dos acabamentos; como, por exemplo, a ausência de emassamento ou a proposição deste em quantidades inferiores às necessárias. Na Figura 16 é possível ver a situação exemplificada.



Figura 16. Irregularidade no acabamento por falta de material de regularização

Os principais problemas detectados que estão relacionados às instalações prediais foram os defeitos que não tiveram solução proposta em projeto. Isto pode ser visto, principalmente, nas instalações hidráulicas. As manifestações encontradas neste tipo de instalação, na maioria das vezes, não tinham especificações de solução nas propostas de reabilitação. Alguns problemas relativos a este tipo de instalação podem ser vistos na Figura 17.



Figura 17. Problemas nas instalações hidráulicas que não tiveram soluções propostas

Em relação às soluções que foram insuficientes, estas estão mais associadas às instalações elétricas. Nos projetos investigados, a maioria deles sugeriram uma porcentagem do valor da obra para reparos de problemas em sistemas elétricos, que não foram possíveis de serem verificados nas vistorias, sem detalhamentos ou uma análise mais adequada das intervenções necessárias nos sistemas elétricos. Observou-se que esta abordagem não foi adequada para solucionar os problemas relativos às instalações. Algumas manifestações relacionadas às instalações elétricas prediais podem ser observadas na Figura 18.



Figura 18. Problemas nas instalações elétricas por soluções insuficientes

Quanto às esquadrias, as intervenções realizadas neste tipo de elemento, na maioria das vezes, são destinadas a regularização de normas de fiscalização, como, por exemplo, aumentar uma janela na sala de gêneros para atender as exigências da vigilância sanitária. Detectou-se que algumas esquadrias com defeitos, como corrosão, não foram destinadas à recuperação, como pode ser verificado na Figura 19.



Figura 19. Esquadrias com defeitos de corrosão

Verificou-se que alguns projetos tinham intervenções referentes à substituição de portas e janelas; porém, estes não costumam abranger todos os problemas da edificação e nem sempre são executados. Outros pontos encontrados foram problemas nos componentes das esquadrias como: maçanetas, portais que possuem defeitos, vidros quebrados, entre outros. Esses defeitos podem ser observados na Figura 20.



Figura 20. Problemas em esquadrias não solucionados

Desse modo, foi possível verificar várias ineficiências nos processos de reabilitação estudados quanto as proposições de soluções para as manifestações patológicas nas edificações investigadas. Os problemas que não são apontadas soluções nos projetos são os mais relevantes dentre as possíveis falhas nas reabilitações e tem maior incidência nos agrupamentos de fissurações, instalações prediais e esquadrias.

A pintura se mostrou um dos sistemas mais prejudicados. Observou-se que grande parte dos problemas de irregularidades no acabamento e de perda de materiais estão relacionados a ela. O processo de preparo inadequado da base para execução da pintura foi observado em vários pontos investigados, mesmo quando se tinha orçamento para essas atividades.

Os problemas relativos a execução inadequada foi o segundo mais relevante. As irregularidades no acabamento são as que mais tem problemas relativos a execução malfeita, seguida da umidade e da perda de material.

As fissurações e perda de materiais em elementos estruturais são prejudiciais para a vida útil da edificação por causa da perda de cobrimento e facilitação da entrada de agentes deletérios no concreto. A umidade também pode acelerar a degradação das construções e causar situações de insalubridade como o caso da proliferação de fungos detectada nas inspeções. Revestimento deslocando, como foi observado na investigação, é um risco adicional à segurança dos usuários. Desse modo é possível verificar vários problemas em todas as fases da edificação que não estão sendo solucionados nos processos de reabilitação. Desse modo são geradas obras ineficientes e as edificações já apresentam problemas pouco tempo após a intervenção.

4. CONCLUSÕES

Tendo em vista os problemas levantados, observou-se que os processos de reabilitação estudados não foram eficientes para recuperar a edificação, principalmente em seus problemas mais graves ou mais urgentes, e que parte do que é proposto veem sendo executado de forma inadequada, como é o caso da pintura.

Estes pontos podem evidenciar deficiências relevantes em procedimentos de reabilitação de obras públicas. Em relação as manifestações, nem todos os problemas encontrados necessitam ser recuperados, algumas fissurações e irregularidades de acabamentos, por exemplo, produzem danos exclusivamente estéticos. Porém, alguns defeitos que estão relacionados diretamente com a salubridade da edificação, a segurança dos seus usuários e durabilidade foram detectados, mesmo com as edificações tendo passado por reabilitação. Esses itens deveriam ser prioridade sobre os demais na proposição de soluções e também ter mais rigor técnico em sua fiscalização e execução. A estanqueidade da edificação se mostrou um dos itens mais problemáticos relacionado a durabilidade do ambiente construído, pois, foi possível observar que uma intervenção mal realizada na cobertura, por exemplo, pode gerar um processo acelerado de degradação.

Sendo assim, foi possível observar diversas ineficiências nos processos de reabilitação que foram aplicados nas edificações públicas investigadas. Deste modo, o presente trabalho pode servir de fonte de informação para melhoria dessas tipologias de obras. Foi possível, também, produzir conteúdo e caracterização relacionado a tecnologia de reabilitação de edifícios que podem orientar novas investigações e servir de referência para comparação em outros estudos de caso.

5. REFERENCIAS

- Almeida, C. P., Ramos, A. F., Silva, J. M. (2017), Sustainability Assessment of Building Rehabilitation Actions in Old Urban Centres, “*Sustainable Cities and Society*”, n. 36.
- Agopyan, V., John, V. M. (2011), *O desafio da sustentabilidade na construção civil*, v. 5, São Paulo, Blucher.

- Azevedo, S. L.; Rota, A.; Salvador, B. R.; Lamengo, F. (2008). “*Levantamento e análise das manifestações patológicas no PAR regente (Pelotas/RS) e possíveis medida profiláticas*” In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7, Fortaleza: ENTAC.
- Batista, V. A. R. (2014), “*Reabilitação sustentável: Análise integrada de edifícios habitacionais da alta de Coimbra*”, dissertação, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.
- Bourscheid, J. A., Souza, R. L. (2010), “*Resíduos de construção e demolição como material alternativo*”, 1ª ed., Florianópolis, IF-SC.
- Brás, L. F. G. (2015), “*Análise técnico-económica da reabilitação de edifícios antigos no âmbito das especialidades complementares de engenharia civil*”, dissertação, Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Brito, J. N. de S.; Formoso, C. T.; Echeveste, M. E. (2011), Análise de dados de reclamações em empreendimentos habitacionais de interesse social: estudo do Programa de Arrendamento Residencial, “*Ambiente Construído*”, v. 11, n. 4, out./dez.
- Bruntland, G. (1987), “*Our common future*”, Report of the World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford.
- Campelo, V.; Cavalcante, R. J. (2013), “*Obras Públicas – A jurisprudência do TCU. 2ª ed.*”, Belo Horizonte, Fórum.
- Carraro, C. L.; Dias, J. F. (2014). Diretrizes para prevenção de manifestações patológicas em habitações de interesse social, “*Ambiente Construído*”, v. 14, n. 2, abr./jun.
- Correia, G. de B. (2009), “*Estudo de casos – Gestão de operações de reabilitação de edifícios antigos*”, dissertação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cupertino, D.; Brandstetter, M. C. G. de O. (2015), Proposição de ferramenta de gestão pós-obra a partir dos registros de solicitação de assistência técnica, “*Ambiente Construído*”, v. 15, n. 4, out./dez.
- Ioshimoto, E. (1988). “*Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais*”. In: IPT, Tecnologia de edificações, São Paulo, Pini.
- Jesus, C. R. M, de. (2008), “*Análise de custos para reabilitação de edifícios para habitação*”, dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Mateus, R. F. M. da S. (2009), “*Avaliação da sustentabilidade da construção: Proposta para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*”, tese, Universidade do Minho.
- Martins, D. M. (2011), “*Estrutura geral de custos em obras de reabilitação de edifícios em alvenaria de pedra existentes*”, dissertação, Instituto Politécnico de Viseu.
- Miragaia, R. A. M. de A. (2011), “*Cooperação de empresas em obras de reabilitação*”, dissertação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Mikhailova, I. (2004), Sustentabilidade: Evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática, “*Revista Economia e Desenvolvimento*”, n. 16.
- Possani, E. Demiliner, C. A. (2017), Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral, “*Revista Técnico-Científica do CREA-PR*”, Curitiba.
- Qualharini, E. L. (2017), Evolução da reabilitação predial no século XXI, *Gestão & Gerenciamento*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 6.
- Qualharini, E. L., Ducap, V. M. B., Oriolli, A. (2001). “*Considerações sobre manutenção e reabilitação predial frente as questões de auto sustentabilidade*” in: Congresso Nacional da Construção, Lisboa: APFAC (Portugal).
- Rodríguez, A. D., Romacora, A. M., Vallejo, P. G., Sánchez, A. F., Marrero, M. (2017), Building rehabilitation versus demolition and new construction: Economic and environmental assessment, “*Environmental Impact Assessment Review*”, n. 66.
- Sáez, P. V., Merino, M. D. R., Porrás-amores, C., Astorqui, J. S. C., Pericot, N. G. (2019), Analysis of best practices to prevent and manage the waste generated in building rehabilitation works. *Sustainability*, v. 11, n. 10.
- Santos, H. de P.; Starling, C. M. D.; Andery, P. R. P. (2015), Um estudo sobre as causas de aumentos de custos e de prazos em obras de edificações públicas municipais, “*Ambiente Construído*”, v. 15, n. 4, out./dez.

- Thomaz, E. (2001), "*Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção*", São Paulo, Pini.
- Thomsen, A.; Van, F. K. (2009), Replacement or renovation of dwellings: the relevance of a more sustainable approach, "*Building Research e Information*", v. 37, n. 5-6.
- Torgal, F. P., Jagali, S. (2010), "*A sustentabilidade dos materiais de construção*", 2ª ed., Guimarães, TecMinho.
- Villa, S. B., Ornstein, S. W. (2013), "*Qualidade Ambiental na habitação*", São Paulo, Oficina de Textos.

Inspeção de Obra de Arte Especial utilizando a metodologia GDE/UnB

D.F. RIBEIRO¹; M. A. MACHADO^{2*}; A. R. A. OMORE³; P. V.G. FREITAS⁴;
V. A. COELHO⁵; F. G. S. SILVA⁶;

*Autor de Contato: marina.machado@outlook.com

¹ Engenheiro Civil, UNIJORGE, Salvador, Brasil

² Graduada em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

³ Graduado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da UFBA, Salvador, Brasil

⁴ Área de construção civil, SENAI CIMATEC, Salvador, Brasil

⁵ PPEC, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁶ Departamento de Construção e Estruturas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo inspecionar o viaduto Marta Vasconcelos, na cidade de Salvador, com a aplicação da metodologia GDE/UnB, quantificando seu nível de degradação, classificado como crítico, com a necessidade de inspeção especial de acordo a NBR 9452 (2016) e prazo de intervenção imediata. A metodologia se mostrou apropriada ao estudo desta estrutura, estando o resultado coerente com o observado em vistoria, onde se constatou a presença de diversas manifestações patológicas, das quais se destacam: ausência de recobrimento, oxidação das armaduras, deslocamento de concreto e ausência de tratamento nas juntas de dilatação. A cidade apresenta diversas obras de arte especiais em situação semelhante à analisada e entende-se necessário que sejam realizadas inspeções e intervenções emergenciais pelo poder público.

Palavras-chave: Viadutos; Degradação; Inspeção.

Inspection of bridges using the GDE/UnB methodology

ABSTRACT

This study aimed to inspect Marta Vasconcelos viaduct, in the city of Salvador, with the application of the GDE/UnB methodology, quantifying its degradation level, classified as critical, with the need for special inspection according to NBR 9452 (2016), with immediate intervention deadline. The GDE/UnB methodology proved to be appropriate for this study, and the result was consistent with the expectation generated after its inspection, which revealed several pathological manifestations such as: lack of coating, oxidation of reinforcement, concrete peeling and no treatment in expansion joints. Salvador has several bridges and viaducts in a similar situation to the one analyzed, it is necessary to carry out inspections and adoption of emergency interventions by the government.

Keywords: Viaducts; Degradation; Inspection.

Inspección de puentes utilizando la metodología GDE/UnB

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo inspeccionar el viaducto Marta Vasconcelos, en Salvador, con aplicación de la metodología GDE/UnB, cuantificando su nivel de degradación, clasificado como crítico, con necesidad de inspección especial, según NBR 9452 (2016), con un período de intervención inmediata. La metodología GDE/UnB se mostró apropiada para el estudio de esta estructura, encontrándose el resultado consistente con la expectativa generada luego de su inspección, donde se encontraron varias manifestaciones patológicas, entre las que destacan las siguientes: Ausencia de recubrimiento, oxidación del refuerzo, pelado del hormigón y sin tratamiento en juntas de dilatación. La ciudad tiene varios viaductos en situación similar a la analizada, se considera necesario realizar intervenciones de emergencia por parte del gobierno.

Palabras clave: Viaductos; Degradación; Inspección.

1. INTRODUÇÃO

O advento do concreto armado possibilitou a construção de estruturas capazes de vencer grandes vãos, em alturas elevadas, diferentemente do que se observa em construções históricas, estas, executadas, de forma geral, como estruturas em arco, trabalhando quase que exclusivamente sob compressão, com mínimos esforços de tração. Tão logo se verificou a eficiência do concreto armado para estruturas com estas características, este passou a ser utilizado em larga escala na construção de pontes e viadutos, que são estruturas destinadas à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via.

Conforme Costa (2016), obras de arte especiais (OAE) caracterizam-se por construções diferenciadas, o que se deve à sua funcionalidade e aos esforços aos quais se submetem normalmente.

As OAE estão, de forma geral, constantemente, submetidas a condições climáticas intensas e variadas, e utilização constante, necessitando, desta forma, de um planejamento de inspeções periódicas, para aferição e acompanhamento do seu nível de degradação, assim como definição de medidas corretivas e seus prazos de execução. A NBR 9452 (ABNT, 2016) preconiza, dentre outros aspectos, os tipos de inspeção para as OAE, sendo estas, conforme normatizado:

- Inspeção Inicial ou Cadastral, que se trata primeira inspeção da obra e deve ser efetuada imediatamente após concluída esta, outras etapas posteriores, ou quando houver alterações;
- Inspeção Rotineira, acompanhamento periódico, visual, sem utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizada em prazo não superior a um ano;
- Inspeção Especial, deve incluir mapeamento gráfico e quantitativo das manifestações patológicas dos elementos aparentes e/ou acessíveis da obra de arte especial, objetivando diagnósticos;
- Inspeção Extraordinária, ocorre por eventos não programados como: impacto causados por acidentes; fenômenos naturais e outros.

De acordo com Bertolini (2010), a partir da década de 1980, se fez necessário, a inspeção mais criteriosa das manifestações patológicas em estruturas de concreto, devido à grande quantidade de eventos de degradação acelerada, gerando riscos à segurança e elevados custos de manutenção.

Vale ressaltar que custos de manutenção e inspeção, tendem ser consideravelmente inferiores aos custos de recuperação de estruturas, e, tais medidas devem ser adotadas, não só pela economia financeira, como também pela segurança e manutenção da utilidade e finalidade da estrutura. Segundo Hyall (2010), a degradação de uma estrutura é afetada, dentre outros motivos, pela sua forma, materiais empregados e qualidade da construção, ação do fogo, natureza e intensidade do tráfego.

De acordo com o Manual de Uso, Operação e Manutenção NBR 15575-1 (ABNT, 2013), uma determinada estrutura apresenta uma vida útil estimada, durante a qual o projeto deverá atender de forma eficiente sua finalidade, conforme sua devida utilização e planos de manutenção. A vida útil estimada para OAE é de 25 anos, conforme estudo de caso realizado por Verderesi (2015).

O conceito de durabilidade e desempenho das OAEs, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), consiste na sua capacidade, em manter-se segura e estável durante o período de sua vida útil estando submetida a determinada classe de agressividade ambiental.

Destacam-se alguns danos mais frequentes em estrutura de concreto, estes verificados na OAE inspecionada, conforme Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAEs, sendo estes: carbonatação; cobrimento deficiente; contaminação por cloretos; corrosão de armaduras; desagregação do concreto; eflorescência; fissuração; manchas; obstrução de juntas de dilatação; sinais de esmagamento do concreto; umidade excessiva.

Quanto a definição de patologias, Helene (1997) afirma tratar-se de ramo da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, enquanto Cánovas (1988), descreve a patologia com sendo campo de estudos que analisa os mecanismos, sintomas, causas e origens dos defeitos construtivos, sendo possível, em situações específicas, realizar um diagnóstico através de verificação sensorial, como a metodologia GDE/UnB, adotada neste trabalho.

Segundo Costa (2016), a metodologia GDE/UnB, adaptada por Verly (2015), atende à finalidade de inspecionar danos em Obras de Arte Especiais, devendo, este, porém, passar por melhorias ao longo do tempo conforme se aprofundam os estudos e práticas de sua aplicação. Verifica-se em Verly (2015) que a metodologia GDE/UnB necessitava de adaptações para sua aplicação em OAEs, tendo sido ajustada para esta finalidade, conforme demonstrado em seu trabalho.

O objetivo deste trabalho é apresentar estudo de caso de inspeção visual de uma OAE, parametrizando e mensurando as manifestações patológicas encontradas, apresentando quantitativamente o nível de deterioração e prazo para intervenção.

2. MÉTODOLOGIA GDE/UnB

No estudo de caso apresentado adotou-se a metodologia GDE/UnB adaptada e aperfeiçoada para inspeção em OAEs por Verly (2015). A metodologia foi desenvolvida, primordialmente, por Castro (1994), e aperfeiçoada por Euqeres (2011).

A metodologia utilizada consiste na inspeção visual que possibilite a mensuração, quantificação e definição do grau de deterioração de determinada estrutura. Esta permite uma classificação com menor subjetividade inerente ao profissional, em relação ao estado da estrutura, através de padronização e quantificação das circunstâncias observadas.

Ainda de acordo com Verly (2015), o perito, após efetuar inspeção visual deve proceder com as seguintes etapas para aplicação do método:

- i. Classificação dos elementos distintos em famílias, de acordo com suas funções e importância na estrutura.
- ii. Relacionar cada dano, de cada elemento, ao seu respectivo fator de ponderação – Fp, de acordo com os valores recomendados:

Tabela 1 - Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (Fp) - Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB

Danos	Patologias	Fp
1	Carbonatação	3
2	Cobrimento Deficiente	3
3	Contaminação por Cloretos	4
4	Corrosão de Armaduras	5
5	Desagregação	3
6	Desvio de Geometria	4
7	Eflorescência	2
8	Desplacamento	3
9	Fissuras	2 a 5*
10	Umidade Excessiva na Estrutura	4
11	Manchas	3
12	Recalque	5
13	Sinais de Esmagamento	5
14	Umidade na Base	3

Os valores F_p devem ser preenchidos previamente à inspeção, exceto o item fissuras, cujo valor de F_p é definido no momento da inspeção de acordo com as Tabelas de Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p) do Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB.

- i. Relacionar cada dano ao fator de intensidade – F_i respectivo nas famílias, conforme pode se verificar no Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB, na Tabela de Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i).
- ii. Calcular Grau do Dano – D , de acordo com as seguintes equações (1) e (2):

$$D = 0,8 \times F_i \times F_p \text{ para } F_i \leq 2,0 \quad (1)$$

$$D = (12 \times F_i - 28) \times F_p \text{ para } F_i \geq 3,0 \quad (2)$$

- iii. Calcular o Grau de Deterioração do elemento – G_{de} , realizando análise do conjunto de elementos, conforme a seguinte equação (3):

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \times \left[\frac{1 + (\sum_{i=1}^n D_i) - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] \quad (3)$$

Onde:

G_{de} = Grau de deterioração do elemento;

D_i = Grau do dano de índice “i”;

$D_{m\acute{a}x}$ = Maior grau de dano encontrado no elemento;

n = Número de danos encontrados no elemento.

- iv. Calcular o Grau de Deterioração da família – G_{df} , cujo objetivo é analisar o conjunto dos elementos da mesma família, conforme a seguinte equação (4):

$$G_{df} = G_{de, m\acute{a}x} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de, m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}}} \quad (4)$$

Onde:

$G_{de, m\acute{a}x}$ = Maior grau de deterioração encontrado na família do elemento;

$G_{de,i}$ = Graus de deterioração apresentados pelos elementos da família (≥ 15);

m = número de Elementos com $G_{de} \geq 15$.

Deve ser observado que na Equação 4 são considerados apenas os valores de G_{de} iguais ou superiores a 15. A necessidade de consideração de um valor mínimo para o G_{de} foi constatada no desenvolvimento da metodologia por Castro (1994), que simulou a ocorrência simultânea de todos os danos possíveis em uma determinada família, onde foi atribuído o valor de F_i igual a 2,5 para todos os danos. O processo foi repetido para todas as famílias, obtendo-se para todas elas valores de G_{de} próximos a 15, surgindo então a recomendação de utilização apenas de valores iguais ou superiores a 15.

- v. Introduzir o Fator de Relevância Estrutural – Fr relativa a cada família de elementos em relação a toda a estrutura, conforme divisão adotada por Euqueres (2011) e Verly (2015), conforme segue:

Tabela 3 - Fatores de relevância estrutural para OAEs (adaptado de Verly, 2015)

Família	Fr
Barreiras, guarda-corpo, guarda-rodas, pista de rolamento	1
Juntas de dilatação	2
Transversinas, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

- vi. Calcular o Grau de Deterioração da Estrutura – Gd, a partir dos valores de Gdf calculados ponderados pelo fator de relevância estrutural (Fr) para cada família, conforme a seguinte equação (5):

$$Gd = \frac{\sum_{i=1}^k (Fr,i \times Gdf,i)}{\sum_{i=1}^k Fr,i} \quad (5)$$

Onde:

k = Número de famílias da estrutura;

Fr,i = Fator de relevância estrutural da família de ordem “i”;

Gdf,i = Grau de deterioração da família de ordem “i”.

- vii. Por fim, conforme o valor de Gd calculado, define-se a ação a ser recomendada, de acordo com a Metodologia GDE/UnB, conforme segue:

Tabela 4 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e ações recomendadas em função dos valores de Gd (adaptado de Verly, 2015)

Nível de Deterioração	Gd	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

3. OBJETO DE ESTUDO

Esta OAE se trata, de fato, de um complexo composto por duas estruturas semelhantes, porém, independentes, cada uma destas atendendo a um sentido de tráfego. O presente trabalho consistiu na inspeção do Viaduto II, situado ao lado direito no sentido Norte – Sul, cujo tráfego consiste no sentido Comércio – BR 324.

O Viaduto Marta Vasconcelos II está localizado no bairro do Aquidabã, na cidade de Salvador (Figuras 1 e 2) e apresenta comprimento de cerca de 129,00 metros, largura total de 9,50 metros, duas faixas de rolamento. Este apresenta 8 pilares, dispostos em 4 pares, formando assim 5 vãos. Os pilares foram numerados no sentido Norte – Sul, da esquerda para a direita, sendo pilar esquerda da primeira linha de pilares considerado como nº 1, aquele à sua direita nº 2, e assim sucessivamente. Os vãos foram numerados no sentido Norte – Sul, sendo o vão nº 1, aquele situado entre a cabeceira e os pilares 1 e 2, o vão nº 2 situado entre os pilares 1 e 2, e os pilares 3 e 4, assim sucessivamente.



Figura 1 – Vista Geral



Figura 2 – Vista Aérea (Fonte: Google Earth)

A mesoestrutura é constituída por 10 pilares, numerados conforme detalhado, dispostos em 5 linhas com 2 elementos cada. A seção transversal dos pilares é retangular, nas dimensões de 1,25 m x 0,60 m, todos em concreto armado moldado “in loco”. Os aparelhos de apoio são em neoprene.

A superestrutura em concreto armado é composta por 6 vãos, sendo a seção transversal do Viaduto em estrutura de caixão com lajes superior e inferior e almas externas, denominadas como sendo alma externa esquerda e alma externa direita, havendo ainda as lajes em balanço em ambos os lados, as quais foram denominadas como sendo esquerda e direita.

O pavimento verificado na OEA é asfáltico, com duas faixas de rolamento, um único sentido de tráfego. Não possui acostamento ou faixa de segurança, possuindo calçada. Não há barreira rígida, nem defensas metálicas nas proximidades da obra. Há guarda-corpo metálico, em ambos os lados da pista.

Verifica-se a presença de juntas de dilatação, próxima aos pilares 7 e 8 e extremidades, e o sistema de drenagem que atua por gravidade nos trechos inclinados, onde a água pluvial escoo pela sarjeta e é encaminhada aos bueiros, havendo pingadeiras na estrutura.

Conforme se verifica no Anexo G da NBR 9452 (ABNT, 2016), a convenção de nomenclatura da OAE é classificada como longarina em estrutura celular com almas interna e externa, com lajes em balanço, calçada, sem barreira fixa, com a presença de guarda corpo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Manifestações Patológicas Verificadas na OAE

Conforme inspeção realizada no local, destacamos as seguintes manifestações patológicas conforme famílias de elementos:

4.1.1. Aparelhos de apoio

Os aparelhos de apoio (Figura 3), constituídos por suportes em neoprene, estes situados entre os pilares e a laje inferior, são responsáveis pela absorção dos esforços gerados pela movimentação da estrutura, e se encontram, de forma geral, deteriorados, deformados, apresentando redução de seção em alguns locais, principalmente nos pilares 7 e 8.



Figura 3 – Apoio em neoprene

4.1.2. Pilares

O Pilar 2 apresenta deslocamento de concreto na sua ligação com a Alma externa direita, conforme Figura 4.



Figura 4 – Deplacamento Pilar 2

Os Pilares 3 e 4 apresentam grandes manchas de umidade (Figura 5), como também, apresentam crescimento de vegetação em toda a sua extensão, principalmente o pilar 4, o que gera danos à estrutura, seja pela ação mecânica das raízes, ou pelo acúmulo de umidade no local, conforme Figura 6. Ressalta-se a gravidade da vegetação verificada no local, visto que esta pode vir a movimentar o apoio e desestabilizar o tabuleiro por conta das tensões provocadas pelo desenvolvimento da planta.



Figura 5 – Manchas Pilares



Figura 6 – Crescimento de vegetação no Pilar 4

O Pilar 3 apresenta, conforme Figura 07, em alguns locais, alto grau de degradação do concreto, que apresenta deslocamento da cobertura de proteção, com exposição das ferragens que se encontram oxidadas, apresentando também grande concentração de umidade, e indícios de carbonatação.



Figura 7 – Deslocamento de Concreto e exposição de ferragens no pilar 3

Os Pilares 5 e 6 apresentam manchas de umidade, conforme Figura 8, com deslocamento de concreto de recobrimento e armaduras expostas em suas bases.



Figura 8 – Armadura exposta no Pilar 5

Observa-se na Figura 9, que os Pilares 7 e 8 apresentam manchas de umidade, e, verifica-se que o recobrimento do concreto em suas bases foi reparado. Porém, constata-se por inspeção visual que este recobrimento foi recomposto por argamassa com aparência porosa, aparentemente inadequado para tal. Desta forma, há a necessidade de retirada do recobrimento executado, tratamento das ferragens, com possível recomposição da seção da armadura, e aplicação de novo recobrimento em argamassa estrutural de alta resistência.



Figura 9 – Recomposição de recobrimento de armadura nos Pilares 7 e 8

4.1.3. *Cortina Cabeceira Sul*

A contenção em concreto armado situada na cabeceira sul da OAE (Figura 10), apresenta alto grau de deterioração, onde verifica-se exposição das armaduras, deslocamento e fissuração do concreto no local.



Figura 10 – Deterioração da estrutura de contenção na Cabeceira Sul da OAE

4.1.4. *Mesoestrutura*

Verifica-se por toda a superestrutura composta pela laje inferior, almas externas e lajes em balanço a presença de manchas de umidade causadas por sistema de drenagem deficiente, uma vez que, embora o escoamento da água seja por gravidade até os bueiros coletores, há acúmulo de água na sarjeta. Além da inclinação inadequada, o escoamento da água é prejudicado com o acúmulo de material (sujeira) na sarjeta. Observa-se que parte dessa água está infiltrando para o interior do caixão, pela grande quantidade de manchas de umidade e eflorescências verificadas, não havendo, aparentemente, sistema de drenagem no interior do caixão. O desenvolvimento de anomalias é facilitado com a presença de água, principalmente a ocorrência de corrosão das armaduras, além de promover a sua rápida evolução, contribuindo também para a deterioração do concreto.

Verifica-se no Vão 1, conforme Figura 11, situado entre a Cabeceira Norte e os Pilares 1 e 2, a presença manchas causadas fogueiras provenientes de habitações irregulares sob a OAE, de eflorescências, fissuras e exposição de armaduras na laje inferior, almas externas e lajes em balanço por toda a sua extensão.



Figura 11 – Vista Vãos 1 e 2, Pilares 1 e 2

Conforme Figuras 12, 13, 14, 15, observa-se no vão 3 destaca-se a presença de fissuras na laje inferior, como também danos à estrutura (laje inferior e alma externa direita) com exposição e rompimento de armaduras, causados por provável impacto de veículo.



Figura 12 – Fissuras Vão 3



Figura 13 – Rompimento de armadura Vão 3



Figura 14 – Laje Balanço Direita



Figura 15 – Alma Externa Direita

4.1.5. Pavimentação e Junta de Dilatação

As juntas de dilatação encontram-se, de modo geral, obstruídas pela cobertura asfáltica, com surgimento de trincas e fissuras nessas áreas, estas, decorrentes da movimentação da estrutura, conforme Figuras 16 e 17. Na face superior da OAE verifica-se sobre o tabuleiro da laje superior a execução de pavimento do tipo flexível constituído por massa asfáltica CBUQ. Especificamente no pavimento flexível verificou-se de maneira generalizada, a ocorrência de áreas com reparos deficientes e desagregação, além de observadas diversas trincas e fissuras região com recalque do revestimento asfáltico.



Figura 16 – Pavimento sobre junta de dilatação



Figura 17 – Pavimentação

4.1.6. Calçada e Guarda Corpo

Verifica-se que as calçadas, assim como o guarda corpo lateral, apresentam danos diversos, com necessidade de reparos, conforme se observa na Figura 18.



Figura 18 – Vista Calçada e Gradis

4.2. Quantificação dos danos

Considerando as manifestações patológicas verificadas na OAE constadas conforme inspeção visual realizada durante visita técnica, classificou-se, primeiramente, os elementos por famílias conforme suas funções estruturais, seguindo com as etapas referentes à metodologia adotada, sendo estas: mensuração, quantificação e definição do grau de deterioração.

Assim, após classificação de 9 famílias de elementos, calculou-se cada Grau de deterioração da família (GDF) referente a estas, aplicando-se em seguida os respectivos Fr definidos na Tabela 3, conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos respectivos Gdf e Fr por família de elemento

Item	Elementos Avaliados	Gdf	Fr
1	Pilares Principais	225,71	5
2	Viga	157,11	5
3	Lajes	70,47	4
4	Aparelhos de Apoio	137,84	4
5	Cortinas	72,86	4
6	Juntas de Dilatação	186,48	3
7	Pista de Rolamento	87,27	1

8	Calçadas	87,27	1
9	Guarda Corpo	80,00	1

Em seguida foi possível calcular conforme a equação 5, o grau de deterioração da estrutura – Gd, cujo resultado é de 134,48, caracterizando-se a estrutura analisada, conforme Tabela 4, com um nível de deterioração crítico. Portanto, conclui-se que a OAE apresenta a necessidade de inspeção especial emergencial, de acordo a NBR 9452 (ABNT, 2016), com prazo de intervenção imediata.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho consistiu em um estudo de caso, cujo objetivo foi mensurar de forma numérica as condições da OAE em análise, conforme inspeção visual, classificando o estado atual da sua estrutura e indicando um prazo para adoção de intervenções para sua recuperação, através da metodologia GDE/UnB, adaptada por Verly (2015) para verificação de obras de arte especiais.

Após a aplicação da metodologia adotada, constatou-se que o Viaduto Marta Vasconcelos, situado no bairro do Aquidabã, município de Salvador, encontra-se em situação caracterizada como crítica, devendo este ser submetido a inspeção especial, com adoção de plano de intervenção imediata para sua recuperação. Verifica-se que a família dos pilares é a que apresenta maior grau de deterioração.

Conclui-se também que a metodologia GDE/UnB se mostrou apropriada ao estudo desta estrutura, estando o resultado encontrado coerente com a expectativa gerada após a sua vistoria, onde constatou-se diversas manifestações patológicas descritas anteriormente, das quais destacam-se: ausência de recobrimento, oxidação das armaduras, deslocamento de concreto e ausência de tratamento nas juntas de dilatação.

É relevante destacar que se observa no município de Salvador, diversas Obras de Arte Especiais se encontram em situação semelhante à analisada, sendo fundamental e emergencial a adoção de inspeções e execução de plano de intervenções nestas estruturas, por parte do poder público.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 9452: *Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto*. Rio de Janeiro

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 15575: *Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1*. Rio de Janeiro

Bertolini, L. (2010), “*Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção*”. São Paulo: Oficina de Textos.

Castro, E.K. (1994), “*Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado*”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Costa, H. O. (2016). *“Avaliação de patologias em obras de arte especiais utilizando a metodologia GDE/UnB”*.

De Lima, H. J. N., et al. (2019). *“Manifestações patológicas em viadutos de concreto estrutural: estudo de caso em Brasília/DF”*. Revista InterScientia.

Euqerres, P., et al. (2011). *“Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado”*.

Fernández Cánovas, M. (1988). *“Patologia e terapia do concreto armado. Tradução de M. Celeste Marcondes, Carlos Wagner Fernandes dos Santos, Beatriz Cannabrava.”*. São Paulo: Pini.

Ferreira, B. M. (2016). *“Análise quantitativa da Ponte do Bragueto-DF utilizando a metodologia GDE/UnB.”*

Fonseca, R. P. (2007). *“A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção.”* Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Medeiros, A. G. de (2015). *“Análise de durabilidade da ponte do Rio do Carmo utilizando ensaios não destrutivos, norma DNIT e a metodologia GDE/UNB.”*

Mendes, V. G. (2014). *“Avaliação quantitativa dos danos na estrutura de concreto armado da Biblioteca Central da UnB e proposta de plano de gestão da manutenção dos edifícios da Universidade.”*

Moreira, R. D. (2015). *“Levantamento das manifestações patológicas em uma instituição de ensino superior no Distrito Federal: estudo de caso”*.

Teles, R. F. (2018). *“Análise quantitativa de estruturas similares em concreto armado utilizando a metodologia GDE/UNB-estudo de caso.”*

Verly, R. C. (2015). *“Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais”*.

Resistencia al ataque ácido en pastas de activación alcalina basadas en escoria de alto horno

Marcillo ¹, A., Mellado ¹, A., Borrachero ¹, M.V., Monzó ¹, J., Soriano ¹, L., Payá ^{1*}, J.

*Autor de Contacto: jjpaya@cst.upv.es

¹ Grupo de Investigación en Química de los Materiales de Construcción (GIQUIMA), Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH), Universitat Politècnica de València, València, España.

RESUMEN

El objetivo es la cuantificación de la durabilidad en medio ácido de cemento obtenido por la activación de la escoria de alto horno por medio de hidróxido sódico o de hidróxido potásico. El trabajo se centró en el análisis de pastas y se comparó con una pasta de cemento Portland. Para ello, se ha usado las técnicas de la medida de la capacidad de neutralización ácida sobre pasta pulverizada y la medida de la masa residual de probetas sumergidas en medios de concentración conocida de ácido nítrico. La conclusión más relevante es que las pastas de activación alcalina tienen una mayor durabilidad que las pastas de cemento Portland: los geles C-A-S-H son más resistentes al ácido que los geles C-S-H.

Palabras clave: Activación alcalina; escoria de alto horno; ataque ácido; durabilidad; estabilidad de geles cementantes.

ABSTRACT

The objective is the quantification of the durability in an acid medium of the cement obtained by the activation of blast furnace slag by means of sodium hydroxide or potassium hydroxide. The work focused on the analysis of pastes and the behaviour was compared to the Portland cement paste. For this, the techniques of measuring the acid neutralization capacity on pulverized paste and the measurement of the residual mass of paste specimens immersed in acid nitric media of a given concentration have been used. The most relevant conclusion is that alkali activated pastes have a greater durability than Portland cement pastes: C-A-S-H gels are more acid resistant than C-S-H gels.

Keywords: Alkaline activation; blast furnace slag; acid attack; durability; stability of cementitious gels.

RESUMO

O objetivo é a quantificação da durabilidade em meio ácido do cimento obtido pela ativação da escória de alto-forno por meio de hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio. O trabalho centrou-se na análise de pastas e foi comparado com uma pasta de cimento Portland. Para tanto, foram utilizadas as técnicas de medição da capacidade de neutralização de ácido em pasta pulverizada e medição da massa residual de amostras de pastas imersas em um meio com concentração conhecida de ácido nítrico. A conclusão mais relevante é que as pastas de ativação alcalina têm uma durabilidade melhor do que as pastas de cimento Portland: os géis C-A-S-H são mais resistentes aos ácidos do que os géis C-S-H.

Palavras-chave: Ativação alcalina; escória de alto-forno; ataque ácido; durabilidade; estabilidade de géis cimentícios.

1. INTRODUCCIÓN

Los cementos de activación alcalina (AAC, Alkali Activated Cement) son una alternativa interesante a los cementos tradicionales basados en clinker de cemento Portland (OPC, Ordinary Portland Cement), puesto que presentan algunas ventajas tanto tecnológicas (buena resistencia mecánica, resistencia a medios ácidos y, en ocasiones, altas temperatura) como medioambientales (menor huella de carbono, posibilidad de uso de subproductos y residuos industriales, agrícolas y urbanos).

La escoria de alto horno (BFS, Blast Furnace Slag) se ha mostrado como un precursor con excelentes prestaciones en los cementos de activación alcalina, puesto que requiere de unas condiciones suaves de curado (fragua y endurece a temperatura ambiente) y se activa con concentraciones relativamente bajas de activador (hidróxido sódico, carbonato sódico y silicato sódico, así como también con las correspondientes sales potásicas).

Entre otras características, se espera que los nuevos ACC tengan buena durabilidad y resistencia en ambientes agresivos. Concretamente, los ambientes ácidos (entornos industriales, colectores de aguas residuales, empresas de gestión de determinados tipos de fertilizantes), son entornos que ponen en tela de juicio la durabilidad de los sistemas basados en OPC (Zivica & Bajza, 2002). La presencia de una gran cantidad de sales cálcicas (fundamentalmente portlandita y silicatos cálcicos hidratados C-S-H), como productos de la hidratación del OPC, hace que este conglomerante sea muy sensible al ataque ácido (ácidos nítrico, clorhídrico, sulfúrico, entre otros) (Zivica & Bajza, 2001). El ataque ácido supone una decalcificación del C-S-H (Duchesne & Bertron, 2013) que hace que disminuya la resistencia mecánica. En el caso de la activación alcalina de BFS, también los hidratos son ricos en calcio, con una composición basada en gel de silico-aluminato cálcico hidratado (C-A-S-H): la presencia de alúmina reactiva en BFS hace que los geles cementantes obtenidos, de estructura similar a C-S-H, contengan una menor proporción de calcio y una cierta proporción de álcalis (sodio/potasio) (Aiken et al. 2021). La naturaleza de estos geles, de tipo sódico-cálcico o potásico-cálcico (C(N)-A-S-H y C(K)-A-S-H), hace que sean más resistentes al ataque ácido. En principio, la porosidad de estos sistemas es menor que en los basados en OPC, lo que constituye un factor determinante para el ingreso de agentes agresivos desde el exterior (Bernal & Provis, 2014). Se ha reportado que los sistemas de BFS activados con mezcla de silicato y de hidróxido sódicos son más estables que los sistemas de OPC frente al ataque de ácido acético a pH=4 (Bakharev et al. 2003): en este caso los autores proponen que la mayor vulnerabilidad de los C-S-H procedentes de la hidratación del OPC es atribuible a la mayor proporción molar Ca/Si (alrededor de 1.7) en estos geles cementantes; por otra parte, los geles generados en la activación de BFS presentan menor proporción Ca/Si (alrededor de 1.0) lo que hace que sean más estables frente a la decalcificación. La resistencia al ácido de sistemas BFS activados con hidróxido sódico y de hidróxido potásico se ha evaluado frente al ataque de ácido clorhídrico, ácido acético y cloruro amónico (Pereira et al. 2015): en estos casos se ha observado una menor pérdida de masa de los morteros frente al sistema OPC.

El objetivo de esta investigación es analizar y cuantificar el comportamiento de cementos de activación alcalina basados en BFS y activados con hidróxido sódico (NaOH) y con hidróxido potásico (KOH). Se compara dicho comportamiento con el sistema basado en OPC. El análisis comparativo se realiza a través de (Pérez, 2015): a) la determinación de la capacidad de neutralización ácida (ANC, acid neutralization capacity) determinada a pH 7, 4 y 2; b) la evaluación de la masa residual de especímenes de cemento Portland y de escorias activadas alcalinamente a pH 2 y a pH 0, usando ácido nítrico como agente agresivo.

2. PROCEDIMIENTO

2.1. Materiales utilizados

El cemento Portland comercial (OPC), procedente de Cementval (Puerto de Sagunto, España), es del tipo CEM I-52.5R según la clasificación de la UNE EN 197-1. La escoria (BFS) también fue suministrada por la misma empresa. La composición química del OPC y la BFS se muestra en la Tabla 1. La diferencia en el contenido en CaO entre ambos conglomerantes es notable, siendo mucho mayor para el OPC (63.98%) que para la BFS (40.15%). Los hidróxidos utilizados, en formato de pellets, fueron suministrados por PANREAC QUÍMICA SLU (Castellar del Vallès, Barcelona). La pureza del hidróxido potásico (KOH) era del 85% y la del hidróxido sódico (NaOH) era del 98%. El ácido nítrico (HNO_3) fue suministrado por la misma empresa, con una pureza del 69% y una densidad de 1.441g/cm^3 . Las disoluciones preparadas a partir del ácido nítrico comercial se normalizaron mediante valoración con carbonato de sodio e indicador naranja de metilo.

Tabla 1. Composición química del cemento CEM I-52.5R (OPC) y la escoria (BFS).

Óxido	OPC	BFS
CaO	63.98	40.15
SiO ₂	18.54	30.53
Al ₂ O ₃	3.74	10.55
Fe ₂ O ₃	2.78	1.29
K ₂ O	1.11	0.57
Na ₂ O	0.37	0.87
SO ₃	4.41	1.93
MgO	2.14	7.43
Otros	0.96	1.15
Pérdida al fuego	1.95	5.53

2.2. Equipamiento

En los ensayos de ANC se utilizó un electrodo de pH de Crison Instruments (Modelo 52 04) y un dosificador automático de Metrohm (modelo Dosimat Plus 805) acoplado a un transmisor DO9765T, de Delta-Ohm, con el que se controlaba la adición de ácido. La preparación de pastas se llevó a cabo con una amasadora planetaria Ibertest. Se usaron dos tipos de moldes para la preparación de especímenes de pasta (Figura 1). La resistencia a compresión de las probetas de (1x1x6) cm se midió con una prensa universal INSTRON modelo 3382. Para moler las pastas curadas se usó un micromolino Pulverisette 0 de Fritsch.

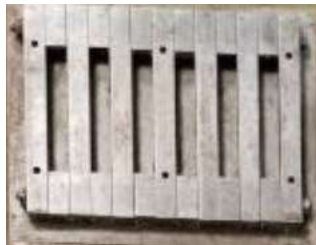


Figura 1. Moldes para la preparación de especímenes de pasta: izquierda, probetas prismáticas de (1x1x6) cm; derecha, probetas cúbicas de 4 cm de lado.

2.3. Procedimientos.

2.3.1. Preparación de disoluciones activadoras y disoluciones agresivas.

Se pesó la cantidad correspondiente de pellets de KOH o de NaOH para preparar disoluciones 4 M de estos dos hidróxidos. Las disoluciones se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente. La disolución de HNO₃ para la realización de los diferentes ensayos de ataque ácido se preparó con una concentración 1M.

2.3.2. Preparación de especímenes.

La pasta OPC se elaboró mezclando agua y OPC (con una relación en masa agua/cemento de 0.4); las pastas de activación alcalina se realizaron mezclando BFS y la disolución 4M, manteniendo una relación en masa líquido/BFS de 0.4. En ambos casos se amasó la mezcla a velocidad lenta (velocidad de rotación de la pala: 140±5 rpm; velocidad de traslación planetaria de la pala: 62±5 rpm) durante 60 segundos. La pasta de OPC se vertió en los moldes, se vibraron y se guardaron en una cámara húmeda (23°C) durante 24 horas. Posteriormente, se desmoldearon y las probetas se guardaron bajo agua con cal hidratada durante 35 días a 23°C. Para las pastas de activación, los moldes se envolvieron con film plástico y se curaron a 65°C durante 24 horas; tras el desmoldeo, las probetas se envolvieron en film plástico y se mantuvieron a 65°C durante 6 días. El uso de este proceso acelerado de curado pretendía acortar los tiempos y disponer de probetas con una resistencia mecánica adecuada en un período más reducido. Al finalizar este período, se mantuvieron dentro del film a una temperatura de 23°C hasta completar los 35 días de curado. Las pastas de cemento Portland se identifican como OPC, las pastas con escoria se identifican como BFS-N y BFS-K, donde la primera es la preparada con NaOH como activador y la segunda con KOH.

2.3.3. Ensayo mecánico a compresión.

Los prismas de (1x1x6) cm de 35 días de edad, se ensayaron a compresión colocándolos entre dos platos metálicos y ejerciendo la carga sobre las caras laterales opuestas con una velocidad de la cruceta de 1mm/min.

2.3.4. Determinación de la ANC

En la Figura 2 se muestra el montaje para la realización de este ensayo. La capacidad de neutralización ácida (ANC) se determinó sobre muestras secas a 65°C, molidas, y tamizadas por 125µm, de cada una de las pastas preparadas (de 35 días de edad). La ANC se determinó para pH 7, 4 y 2, usando el método continuo o evaluación conjunta, que supone trabajar con una sola muestra en la determinación de los tres valores de ANC (ANC₇, ANC₄ y ANC₂) (Pérez, 2015) y siguiendo las directrices marcadas por la norma EA NEN 7371:2004 (EA NEN 7371:2004, 2005). El ensayo se realizó por triplicado para cada pasta estudiada. En este ensayo, 1g de muestra se suspende en 50 mL de agua desionizada mediante agitación magnética. Se programa el dosificador y se establece en el transmisor un margen de pH entre 7.10 y 6.90. Al iniciar el proceso, el pH de la suspensión es superior a 7.10 por lo que se inicia la adición del ácido nítrico desde el dosificador; cuando el pH disminuye por debajo de 6.90, se detiene la adición; y se vuelve a repetir la adición cuando el pH supera el valor de 7.10, y así sucesivamente. Se finaliza la primera etapa cuando no se produce ninguna adición de ácido durante 15 minutos. El proceso continúa reprogramando el transmisor a pH 4, con márgenes entre 4.10 y 3.90; y por último, el ensayo finaliza con la etapa a pH 2, con márgenes entre 2.10 y 1.90. Al finalizar cada parte, se obtiene el valor de ácido

consumido para la neutralización al pH seleccionado, lo que nos permite calcular los valores de ANC en cada uno de ellos. El ANC se calcula con la siguiente ecuación (1):

$$\text{ANC} = \frac{V * C * f}{m} \quad (1)$$

Donde V es el volumen de ácido consumido en la neutralización (mL), C es la concentración del ácido (en este caso 1M) y f es el factor de concentración del ácido (obtenido a partir de la valoración del ácido con carbonato sódico); m es la masa de la muestra (g). Las unidades de ANC son mmolH⁺/g. Es importante destacar que el valor de V para pH 4 es la suma de los consumos de ácido para pH 7 y pH 4, mientras que para pH 2 es la suma de los tres volúmenes de ácido consumido.

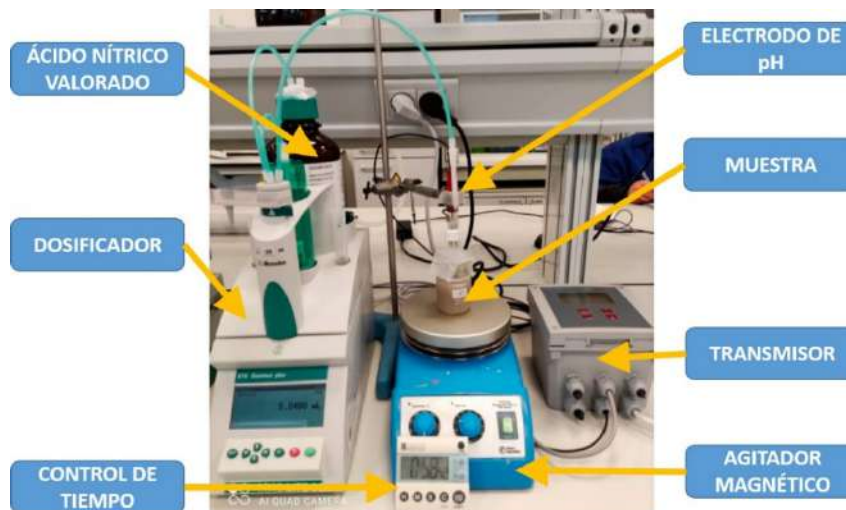


Figura 2. Montaje para la determinación de ANC.

2.3.5. Evolución de la masa en probetas prismáticas.

Se procedió a la realización del ensayo según Pérez et al (2015). Se dispusieron 200 mL de agua desionizada en un vaso de precipitados de 500 mL, con agitación magnética continua. Se introdujo una probeta de (1x1x6) cm dentro de una pequeña cesta perforada de plástico (Figura 3) y se esperó a que el pH del líquido permaneciera constante por 5 minutos. Se programó el dosificador y el transmisor para que el pH se mantuviera a 2, de manera que cuando se superaba el valor de 2.10 se activaba el vertido de ácido, mientras que cuando era inferior a 1.90 cesaba la adición. Cada cierto tiempo, se anotaba la cantidad de ácido consumido y se extraía la probeta para pesarla, tras lo cual se sumergía de nuevo en la disolución de ácido, continuando el ensayo. La duración total del ensayo fue de 120 horas.

2.3.6. Evolución de la masa en probetas cúbicas.

En esta experiencia se usó la misma concentración inicial de ácido que en el caso anterior. Se colocaron 3 probetas cúbicas en un recipiente con 1 L de ácido nítrico 1M y se monitorizó el pH, de manera que cuando se superaba el valor de 2.5, la disolución se renovaba. Cada cierto tiempo, se extraían las probetas y se procedía a determinar su masa. El ensayo se prolongó hasta un máximo de 60 días o hasta que los especímenes presentaban una masa remanente cercana al 50% de su masa inicial.

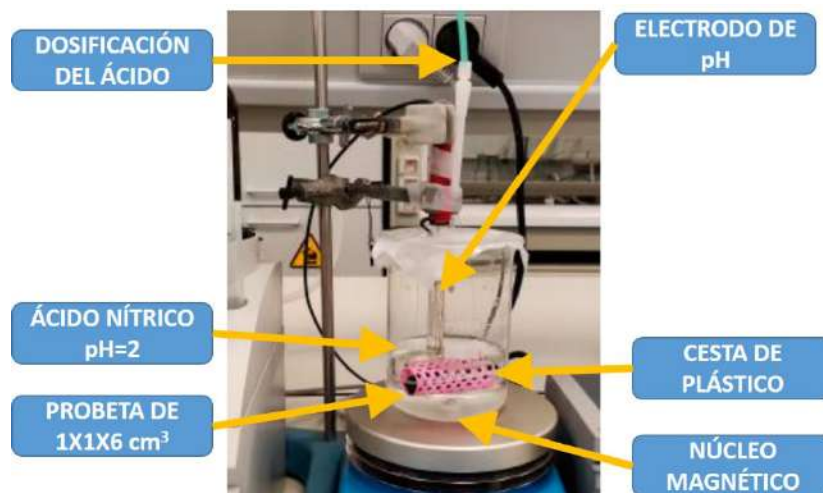


Figura 3. Detalle del ensayo de pérdida de masa en probetas prismáticas

3. RESULTADOS

En los siguientes sub-apartados se describen los valores obtenidos en cada uno de los ensayos, así como los comentarios de los aspectos más relevantes.

3.1. Resistencia a compresión.

Se determinó la resistencia mecánica a compresión usando 6 probetas prismáticas de (1x1x6) cm para las pastas OPC, BFS-N y BFS-K. En la Tabla 2 se resumen los valores y las desviaciones estándar para las probetas curadas durante 35 días. El valor de la pasta OPC es muy superior, dado que se trata de un CEM I-52.5R; los valores para las escorias activadas son significativamente inferiores debido a que solamente se ha usado hidróxido como activador y con una concentración relativamente baja de 4M. El objeto de esta dosificación fue reducir la huella de carbono para estos cementos de activación alcalina por lo que se optó por el empleo de únicamente hidróxidos alcalinos sin presencia de silicatos que hubieran dado mayor resistencia mecánica (Font et al., 2020).

Tabla 2. Resistencias mecánicas a compresión de probetas de pasta curadas 35 días.

Pasta	Resistencia a compresión (MPa)	Desviación estándar (MPa)
OPC	64.51	4.48
BFS-N	22.20	2.21
BFS-K	20.88	0.79

3.2. Capacidad de neutralización ácida (ANC).

Cuando una muestra pulverizada de pasta hidratada se suspende en agua desionizada, se produce una ligera lixiviación de las fracciones más solubles de dicha pasta. En el cemento, lo más habitual es que se disuelva algo de portlandita así como los álcalis presentes; en el caso de la escoria activada con hidróxidos, lo más probable es que se lixivie el exceso de álcali usado como activador. En el presente caso, el pH que se alcanza en la suspensión antes de iniciar el ensayo de adición de ácido fue de: 12.47 para OPC, 11.97 para BFS-N y 12.05 para BFS-K.

En la figura 4 se presenta el consumo de ácido para la muestra de OPC (una de las tres muestras analizadas). Se observa el aumento gradual del ácido consumido (expresado en mmolH^+/g) hasta que se estabiliza de forma asintótica para cada uno de los tres valores de pH establecidos (7, 4 y 2). Se puede observar que la mayor parte del ácido consumido se produce para el pH 7, lo cual significa que para ese valor se produce la neutralización de la portlandita y de una parte importante de los silicatos cálcicos hidratados (C-S-H).

En la Figura 5 se muestran las curvas correspondientes a las muestras BFS-N y BFS-K. Se puede observar que el consumo de ácido es significativamente menor para pH 7, lo cual está de acuerdo en que los geles cementantes tipo C-A-S-H producidos en la activación de la escoria son menos reactivos frente al ataque ácido a este pH (Bascarevic, 2015). Además, se observa que la estabilización se produce a tiempos más largos (unos 150 minutos frente a los 100 minutos de OPC), lo que sugiere una mayor estabilidad de los geles C-A-S-H frente a los geles C-S-H. A pH 4 el ácido consumido para BFS-N y BFS-K sigue siendo significativamente menor que para OPC, y el tiempo de ataque para esta etapa es de unos 150 minutos (frente a los 50 minutos de OPC). Finalmente, a pH 2 los geles cementantes de la escoria activada son muy inestables y el consumo de ácido es muy grande, llegando a valores similares a los que presenta OPC. En la Tabla 3 se listan los valores de ANC para cada muestra y cada pH.

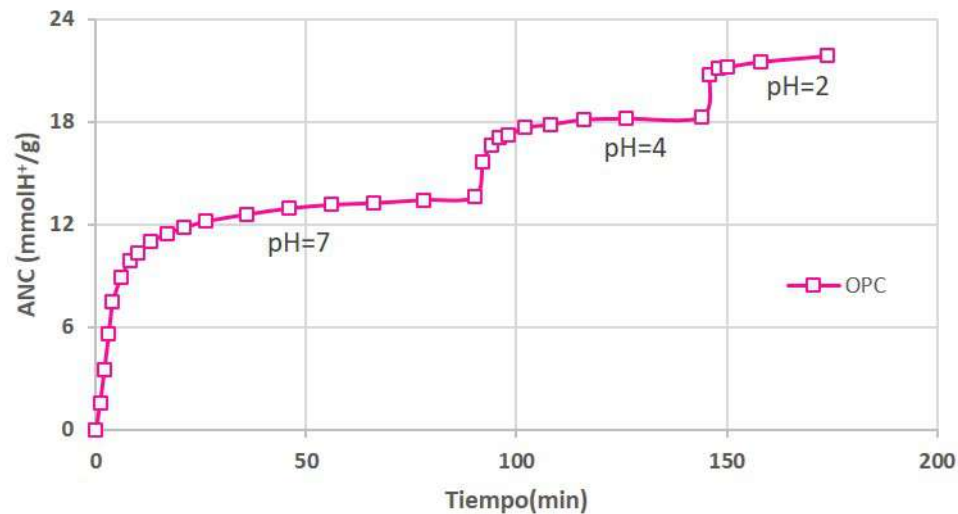


Figura 4. Curva de valores mmolH^+/g vs tiempo (minutos) para la determinación de los valores de ANC en una muestra de pasta OPC.

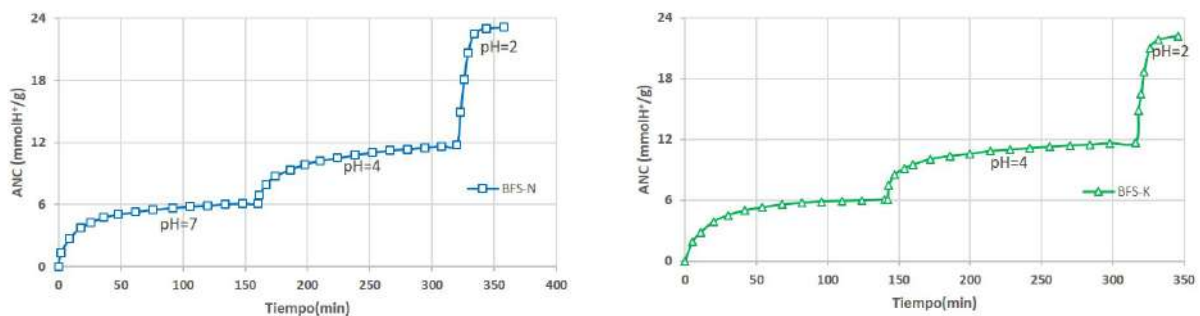


Figura 5. Curvas de valores mmolH^+/g vs tiempo (minutos) para la determinación de los valores de ANC en una muestra de pasta BFS-N (izquierda) y BFS-K (derecha).

Tabla 3. Valores de ANC para las pastas ensayadas y tiempo al que se alcanza el final de la neutralización a cada valor de pH.

Pasta	ANC ₇	ANC ₄	ANC ₂
OPC	13.59 ± 0.39	18.63 ± 0.36	22.03 ± 0.49
BFS-N	6.09 ± 0.06	11.78 ± 0.15	23.40 ± 0.33
BFS-K	6-35 ± 0.27	12.05 ± 0.36	22.73 ± 0.48

3.3. Masa residual en probetas prismáticas.

El ensayo se llevó a cabo sumergiendo las probetas en agua y añadiendo ácido nítrico 1M para mantener el pH a un valor de 2.00±0.10. La masa de la probeta y el volumen de ácido consumido se monitorizó durante 120 horas. En la Figura 6 se presentan los datos para la pasta OPC. Se observa un descenso gradual de la masa como consecuencia de la disolución de los hidratos del OPC, hasta llegar al 81.61% de la masa inicial. El consumo de ácido crece de forma continua, hasta los 75.67 mL. En la Figura 7 se muestran las curvas correspondientes a las muestras BFS-N y BFS-K.

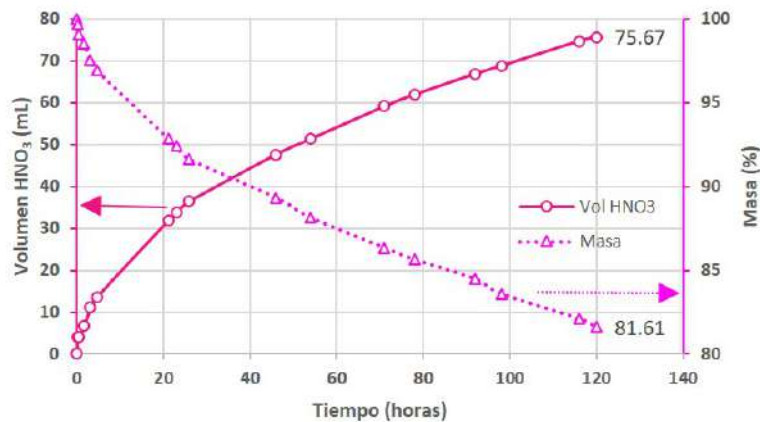


Figura 6. Masa residual (en porcentaje) y ácido nítrico 1M consumido (en mL) en función del tiempo para probetas prismáticas de OPC a pH 2.

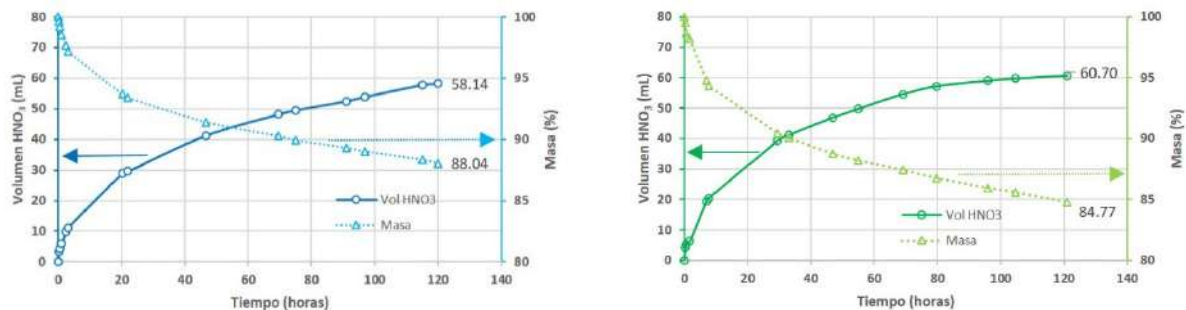


Figura 7. Masa residual (en porcentaje) y ácido nítrico 1M consumido (en mL) en función del tiempo para probetas prismáticas de BFS-N (izquierda) y BFS-K (derecha).

En la Tabla 4 se resumen los valores de masa residual y volumen de ácido consumido a las 48 horas y a las 120 horas. Se puede observar, en todos los casos, que la disolución de las matrices cementantes es muy rápida en las primeras horas, observándose pérdidas de masa cercanas al 5 % (masa remanente del 95%). A pesar de que las pastas de activación alcalina son menos resistentes desde el punto de vista mecánico, se puede ver claramente que el ataque ácido es similar o inferior al encontrado para la pasta de OPC. Ello significa que el comportamiento es bueno y que se podría mejorar de forma sustancial con el incremento de la resistencia mecánica (bien vía reducción de la relación líquido/sólido o bien cambiando la naturaleza del activador, por adición de carbonatos o de silicatos alcalinos). Tanto a las 48 como a las 120 horas, la masa residual de las pastas activadas alcalinamente es superior y el consumo de ácido inferior con respecto a la pasta OPC. Una observación bajo lupa de las superficies atacadas de las probetas mostró el elevado deterioro de la pasta cementante en todos los casos (Figura 8).

Tabla 4. Valores de masa remanente y ácido consumido para las probetas prismáticas atacadas con ácido nítrico a pH=2.

Pasta	48 horas		120 horas	
	Masa remanente (%)	Volumen HNO ₃ 1M (mL)	Masa remanente (%)	Volumen HNO ₃ 1M (mL)
OPC	89.33	47.57	81.61	75.67
BFS-N	91.41	41.22	85.07	67.51
BFS-K	88.76	46.92	84.77	60.70



Figura 8. Imágenes de la superficie atacada de las probetas prismáticas: OPC (izquierda), BFS-N (centro) y BFS-K (derecha).

3.4. Masa residual en probetas cúbicas.

En este ensayo se incrementó la agresividad del medio ácido, sumergiendo directamente las probetas cúbicas de 4 cm de lado en HNO₃ 1M (lo que supone un pH cercano a 0). Se monitorizó la masa residual a ciertas edades hasta los 60 días y se midió el pH de la disolución; cuando el pH superaba el valor de 2.5, la disolución se reemplazaba por una nueva. En la Figura 9 se muestra la evolución de estos dos parámetros para la pasta OPC. Se puede observar que antes de los 35 días, la masa de la probeta registró un valor cercano al 50% de la masa inicial, lo que se consideró un daño muy extenso y dio lugar a la finalización del ensayo. Las pérdidas de masa más importantes se daban inmediatamente después de cambiar la disolución de ácido nítrico. La segunda sustitución de ácido se produjo a los 11 días y la tercera a los 27 días.

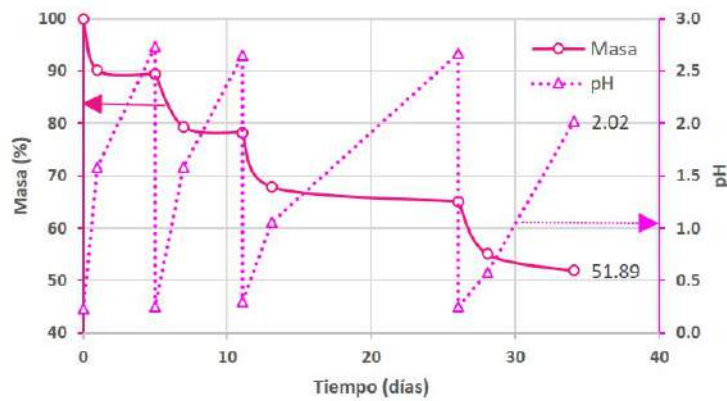


Figura 9. Variación de la masa residual (en porcentaje) y pH de la disolución agresiva en función del tiempo de inmersión de la probeta cúbica de OPC en ácido nítrico 1M.

En la Figura 10 se representan los datos para las pastas BFS-N y BFS-K. En ambos casos, las probetas alcanzaron masas residuales superiores al 60% a los 60 días de ensayo, lo que supone una mejora muy significativa con respecto a OPC. La pasta BFS-K presentó una menor resistencia que la pasta BFS-N, dado que la masa residual fue menor, y los tiempos de sustitución de la disolución agresiva fueron también menores: así, para el segundo y tercer cambio de disolución ácida, se requirieron 14 y 32 días para la escoria activada con potasio, mientras que la activada con sodio requirió el cambio de disolución a tiempos mayores, concretamente 21 y 42 días. Queda claro, por tanto, que en condiciones muy agresivas, los cementos de activación alcalina se comportan mejor que los basados en OPC, y que el hidróxido sódico genera geles cementantes más resistentes que los producidos por hidróxido potásico.

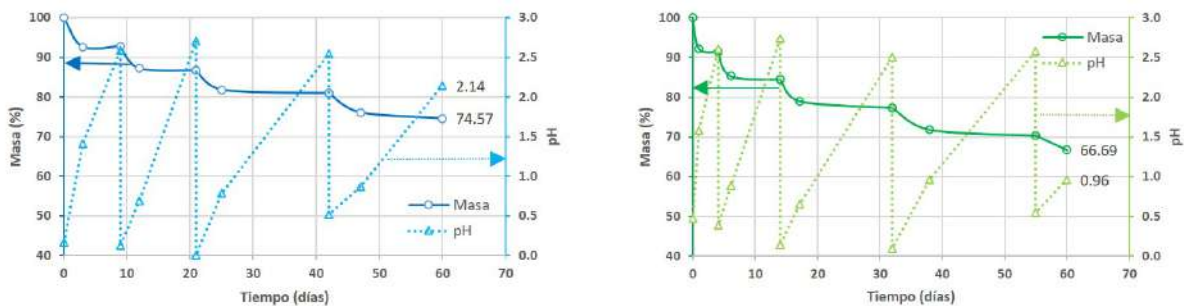


Figura 10. Variación de la masa residual (en porcentaje) y pH de la disolución agresiva en función del tiempo de inmersión de las probetas cúbicas de activación alcalina en ácido nítrico 1M; BFS-N (izquierda) y BFS-K (derecha).

En la Figura 11 se muestran fotografías del deterioro sufrido por los especímenes cúbicos al final del ensayo de inmersión en ácido nítrico 1M. Podemos destacar que la pasta de OPC ha perdido una gran cantidad de material, mientras que las de activación alcalina han sufrido menos daño.



Figura 11. Imágenes de los especímenes cúbicos al final del ensayo con HNO_3 1M: OPC (izquierda), BFS-N (centro) y BFS-K (derecha).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado el comportamiento frente al ataque ácido de pastas de activación alcalina basadas en escoria de alto horno (BFS) activada con hidróxidos sódico o potásico, y se han comparado los resultados con pasta de cemento Portland (OPC). A pesar de que la pasta OPC presentaba una resistencia mecánica muy superior a la de las escorias activadas (aproximadamente 60 MPa frente 20 MPa), la durabilidad frente al ataque ácido de las pastas de escoria es similar o incluso superior. Se ha cuantificado, a través del estudio de capacidad de neutralización ácida sobre muestras pulverizadas (ANC), que los geles C-A-S-H de las escorias son más resistentes en medio ácido, al menos en medios de pH moderado (entre 7 y 4). La velocidad de degradación de los geles C-A-S-H es menor que la de los geles C-S-H, probablemente por la menor velocidad de decalcificación de los geles. Los resultados de los ensayos de masa residual en probetas de pasta (tanto prismáticas como cúbicas) atacadas por ácido nítrico demostraron que la resistencia de la escoria activada es mayor, tanto a pH 2 como a pH 0. Las probetas de OPC tuvieron una mayor destrucción y consumieron mayor cantidad de ácido, lo que demuestra que los geles C-S-H son más sensibles a este ataque que los geles C-A-S-H.

Son necesarios un mayor número de ensayos para cuantificar el ataque ácido sobre sistemas de escoria activada que posean similar resistencia mecánica que las probetas de OPC, para poder evaluar la mejora a igualdad de prestaciones mecánicas, aunque lógicamente ello deberá suponer una modificación sustancial en la naturaleza y concentración del activador químico. Asimismo, se requiere de una profundización sobre los mecanismos de decalcificación de los diferentes tipos de geles cementantes y su influencia en el deterioro de las propiedades mecánicas.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Economía y Empresa (MINECO) del Gobierno de España y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) por la concesión del proyecto ECOSOST RTI2018-097612-B-C21-AR. Los autores agradecen, también, a la empresa Cementval por el suministro de cemento y de escoria de alto horno.

6. REFERENCIAS

- Aiken, T.A., Kwasny, J., Sha, W. (2021). Performance of cementless binders produced from industrial waste products in strong acid. *Cleaner Engineering and Technology* 2, 100035. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100035>
- Bakharev, T., Sanjayan, J.G., Cheng, Y.-B. (2003). Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack. *Cement and Concrete Research* 33, 1607–1611. doi:10.1016/S0008-8846(03)00125-X
- Bascarevic, Z. (2015). The resistance of alkali-activated cement-based binders to chemical attack, in: F. Pacheco-Torgal, J. A. Labrincha, C. Leonelli, A. Palomo, P. Chindapasirt(Eds.), *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*, Woodhead Publishing, Cambridge, pp.373–396.
- Bernal, S. A. and Provis, J. L. (2014). Durability of alkali-activated materials: Progress and perspectives. *Journal of the American Ceramic Society*, 97(4), 997–1008. <https://doi.org/10.1111/jace.12831>
- Duchesne, J., Bertron, A., 2013. Leaching of cementitious materials by pure water and strong acids. In: Alexander, M., Bertron, A., De Belie, N. (Eds.), *Performance of Cement-Based Materials in Aggressive Aqueous Environments*. Springer, Dordrecht, Germany, pp. 91–112.
- EA NEN 7371:2004. *Leaching characteristics of granular building and waste material, The determination of the availability of inorganic components for leaching, The maximum availability leaching test*. (2005).
- Font, A., Soriano, L., de Moraes Pinheiro, S. M., Tashima, M. M., Monzó, J., Borrachero, M. V., and Payá, J. (2020). Design and properties of 100% waste-based ternary alkali-activated mortars: Blast furnace slag, olive-stone biomass ash and rice husk ash. *Journal of Cleaner Production*, 243(September), 11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118568>
- Mellado, A., Pérez-Ramos, M.I.; Monzó, J., Borrachero, V., Payá, J. (2017). Resistance to acid attack of alkali-activated binders: simple new techniques to measure susceptibility. *Construction and Building Materials* 150, 355-366. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.224>.
- Pereira, A., Akasaki, J.L., Melges, J.L.P., Tashima, M.M., Soriano, L., Borrachero, M.V., Monzó, J., Payá, J. (2015). Mechanical and durability properties of alkali-activated mortar based on sugarcane bagasse ash and blastfurnace slag. *Ceramics International* 41. 13012–13024. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.07.001>
- Zivica, V., & Bajza, A. (2001). Acidic attack of cement based materials - A review. Part 1. Principle of acidic attack. *Construction and Building Materials*, 15(December), 331–340. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(01\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(01)00012-5)

Zivica, V., & Bajza, A. (2002). Acidic attack of cement-based materials - A review Part 2. Factors of rate of acidic attack and protective measures. *Construction and Building Materials*, 16(January), 215–222. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00011-9)

Método Francês *versus* método Brasileiro para avaliar a DEF em concreto.

R.H.R.Q. Melo^{1*}, D. Schovanz², F. Tiecher^{3*}, N. P. Hasparyk^{4*}, S. C. Kuperman⁵

*Melo: rodrigohquevedo@gmail.com

*Hasparyk: nicole@furnas.com.br

*Tiecher: Francieli.bonsembiante@imed.edu.br

¹ Master student in Civil Engineering of Faculdade Meridional – IMED, Passo Fundo, Brazil

² Master, PhD student in Civil Engineering of Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, Brazil

³ PhD, Professor in Civil Engineering of Faculdade Meridional – IMED, Passo Fundo, Brazil

⁴ PhD, Researcher of Departamento de Segurança de Barragens e Tecnologia, ELETROBRAS Furnas, Goiânia, Brazil

⁵ PhD in Civil Engineering – DESEK, São Paulo, Brazil

RESUMO

Este trabalho apresenta o comportamento de concretos submetidos a dois diferentes métodos de ensaio a fim de avaliar o potencial para a DEF (Métodos Francês e Brasileiro). Concretos foram moldados e submetidos a cura térmica até 85°C, sendo a principal diferença entre os métodos o ambiente de exposição ao longo do tempo. Ensaios mecânicos e de expansão, além de análises microestruturais foram realizados a fim de verificar o nível de dano a partir das expansões de DEF atingidas. Os resultados obtidos indicaram comportamentos distintos entre os métodos testados. Para a idade de seis meses de ensaio, o método brasileiro se mostrou mais acurado para avaliar a DEF, considerando o cimento testado responsável por essa patologia em campo.

Palavras-chave: DEF; Expansão; Concreto; Método Francês; Método Brasileiro.

ABSTRACT

This paper presents results from an experimental program into the potential concrete behavior related to DEF by the use of two test methods (French and Brazilian). Concrete specimens were cast and undergone thermal curing at 85°C. The main difference between the methods was the exposure condition over time of specimens after cured. Mechanical and expansion tests, besides microstructure analyses were performed in order to evaluate the level of damage caused by DEF over time. The results indicate different behaviors depending on the method used. At six months, the Brazilian test performed better to identify the concrete potential to DEF, in the presence of the cement with no mineral admixture.

Keyword: DEF; Expansion; Concrete; French method; Brazilian method.

RESUMEN

Este trabajo presenta el comportamiento de hormigones sometidos a dos métodos de ensayo para evaluar el potencial de DEF (método francés y brasileño). El hormigón fue moldeado y sometido a curado térmico hasta 85°C, siendo la principal diferencia entre los métodos el ambiente de exposición a lo largo del tiempo. Se realizaron ensayos mecánicos y de expansión, así como análisis microestructurales con el fin de verificar el nivel de daño por las expansiones de DEF alcanzadas. Los resultados obtenidos indicaron diferentes comportamientos entre los métodos probados. Para la edad de seis meses de prueba, el método brasileño demostró ser más preciso para evaluar DEF, considerando el cemento probado responsable de esta patología en el campo.

Palabras clave: DEF; Expansión; Hormigón; Método Francés; Método Brasileño.

1. INTRODUÇÃO

A formação da etringita tardia (DEF) é um fenômeno que ocorre em elementos de concreto já endurecidos, sendo um dos tipos de ataques por sulfato interno (ISA), responsável pela degradação de elementos de concreto. Para que a DEF ocorra são necessários alguns fatores, sendo os principais relacionados à composição química do cimento, que é a fonte interna de íons sulfato, à temperatura de cura, superior a 60°C, e à presença de água. Fatores como esses podem deflagar esta reação nociva, levando a expansões e conseqüentemente a fissurações no elemento de concreto que, aos poucos, vão realimentando a formação destas reações, e reduzindo a capacidade mecânica e a durabilidade da estrutura (Hasparyk e Kuperman, 2019; Schovanz *et al.*, 2021; Jebli *et al.*, 2021).

Os mecanismos da DEF são complexos quando comparados à outras manifestações patológicas que ocorrem no concreto; além disso, a avaliação do potencial de ocorrência da DEF em elementos de concreto não possui normas ou testes estabelecidos por órgãos regulamentadores ou entidades de classe (Schovanz, 2019). Há, no entanto, algumas metodologias laboratoriais, que foram publicadas buscando encontrar as melhores maneiras de avaliar as condicionantes e mensurar o potencial da formação de etringita tardia, destacando-se um método francês e um brasileiro.

Entre os métodos encontrados na literatura cita-se o “*Duggan test*”, que foi desenvolvido para uma análise acelerada do potencial de reatividade álcali-agregado, mas, posteriormente, foi empregado para a avaliação do potencial para DEF, nos estudos de Day (1992), Grabowski *et al.* (1992) e Torres e Andrade (2016). Trata-se de um procedimento que demanda pouco tempo de ensaio, cuja concepção é de Duggan e Scott (1987), porém, Gillott *et al.* (1989) atribuíram à DEF a principal causa de expansão de concretos expostos a este teste. Vale destacar a preocupação com o tamanho bastante reduzido da amostra ensaiada, bem como o curto tempo do ensaio (20 dias).

O Laboratório Central de Pontes e Estradas, da França (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*), publicou um método para avaliar a capacidade de um concreto suportar uma reação interna de sulfato devido à DEF. O método de teste nº 66 do LCPC, denominado neste trabalho como **método francês**, é aplicável a concretos que venham a sofrer elevação de temperatura a patamares superiores a 65°C, além de estarem expostos a ambiente úmido (LCPC, 2007), tendo sido o método utilizado nas pesquisas de Pavoine *et al.* (2006), Lavaud *et al.* (2013), Godart *et al.* (2013) e Godart (2017). O método prevê que, após um ano de ensaio, o limite adotado para a expansão média máxima seja de 0,04%, ou para as expansões individuais, de 0,06%, para considerar o concreto com potencial para o desencadeamento da DEF (LCPC, 2007).

Mais recentemente, e por meio de um projeto de P&D ANEEL, Furnas realizou um amplo programa de estudos sobre reações expansivas, no qual foi possível avaliar DEF através de variados métodos e compósitos. Em Hasparyk *et al.* (2020) está contido um procedimento elaborado por este projeto e que propõe uma nova metodologia, onde a cura definida foi considerada uma das etapas fundamentais a fim de propiciar a elevação da temperatura nas primeiras horas da hidratação do cimento, além do ambiente de exposição, fornecendo condições propícias para a ocorrência da DEF, caso o concreto tenha esse potencial. Essa metodologia foi denominada neste trabalho como **método brasileiro**, e deu origem à instrução técnica intitulada “Método de ensaio para a avaliação do potencial de ocorrência da etringita tardia (DEF) em concreto” (Hasparyk *et al.*, 2020). O método brasileiro já foi empregado nas pesquisas de Schovanz (2019), Langoski *et al.* (2020) e Oliveira *et al.* (2020).

Kchakech *et al.* (2016), Giannini *et al.* (2018), Sanchez *et al.* (2018) e Bronholo (2020) utilizaram procedimentos semelhantes ao método brasileiro, entretanto, no momento do tratamento térmico as amostras não se encontravam imersas em água.

Existem outras semelhanças entre as metodologias laboratoriais, como por exemplo o tratamento térmico inicial, com temperaturas sempre superiores a 60°C para promover o desenvolvimento da DEF o longo período de duração do ensaio. Outro ponto comum a todos os métodos é a manutenção das amostras em ambientes de cura úmida durante e após os ciclos térmicos, pois a presença de água, ou elevada umidade, é outro fator fundamental para a ocorrência da DEF, uma vez que as reações químicas e as trocas iônicas ocorrem no interior dos poros ou fissuras saturadas (Leklou, 2008; Godart *et al.*, 2013).

a DEF, apenas publicações a nível internacional, e poucas publicações nacionais, nas quais cada pesquisador adota um procedimento, e o método de ensaio do LCPC (método francês), esta pesquisa foi proposta, e apresenta os resultados obtidos a partir do emprego do **método brasileiro** e do **método francês** na avaliação do potencial para a DEF.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais e dosagem dos concretos

Os materiais empregados no estudo experimental foram os seguintes:

- Cimento de alta resistência inicial (Tipo CP V- ARI, Brasileiro).
- Agregados miúdo e graúdo de origem granítica
- Aditivo polifuncional à base de lignosulfonato e policarboxilato

As principais características químicas do cimento empregado, em %, são: CaO: 61,75; SiO₂: 18,89; Fe₂O₃: 3,00; Al₂O₃: 4,43; MgO: 2,37; Na₂O_{eq.}: 0,80 e SO₃: 2,74. A perda ao fogo é 3,59% e o resíduo insolúvel igual a 0,7%. Os agregados miúdo e graúdo possuem módulo de finura de 3,11 e 6,82, respectivamente.

A produção dos concretos seguiu as orientações contidas na NBR 5738 (ABNT, 2016). Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) e prismáticos (7,5 cm x 7,5 cm x 28,5 cm), sendo o traço do concreto adotado de 1:1,6:1,9:0,46.

2.2 Métodos de ensaio para indução da DEF

O processo do tratamento térmico foi dividido em quatro etapas, segundo Schovanz (2019) e Hasparyk *et al.* (2020), a saber:

- Pré-cura: em situação semelhante à de câmara úmida por seis horas;
- Aquecimento: imersão em água com taxa de 10°C/h até 85°C;
- Período isotérmico: manutenção em 85°C por 12 horas
- Resfriamento: taxa de 10°C/h até a temperatura indicada para cada um dos métodos.

Após o final do processo de cura térmica descrito, os corpos de prova foram submetidos a dois diferentes ambientes de exposição, conforme Tabela 1, sendo mantidos por um período de seis meses, inferior ao indicado nos referidos métodos.

Tabela 1. Detalhes das condições de ensaio dos métodos Francês e Brasileiro.

Condição	Francês (LCPC, 2007)	Brasileiro (Hasparyk et al., 2020)
Temperatura a ser atingida no resfriamento	20°C	38°C
Ambiente após resfriamento	<u>Ciclo de secagem</u> : 7 dias Câmara climática a 38 °C e UR <30%	Manutenção a 38°C com imersão em água
	<u>Ciclo de molhagem</u> : 7 dias Imersão em água a 20 ± 2 °C	
Observação	Os concretos devem ser submetidos a dois ciclos de secagem e molhagem seguidos (total: 28 dias)	
Ambiente de exposição	Armazenamento em tanque de água com temperatura de 20 ± 2 °C	

Nota: A duração recomendada tanto no método Francês quanto no Brasileiro é de 12 meses.

2.3 Ensaio e investigações realizados

Ao longo do tempo, corpos de prova cilíndricos foram sendo retirados do ambiente de exposição de forma a determinar as propriedades mecânicas dos concretos ao longo de seis meses (resistência à compressão e à tração), seguindo as normas da ABNT NBR 5739 (2018) e NBR 7222 (2011), além do

(2021). Ainda, periodicamente e até a idade de seis meses, os comprimentos dos prismas de concreto também foram sendo monitorados, de forma a avaliar o potencial de expansão ocasionado pela DEF. Por fim, análises por microscopia eletrônica de varredura foram realizadas na idade de seis meses para uma avaliação comparativa da microestrutura dos concretos submetidos aos dois diferentes métodos de exposição.

3 RESULTADOS

De acordo com a variação dimensional dos prismas de concreto, foi possível verificar que os concretos com o cimento CP V-ARI, submetidos ao método brasileiro, expandiram de forma gradativa e expressiva, atingindo, em média, cerca de 1% aos 6 meses. Por outro lado, o concreto ensaiado pelo método francês apresentou expansões bem inferiores, resultando em um percentual médio em torno de 0,05% na mesma idade (Figura 1).

É possível observar um grande afastamento no nível de expansões entre os dois métodos empregados. Na idade de 6 meses, o concreto ensaiado pelo método francês representa, em termos percentuais, apenas aproximadamente 5,2% das expansões obtidas com o método brasileiro. Considerando que o ciclo térmico adotado foi o mesmo, as diferenças decorrem do ambiente de exposição em cada um dos procedimentos. Enquanto no método brasileiro a temperatura é de 38°C, no francês a usada é de 20°C. Por outro lado, no método francês são realizados ciclos de secagem e molhagem, de forma a agravar ou mesmo acelerar o processo da DEF; entretanto, o que parece ter ocorrido foi a lixiviação dos íons sulfato, por meio dos ciclos, mascarando os resultados dos ensaios e reduzindo o nível das expansões atingidas. Uma continuidade dos estudos nesse sentido, em termos de análises químicas e outras técnicas complementares, devem ser realizadas para comprovar essa hipótese, ou definir as reais causas das diferenças tão expressivas obtidas.

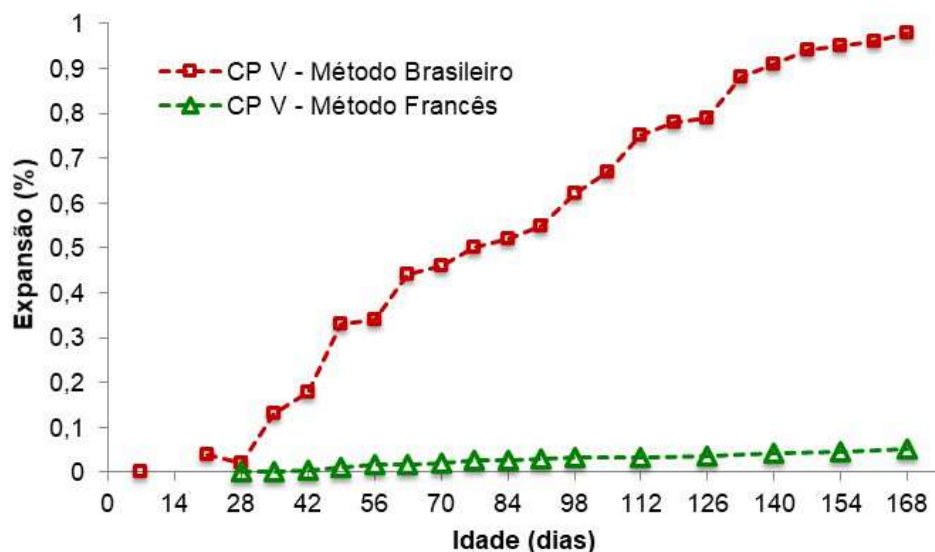


Figura 1. Expansões dos prismas de concreto ao longo do tempo.

Já se sabe que as neoformações de cristais de etringita passam a preencher os interstícios do concreto, propiciando um aumento volumétrico no elemento, o que ocasionará a expansão. Alguns pesquisadores (Martin *et al.* 2017 e Giannini *et al.* 2018) relataram encontrar expansões próximas a 1% aos seis meses de estudos utilizando um método de cura térmica semelhante ao método brasileiro, o que corrobora aos resultados encontrados, além de indicar alta probabilidade de esta expansão ser devida à DEF.

Brunetaud (2005) propôs um esquema global da deterioração do concreto afetado por DEF, dividiu o fenômeno em período latente, onde há pouca atividade aparente e a expansão é lenta; período de aceleração da deterioração, onde ocorre a expansão substancial do elemento, com o preenchimento dos poros e da interface pasta-agregado por cristais de etringita comprimidos; e período de estabilização, onde as reações diminuem, desacelerando o inchamento do elemento. Essa curva sigmoide representando a expansão ocasionada pela DEF também foi adotada por Pichelin *et al.* (2020), que visualizou que o período de latência pode ser maior ou menor de acordo com as fissuras geradas na

zona de transição durante o tratamento térmico, pois, com poucas fissuras nessa região o volume de DEF necessário para gerar pressão é reduzido, levando a uma diminuição do período de latência.

Os resultados de resistência à compressão e de resistência à tração indicaram uma expressiva e gradativa queda dessas propriedades a partir dos 28 dias para o concreto submetido ao método brasileiro (Figura 2 e 3). Comparando os dois métodos empregados, enquanto no método brasileiro a redução foi da ordem de 50% para resistência à compressão e à tração, no método francês observaram-se ganhos para essas resistências de aproximadamente 40% e 20%, respectivamente.

A resistência à tração é, em geral, uma propriedade mais sensível aos danos ocasionados por reações expansivas, como a DEF, quando comparada à resistência à compressão. Alguns autores explicam que isso se deve ao fato de os cristais de etringita estarem presentes nos interstícios da estrutura da matriz cimentícia, que resiste em parte à força compressiva, por meio da colmatação dos poros (Sanchez *et al.*, 2018; Thiebaut *et al.*, 2018; Schovanz, 2019).

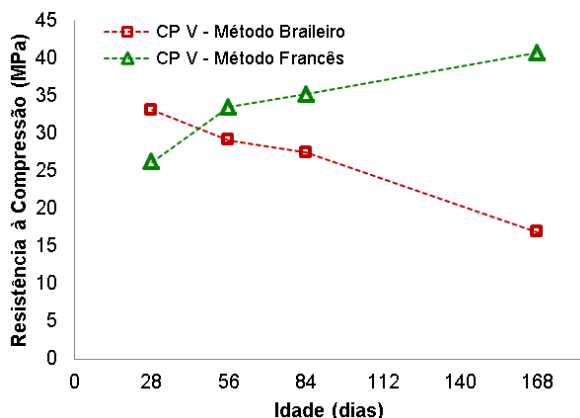


Figura 2. Resistência à compressão ao longo do tempo.

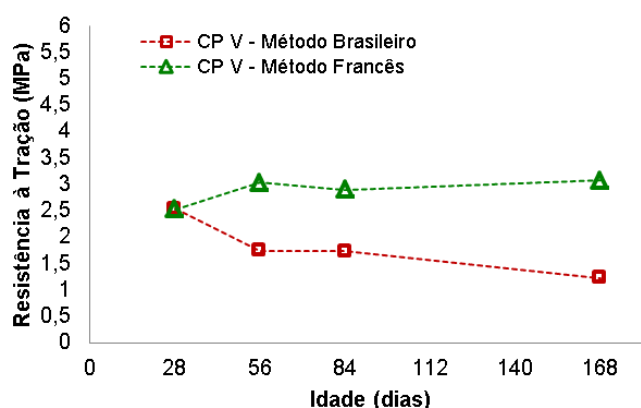


Figura 3. Resistência à tração ao longo do tempo.

As Figuras 4 e 5 retratam a relação entre os resultados médios da resistência à compressão e da resistência à tração perante a expansão, para os métodos brasileiro e francês, respectivamente. O gráfico para o método brasileiro apresentou comportamento inversamente proporcional, ou seja, enquanto o percentual de expansão se elevou, as resistências apresentaram redução. Para o método francês o que observou-se uma menor sensibilidade à DEF, uma vez que as resistências aumentaram ao longo do tempo, assim como a expansão, embora em níveis bem inferiores àquelas obtidas no método brasileiro. Segundo Melo (2010), Leklou *et al.* (2016) e Jebli *et al.* (2021), a resistência à compressão não costuma ser uma propriedade muito sensível à DEF, principalmente quando se trata de baixos níveis de expansão, apresentando interferências negativas significantes apenas após elevada expansão e consequente fissuração das amostras, fato que corrobora com os resultados encontrados nesta pesquisa.

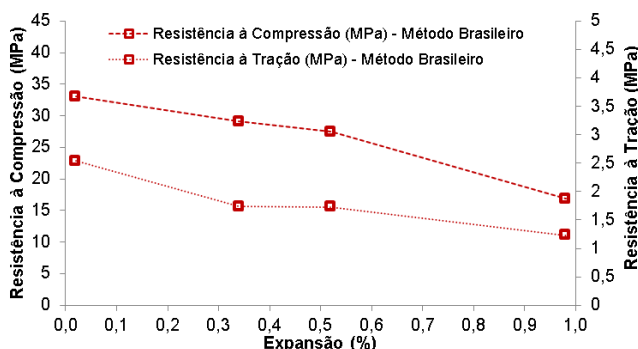


Figura 4. Comportamento mecânico x expansão - método brasileiro.

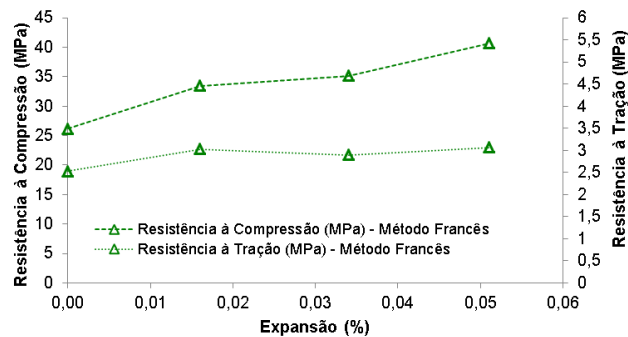


Figura 5. Comportamento mecânico x expansão - método Francês.

Os ensaios realizados aos 180 dias pelo método SDT mostraram também comportamentos diferenciados entre os métodos, conforme pode ser observado na Figura 6 e 7.

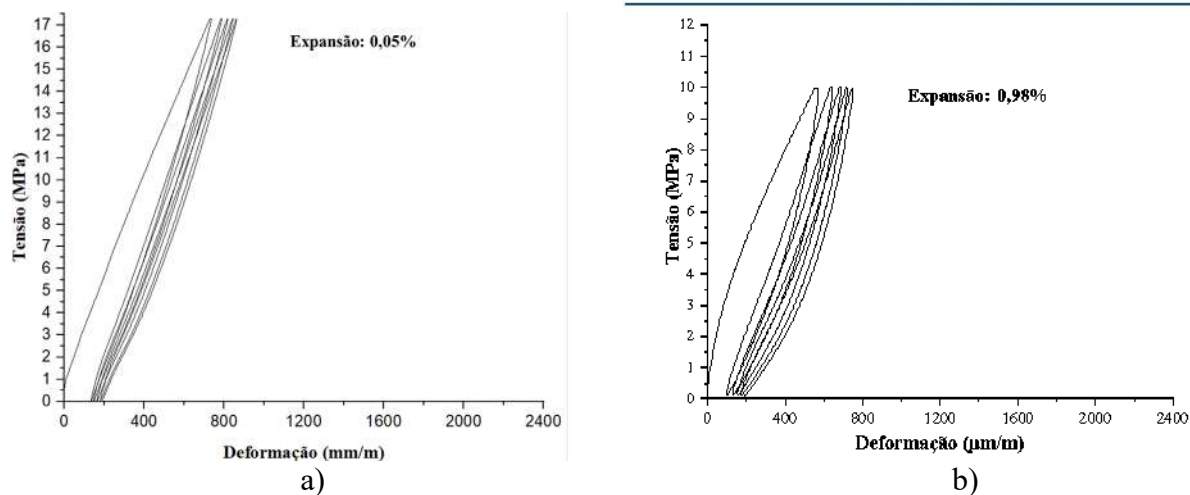


Figura 6. Diagrama tensão-deformação obtido pelo SDT: a) Método francês; b) Método brasileiro.

Através do ensaio do SDT são obtidos os valores de Índice de Dano de Rigidez (SDI) e Índice de Deformação Plástica (PDI), que representam, respectivamente, a razão de energia dissipada/deformação plástica e à energia total/deformação implementada no sistema. Estes parâmetros estão apresentados na Figura 7.

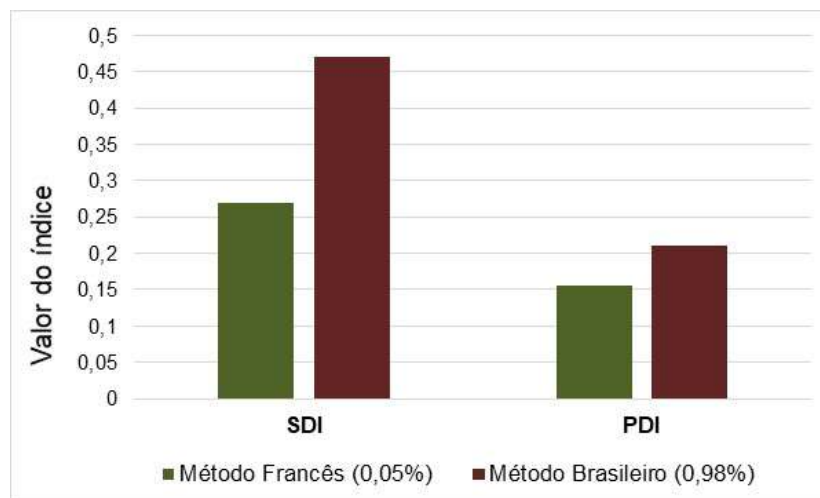


Figura 7. SDI e PDI obtidos aos 180 dias pelo SDT para os concretos submetidos ao método brasileiro e francês.

As amostras do método francês apresentaram valores de SDI próximos à 0,25 para expansão de 0,05%, enquanto as amostras do método brasileiro com expansão de 0,98% resultaram em maiores valores de SDI, superiores à 0,45 que representam a perda da integridade física deste elemento. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Giannini *et al.* (2018), onde os valores de SDI variaram de 0,14 a 0,46, e os valores de PDI de 0,13 a 0,42, para níveis de expansão entre 0% e 1,01%, assim como os resultados encontrados por Martin *et al.* (2017) e Sanchez *et al.* (2018), para níveis de expansão maiores que 0,50%. O parâmetro PDI indica a quantidade de fissuras internas em um material que foi danificado por meio da medição de sua energia dissipada durante o ensaio de SDT (Sanchez *et al.*, 2017; 2020), conforme os níveis de expansão aumentam, mais sinais de danos podem ser vistos nos valores de SDI apresentados no método brasileiro, que foram bastante superiores ao método francês (Figura 7).

Aos 180 dias amostras dos concretos ensaiados nos dois métodos foram selecionadas para investigação por MEV/EDS. As imagens a seguir mostram as diferenças microestruturais dos concretos submetidos aos dois métodos. Conforme verificado por meio das maiores expansões atingidas, a concentração dos cristais de etringita neoformada nos poros e na pasta é muito mais marcante no concreto testado pelo método brasileiro (Figura 8). Esse maior volume de etringita é efetivamente o responsável pelas altas taxas de expansão. Ainda, a formação de cristais massivos na zona de transição pasta/agregado e a

pelo MEV, indica as altas tensões geradas e as fissurações observadas a nível microestrutural, sendo essa microfissuração a responsável pelas quedas das resistências à compressão e à tração. Em relação à rigidez do material, apresentada anteriormente, essa se mostrou muito mais afetada pelas fissurações nesses concretos, conforme índices SDI e PDI.

Nos concretos submetidos ao método francês, a microestrutura evidenciou alguns poros vazios, sem neoformações facilmente visíveis nas zonas de transição (Figura 9). Contudo, alguns poros já contêm a etringita massiva e alguma fissuração já foi notada na matriz cimentícia aos 6 meses, sendo responsável pelas expansões atingidas e que já suplantam o limite adotado para esse método. Porém, essas características se mostram menos expressivas quando comparadas àquelas observadas no concreto testado no método brasileiro, indicando um estágio menos avançado do processo de desenvolvimento da DEF. Sendo assim, pela disponibilidade de íons na solução dos poros do concreto, que sabidamente ainda existe, o agravamento desse quadro deverá ocorrer em idades mais avançadas, e até 365 dias.

Alshamaa *et al.* (2016) verificaram através de MEV a evolução de concretos afetados por DEF, em que apresentou neoformações massivas de cristais, principalmente na interface entre o agregado e a pasta de cimento, contendo também fissuras na matriz cimentícia. Os estudos realizados por Sun *et al.* (2009) e Zhang *et al.* (2016) corroboram os resultados apresentados em relação às formações de cristais de etringita na interface pasta/agregado, e com evoluções crescentes ao longo do tempo.

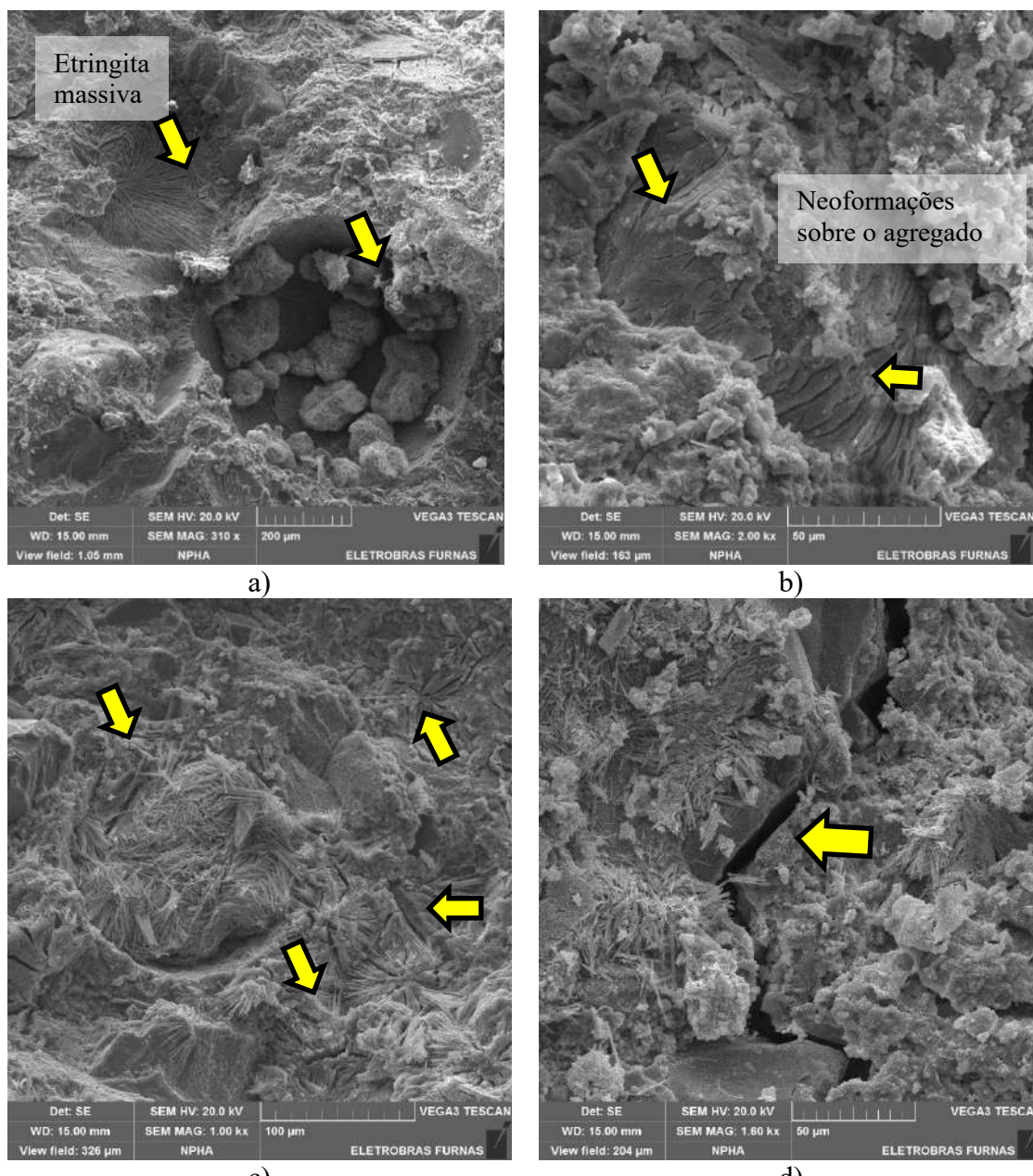


Figura 8. Concreto submetido ao método de ensaio Brasileiro – Micrografias obtidas por MEV: a) Poros com neoformação de etringita na forma massiva e aglomerada; b) Agregado totalmente recoberto por cristais de etringita massiva indicando fragilização na ZT; c) Grande concentração de etringita dispersa na pasta e em poro; d) Fissura gerada pela expansão da DEF.

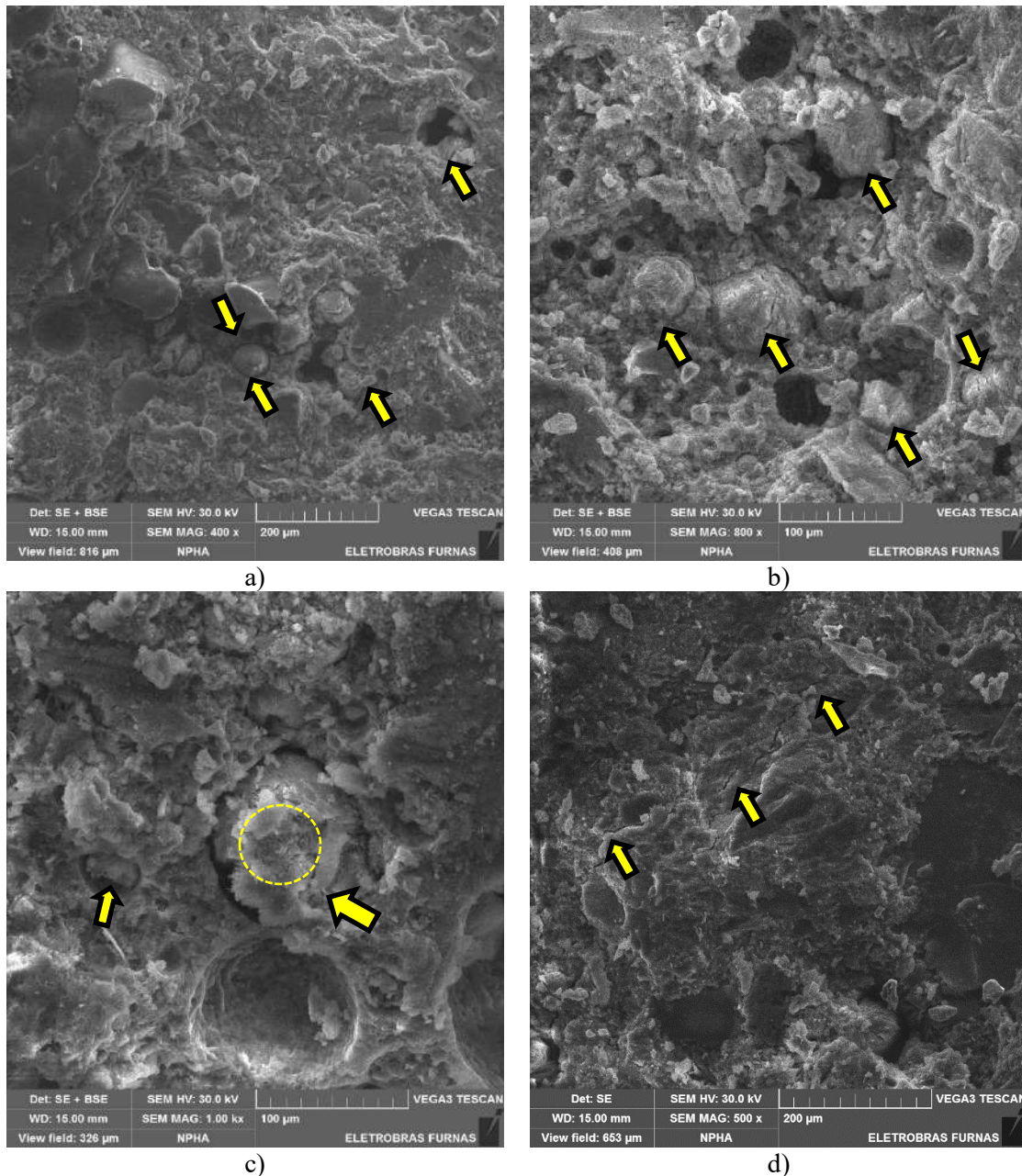


Figura 9. Concreto submetido ao método de ensaio Francês – Micrografias obtidas por MEV: a) Vista geral da amostra indicando alguns poros vazios e outros preenchidos por etringita; b) Detalhe do tamponamento de alguns poros pelas neoformações; c) Imagem mais ampliada de poro com etringita comprimida (ver espectro onde indicado); d) Microfissura gerada na pasta pela DEF.

Todas as neoformações apresentadas nas micrografias foram avaliadas também por microanálise (EDX), sendo confirmado o composto etringita, tendo com o padrão de espectro apresentado na Figura 10.

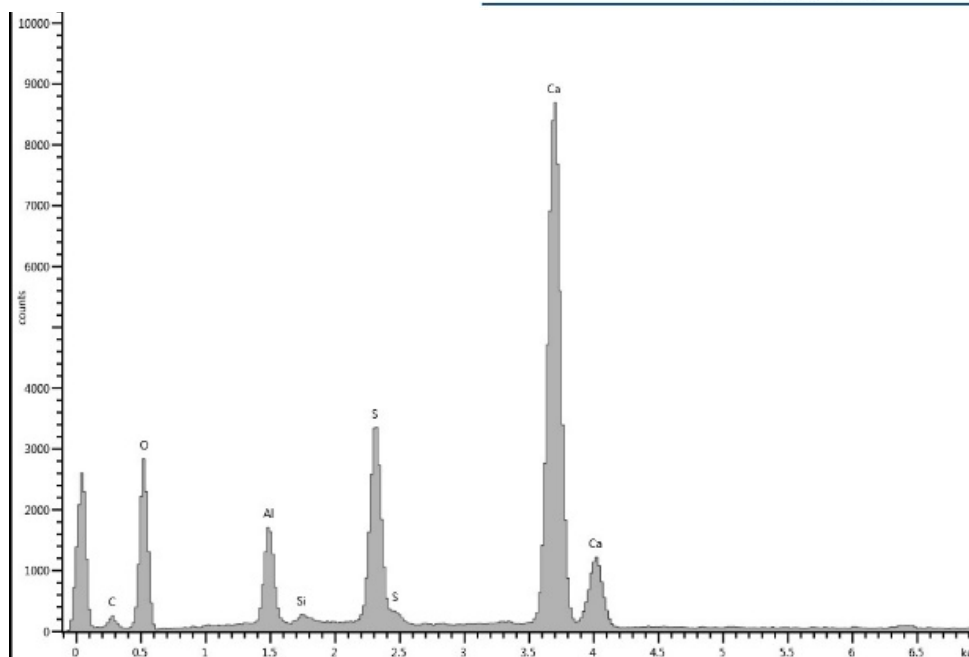


Figura 10. Espectro característico da etringita indicada na Figura 9c.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que a avaliação do potencial de expansão ocasionado pela DEF em prismas de concreto moldados em laboratório, com seis meses de ensaio, foi mais adequada quando do emprego do método brasileiro, na presença de um cimento tipo CP V-ARI, sem adições.

Os concretos submetidos ao método brasileiro de ensaio apresentaram redução significativa em suas propriedades mecânicas devido à fissuração ocasionada pela DEF, corroborada pelas elevadas expansões atingidas, da ordem de 1% aos seis meses de ensaio, e pela microestrutura dos concretos avaliada. O método francês indicou valores menores de expansão aos seis meses (0,05%, em média), porém acima do limite permitido, indicando também potencial para a DEF, apesar de ainda não terem sido observadas reduções nas propriedades mecânicas avaliadas.

As diferenças nos resultados obtidos observadas entre os dois métodos aplicados devem-se ao critério empregado no ambiente de exposição ao longo do tempo. Enquanto no método brasileiro a exposição é em um ambiente fixo, e com temperatura de 38°C, no método francês são promovidos inicialmente ciclos e, na sequência, exposição a 20°C, ambos em imersão em água. Além das diferenças nas temperaturas empregadas, o processo cíclico pode influenciar promovendo lixiviação dos componentes químicos da solução dos poros, afetando a cinética das reações. Nesse quesito, devem ser realizadas análises suplementares e o acompanhamento da água de imersão e da solução dos poros dos concretos, por meio de técnicas específicas, de forma a elucidar esses comportamentos.

Ambos os métodos atingiram expansões superiores ao limite aceitável (0,04%) para garantir a durabilidade das estruturas frente à DEF. Entretanto, através das análises microestruturais foi confirmado que, para o mesmo período de ensaio, os concretos submetidos ao método brasileiro apresentaram avançada formação de DEF nos poros e na matriz cimentícia, ao contrário daqueles submetidos ao método francês, com poucas formações da etringita massiva até a idade de seis meses avaliada. Portanto, esse método deve ter a duração de um ano para delinear melhor o comportamento do concreto, conforme preconizado no próprio procedimento em pauta; por outro lado, o método brasileiro indicou a sua aplicabilidade para um tempo mais reduzido, de seis meses, se mostrando bastante promissor.

Este trabalho faz parte do projeto de P&D Metodologias e infraestrutura tecnológica para aperfeiçoamento das avaliações de confiabilidade e otimização de empreendimentos de energia - PD.0394-1504/2015, regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, desenvolvido pela Eletrobras FURNAS e INSTITUIÇÃO

6 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2011). *NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Bronholo, J. (2020). “*Estudo do ataque individual e misto de DEF e RAA e de seus efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas e mecânicas de concretos e argamassas de cimento Portland Pozolânico e de alta resistência*” Dissertação de Mestrado, Instituto de Engenharia do Paraná, p. 216.

Day, R. L. (1992). The effect of secondary ettringite formation on the durability of concrete: a literature analysis.

Duggan, C. R., Scott, J. F. (1987) Proposed new test for alkali-aggregate reactivity, Canadian National Railways, Technical Research Report, Montreal (Canada).

Giannini, E. R., Sanchez, L. F. M., Tuinukuafe, A., Folliard, K. J. (2018), Characterization of concrete affected by delayed ettringite formation using the stiffness damage test. *Construction and Building Materials*. 162:253-264.

Gillott, J. E., Grabowski, E., Jones, T. N., Quinn, T., Scott, J. F., Duggan, C.R. (1989). “*Mechanism of expansion in rapid test method for alkali-aggregate reaction*”. Regress Report 1, Dept. of Civil Eng., University of Calgary, Calgary (Canada).

Godart, B. (2017), Pathology, assessment and treatment of structures affected by delayed ettringite formation. *Structural Engineering International*, 27:362-369.

Godart, B.; Divet L. (2013). “*Lessons learned from structures damaged by delayed ettringite formation and the French prevention strategy*”. Fifth international conference on Forensic Engineering, Paris (France).

Grabowski, E., Czarnecki, B.; Gillott, J. E.; Duggan, C. R.; Scott, J. F. (1992). Rapid test of concrete expansivity due to internal sulfate attack, *ACI Mater*. 89:469–480.

Hasparyk, N. P., Kuperman, S. C. (2019). “*Deterioração do concreto por reações expansivas*” in: XXXII - Seminário Nacional de Grandes Barragens – SNGB. - Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. Salvador (Brazil).

Hasparyk, N. P., Sanchez, L. (2021), “*SDT - Método de Ensaio para a Determinação do Índice de Dano de Rigidez (SDI) e Índice de Deformação Plástica (PDI) em Concretos - Instrução Técnica ITDSBE001*”. Goiânia: Ed. Furnas.

Hasparyk, N. P., Schovanz, D., Kuperman, S. (2020), “*Método de Ensaio para a Avaliação do Potencial de Ocorrência da Etringita Tardia (DEF) em Concreto - Instrução Técnica ITGSTE004*”. Goiânia: Ed. Furnas.

Jebli, M., Jamin, F., Pelissou, C., Lhopital, E., & Youssoufi, M. S. E. (2021). Characterization of the expansion due to the delayed ettringite formation at the cement paste-aggregate interface. *Construction and Building Materials*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122979>

Kchakech, B., Martin, R. P., Omikrine-Metassi, O., Renaud, J. C., Baron, L., Toutlemonde, F. (2016).

with delayed ettringite formation” in: Proceeding of 15 International Conference on Alkali Aggregate Reaction in Concrete – 15th ICAAR, São Paulo (Brazil).

Lavaud, S., Divet, L., Linger, L., Boutillon, L., Projets, V. C. G., & Rueil-Malmaison, F. (2013), Delayed ettringite formation-outcomes of laboratory investigations carried out on protective treatments.

LCPC - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. (2007). “*Réactivité d’un béton vis-à-vis d’une réaction sulfatique interne*”, Techniques et méthodes des laboratoires des Ponts et Chaussées, Méthode d’essai des LCPC n° 66, Paris.

Martin, R., Sanchez, L., Fournier, B., Toutlemonde, F. (2017), Evaluation of Different Techniques for the Diagnosis & Prognosis of Internal Swelling Reaction (ISR) Mechanisms in concrete. Construction and Building Materials. 156:956-964. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.047>

N. Leklou (2008) “*Contribution to the Knowledge of Internal Sulphate Reaction*” PhD Thesis, L’Université Paul Sabatier Toulouse.

Pavoine, A., Divet, L., Fenouillet, S. (2006), A concrete performance test for delayed ettringite formation: Part I optimisation. Cement and Concrete Research, 36:2138-2143.

Sanchez, L. F. M.; Drimalas, T.; Fournier, B.; Mitchell, D.; Bastien, J. (2018), *Comprehensive damage assessment in concrete affected by different internal swelling reaction (ISR) mechanisms*. Cement and Concrete Research, 107:284-303.

Schovanz, D. (2019). “*Estudo da formação da etringita tardia (DEF) em concretos com cimento Portland pozolânico e de alta resistência*”. Dissertação de Mestrado, Faculdade IMED, p. 180.

Schovanz, D., Tiecher, F., Hasparyk, N. P., Kuperman, S., Lermen, R.T. (2021), Evaluation of delayed ettringite formation through physical, mechanical, and microstructural assays. ACI Materials Journal. 118:101-109. <https://doi.org/10.14359/51728282>

Schovanz, D., Tiecher, F., Hasparyk, N. P., Kuperman, S. C. (2019). “*Influência da formação da etringita tardia (DEF) na microestrutura e propriedades mecânicas do concreto*” in: IBRACON (Ed.), 61° Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza (Brazil).

Shamaa, M., Lavaud, S., Divet, L., Colliat, JB., Nahas, G., Torrenti, J. M. (2016), Influence of limestone filler and of the size of the aggregates on DEF. Cement and Concrete Composites. 71:175-180. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.05.007>

Sun, H., Jain, R., Nguyen. K., Zuckerman, J. (2009), Sialite technology - Sustainable alternative to portland cement. Clean Technologies and Environmental Policy. 12:503-516.

Torres, I. F.; Andrade, T. (2016), Análise de risco da formação de etringita tardia em blocos de fundação na Região Metropolitana de Recife/PE-Brasil. RIEM - IBRACON Structures and Materials Journal, v. 9, n. 3.

Zhang, N., Li, H., Peng, D., Liu, X. (2016), Properties evaluation of silica-alumina based concrete: Durability and environmental friendly performance. Construction and Building Materials. 115:105-113. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.043>

Avaliação da degradação de estruturas de concreto: Estudo de caso em um supermercado no Bairro do Rio Vermelho – Salvador/BA

P.V.G. FREITAS^{1*}; P.C. NUNES,²; A. R. A. OMORE³, M. A. MACHADO³; V. A. COELHO⁴;
F. G.S. SILVA⁵

*Autor de Contacto: priscilav@fieb.org.br

¹ Área de construção civil, SENAI CIMATEC, Salvador, Brasil

² Pós-Graduanda em Engenharia de Avaliações e Perícias, UNIJORGE, Salvador, Brasil

³ Graduado(a) em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁴ PPEC, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁵ Departamento de Construção e Estruturas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

A degradação de estruturas em edificações próximas a áreas marinhas é um fato comum em cidades litorâneas. Muitas vezes a avaliação da extensão dos danos se torna uma atividade complexa, demandando a utilização de um método adequado para este fim. Este estudo propõe a utilização do modelo GDE/UnB, proposto por Fonseca, para avaliação de uma edificação situada próxima ao mar na cidade de Salvador - BA. Desta forma, a metodologia utilizada foi: 1) Seleção da edificação; 2) Vistoria *in loco*; 3) Ensaios e inspeção; 4) Aplicação da Metodologia; 5) Considerações. Os resultados obtidos apontaram o alto grau de comprometimento edificação, não apenas com a inspeção visual, mas também com ferramentas determinísticas, como a metodologia GDE/UnB. A limitação da pesquisa concentra-se na quantidade de peças estruturais investigadas, pois a avaliação foi amostral. A pesquisa revelou os pontos de maior criticidade, bem como as ações que imediatamente deverão ser realizadas em função do grau de deterioração da estrutura.

Palavras chave: Degradação; Inspeção; Metodologia GDE/UnB

Evaluation of the degradation of concrete structures: a case study in a market in the district of the Rio Vermelho – Salvador/BA

ABSTRACT

The degradation of structures in buildings close to marine areas is a common fact in coastal cities. This study demonstrates that in building inspections where the degree of structures deterioration is evaluated, it can be more assertive if performed in association with objective techniques, such as the GDE/UnB model, proposed by Fonseca. Thus, the methodology of the article was: 1) Selection of the building; 2) On-site inspection; 3) Tests and inspection; 4) Application of the Methodology; 5) Considerations. The results obtained showed the high degree of commitment to the building, not only with visual inspection, but also with deterministic tools, such as the GDE/UnB Methodology. The limitation of the research focuses on the number of structural parts investigated, the evaluation was on a sample basis. The research revealed the most critical points, as well as the actions that should be taken immediately due to the Degree of deterioration of the structure found.

Keywords: Degradation; Inspection; Methodology GDE/UnB

Evaluación de la degradación de estructuras de hormigón: un estudio de caso en un supermercado en Bairro do Rio Vermelho - Salvador / BA

RESUMEN

La degradación de estructuras en edificios cercanos a áreas marinas es un hecho común en las ciudades costeras. Este trabajo demuestra que en las inspecciones de edificaciones donde se evalúa el grado de deterioro de las estructuras, puede ser más asertivo si se realiza en asociación con técnicas objetivas, como el modelo GDE/UnB, propuesto por Fonseca. Así, la metodología del artículo fue: 1) Selección del edificio; 2) Inspección in situ; 3) Pruebas e inspección; 4) Aplicación de la Metodología; 5) Consideraciones. Los resultados obtenidos evidenciaron el alto grado de degradación edificación, no solo con la inspección visual, sino también con herramientas deterministas, como la Metodología GDE / UnB. La limitación de la investigación se centra en el número de piezas estructurales investigadas, la evaluación se realizó sobre una base de muestra. La investigación reveló los puntos más críticos, así como las acciones que deben tomarse de manera inmediata debido al Grado de deterioro de la estructura.

Palabras clave: Degradación; Inspección; Metodología GDE/UnB

1. INTRODUÇÃO

As edificações apresentam uma característica que as diferencia de outros produtos: elas são construídas para atender a seus usuários durante muito tempo e devem apresentar condições adequadas (ABNT, 2012). Pensando na importância das edificações em nossas vidas, é fundamental que as manutenções sejam realizadas de maneira correta. O descuido com relação às manutenções geralmente reduz a durabilidade e o tempo de vida útil projetado (VUP), bem como seu valor de mercado. Dessa maneira, pode-se observar que as atividades de manutenções devem ser previstas de maneira a garantir os níveis de funcionalidade adequada dos sistemas (SILVA, 2014). A NBR 6118 (ABNT, 2014) define a durabilidade como a capacidade da estrutura em resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

O sistema estrutural deve ser priorizado nas inspeções periódicas de uma edificação, pois seu comprometimento geralmente incorre em alto custo com manutenção e pode custar a vida de pessoas. As estruturas de concreto armado podem sofrer degradações ao longo do tempo, principalmente considerando os fatores relacionados às condições ambientais, como ventos, sol, chuva e névoa salina. Como fatores secundários observa-se a ausência de programas de manutenção preventiva nas edificações. De acordo com Castro (1994), a vida útil da estrutura depende, substancialmente, de níveis adequados de manutenção. Para manter a capacidade funcional durante a vida útil prevista em projeto, sem os sinais de desgaste do edifício, devem se realizar as intervenções periódicas de manutenção e conservação (BAUER *et al*, 2011).

A principal manifestação patológica observada nas estruturas de concreto é a corrosão das armaduras. De acordo com Vilasboas (2013), ela abrange, principalmente, os processos de deterioração que incidem nas barras e nos fios de aço destinados às armaduras das estruturas. Em alguns casos, há degradação da própria pasta de cimento, desse modo o processo corrosivo é bastante facilitado no caso de pequenas espessuras de cobrimento.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo a aplicação de uma técnica sistematizada para avaliação *in loco*, o uso de ensaios expeditos e por fim aplicação da Metodologia GDE/UnB reformulada por Fonseca (2007). A metodologia GDE/UNB consiste estabelecer critérios de quantificação para o grau de deterioração dos elementos isolados e da estrutura como um todo, baseando-se em parâmetros que consideram as manifestações mais frequentes de danos, sua evolução e a influência do meio ambiente em que a estrutura está inserida (CASTRO, 1994). A partir desta metodologia, em 2007 Fonseca propôs sua reformulação com mudanças nos pontos: conceituação de danos, fatores de intensidade associando alguns danos à corrosão e nos fatores de ponderação. Com esta nova metodologia, este estudo de caso se propôs a aplicar esta sistemática em uma inspeção de edificação, próxima a área costeira, para demonstrar quali e quantitativamente que partes do prédio deverão ser priorizadas em sua manutenção.

Por falta de conhecimento da época de desenvolvimento dos projetos estruturais, realizou-se uma comparação da avaliação das estruturas em relação a normatização atual.

2. METODOLOGIA

Com o objetivo de avaliar as manifestações patológicas do edifício comercial em questão, o trabalho foi dividido em etapas e é apresentado do fluxograma abaixo:

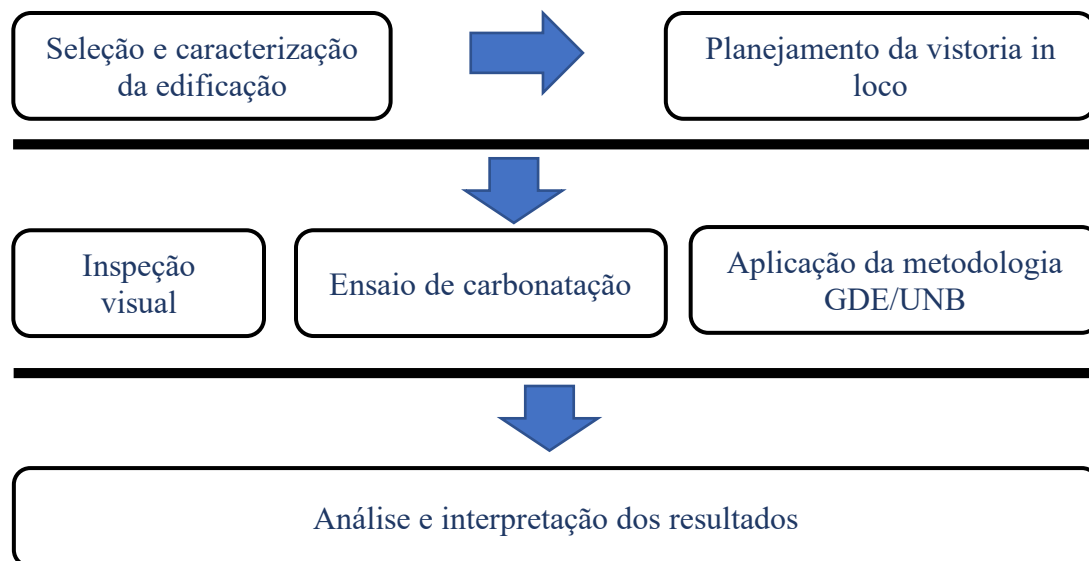


Figura 1 – Fluxograma de metodologia

2.1. Caracterização do imóvel

O edifício analisado foi projetado para atender ao uso comercial, mais especificamente no ramo de comercialização de alimentos. Possui cinco pavimentos e fica situado no bairro do Rio Vermelho, na cidade de Salvador-BA.

As análises foram concentradas sobre as manifestações patológicas relacionadas à degradação das estruturas metálicas da cobertura e da estrutura de concreto armado. O prédio está localizado numa região litorânea, que de acordo com a NBR 6118 (2014) pertence a uma zona de agressividade III – ambiente marinho, com alto risco de deterioração da estrutura. A figura 2 apresenta a localização da edificação no bairro e sua imagem em 3 dimensões.



Fonte: Imagem Google Earth (2021)



Fonte: Imagem Google Earth (2021)

Figura 2 - Localização da edificação

2.2. Inspeção visual e ensaio de carbonatação

A avaliação do imóvel obedeceu a uma análise sistematizada em função da localização das áreas danificadas, com registro fotográfico e medições dos pontos registrados. Foram realizadas medições dimensionais da estrutura, observado que as armaduras estão em processo de corrosão, bem como a alteração do pH das estruturas de concreto, através da aspensão de solução de fenolftaleína.

2.3. Aplicação da metodologia GDE/UnB

O método GDE/UnB foi aplicado na sequência das avaliações realizadas *in loco*. O método segue o trabalho de Castro (1994), adaptado por Fonseca (2007), e consiste na realização das seguintes etapas: 1) divisão em elementos típicos; 2) adoção do fator de ponderação e atribuir fator de intensidade do dano; 3) cálculo do grau de dano; 4) cálculo do grau de deterioração do elemento; 5) calcular o grau de deterioração da família de elementos; 6) introdução do fator de relevância estrutural da família e cálculo o grau de deterioração da estrutura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Estrutura metálica da fachada

A estrutura metálica da fachada está em processo avançado de corrosão (figura 3 a 5) generalizada. Em alguns pontos observou-se que as ligações já foram completamente deterioradas, trazendo riscos de colapso à estrutura (figuras 4 e 5).



Figura 3 – Vista da estrutura metálica da fachada e Detalhe da corrosão na estrutura metálica da fachada



Figura 4 – Detalhe da corrosão na estrutura metálica da fachada e vista interna da corrosão na estrutura metálica da fachada



Figura 5 – Vista da corrosão na estrutura metálica da fachada e detalhe da corrosão na estrutura metálica da fachada.

3.2. Garagem G1

Na garagem foram encontradas duas vigas em estado avançado de corrosão, com comprometimento das barras de aço e um pilar (Figura 6 e 7) com as barras de $\phi 8.0\text{mm}$ parcialmente corroídas. No primeiro trecho, viga de $15 \times 22 \text{ cm}$ ($l \times h$), encontram-se 4 barras de $\phi 10\text{mm}$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada 18 cm . O trecho comprometido compreende $1,10 \text{ metros}$. No segundo trecho, viga de $25 \times 60 \text{ cm}$ ($l \times h$), encontram-se 6 barras de $\phi 12.5\text{mm}$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada 21 cm . O trecho comprometido compreende 6 metros . Outro problema encontrado foi a baixa espessura de cobertura das armaduras da laje (em torno de 5mm). A tabela 7.2 da NBR 6118/2014 estabelece que para edificações situadas em ambientes marinhos o cobrimento mínimo para lajes seja de 35mm , para garantir a durabilidade da estrutura quanto a penetração de agentes agressivos (cloretos, sulfatos, umidade e oxigênio), bem como proteção contra incêndio.



Figura 6 – Vista da viga (trecho 1) em processo de corrosão e detalhe 1 da viga em processo de corrosão.



Figura 7 - Detalhe da viga em processo de corrosão e detalhe da seção da viga deslocada no concreto.

A figura 8 mostra o trecho da viga e laje com aspecto róseo a partir da aplicação da fenolfataleína, indicando que, apesar de não haver alteração significativa no pH, há um processo de corrosão em curso, acelerado pela falta de cobertura adequada nas peças.



Figura 81 - Vista da viga (trecho 2) em processo de corrosão e detalhe da corrosão da laje.



Figura 9 – Detalhe da corrosão da viga (trecho 2) e vista da desfragmentação da pintura da laje.

Foram encontrados pontos de degradação da pintura de revestimento do teto devido a ação de umidade (Figura 10 e 11), necessitando a recomposição da pintura de proteção da laje.



Figura 10 - Detalhe da desfragmentação da pintura da laje (frontal)



Figura 11 - Detalhe da desfragmentação da pintura da laje (abaixo)

3.3. Depósito do 2º andar

No segundo andar foram encontradas situações de corrosão generalizada nas armaduras das lajes, das quais se destaca:

Sala de embalagem, com extensão de dano numa área de 0,90 x 0,90 m, com cobrimento de 5mm; **Trecho 1**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0$ mm a cada 10/20 cm, o trecho comprometido compreende extensão de 1,20m x 1,00m e cobrimento de 25mm, nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Sala de jogos**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0$ mm a cada 10/20 cm, o trecho comprometido compreende extensão de 1,50 m x 1,30m e cobrimento de 15mm, nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Sala de TV**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0$ mm a cada 10/20 cm, o trecho comprometido compreende extensão de 1,60 m x 1,30m e cobrimento de 15mm, nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Trecho 2**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0$ mm a cada 10/20 cm), o trecho comprometido compreende extensão de 0,90m x 0,50m, cobrimento de 25mm, nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição;

Piso, deslocamento por corrosão das armaduras, o trecho comprometido compreende extensão de 1,00m x 0,60m com cobrimento de 20mm.

Outro problema encontrado foi a baixa espessura de cobrimento das armaduras da laje (variando de 15 a 25mm), ainda seguindo a NBR 6118/2014 estabelece que para edificações situadas em ambientes marinhos o cobrimento mínimo para lajes seja de 35mm, visando garantir a durabilidade da estrutura quanto a penetração de agentes agressivos (cloretos, sulfatos, umidade e oxigênio) bem como proteção contra incêndio. As figuras 10 e 11 demonstram os efeitos da corrosão e deslocamento das lajes.



Figura 122 – Vista do processo de corrosão e deslocamento da laje (trecho 1) e detalhe 1 do processo de corrosão e deslocamento da laje.



Figura 13 - Detalhe do processo de corrosão e deslocamento da laje e detalhe do processo de corrosão e deslocamento da laje.

3.4. Pavimento 3 – Área de exaustores

No terceiro andar foram encontradas situações de corrosão generalizada nas armaduras das lajes, pilares e pisos, espessura da laje de 12cm, das quais se destaca:

Entrada, corrosão das armaduras com deslocamento do concreto, com extensão de dano numa área de 0,50 x 0,90 m, com cobrimento de 20mm; **Trecho 1**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0$ mm a cada 10/20 cm), o trecho comprometido compreende extensão de 1,50 m x 1,30m, cobrimento de 20mm, nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas,

necessitando de substituição; **Trecho 2**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $3,80\text{ m} \times 2,10\text{m}$, cobrimento de 20mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Trecho 3**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $3,90\text{m} \times 3,20\text{m}$, cobrimento de 20mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Trecho 4**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $1,20\text{m} \times 3,00\text{m}$, cobrimento de 20mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Trecho 5**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $2,70\text{m} \times 1,70\text{m}$, cobrimento de 20mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Trecho 6**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $1,50\text{m} \times 0,60\text{m}$ (2x), cobrimento de 20mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Trecho 7**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), a armadura está em processo de corrosão e o concreto deslocado e compreende extensão de $1,50\text{m} \times 1,50\text{m}$, cobrimento de 20mm , não necessita substituição das barras, apenas tratamento anticorrosivo; **Trecho 8**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), a armadura está em processo de corrosão e o concreto deslocado e compreende extensão de $0,60\text{m} \times 0,90\text{m}$, cobrimento de 20mm , não necessita substituição das barras, apenas tratamento anticorrosivo; **Laje**, na qual o cobrimento das armaduras é inferior à 5mm , com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), a armadura está em processo de corrosão e o concreto deslocando em alguns.

3.5. Pavimento 4 – Reservatórios e sala de máquinas dos elevadores

No terceiro andar foram encontradas situações de corrosão generalizada nas armaduras das lajes, pilares e vigas, além de infiltração no reservatório, das quais se destaca:

Trecho 1, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $1,50\text{ m} \times 4,30\text{m}$, cobrimento de 20mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Trecho 2**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $3,70\text{ m} \times 0,60\text{m}$, cobrimento de 20mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Trecho 3**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $3,60\text{m} \times 0,60\text{m}$, cobrimento de 20mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Trecho 4**, com armadura de $\phi 6.3$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $3,50\text{m} \times 0,80\text{m}$, cobrimento de 20mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Viga**, com armadura de $\phi 10.0$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $1,20\text{m}$, cobrimento de 10mm , nas quais as barras encontram-se completamente comprometidas, necessitando de substituição; **Pilar 1**, com armadura de $\phi 10.0$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), o trecho comprometido compreende extensão de $0,60$, cobrimento de 10mm , nas quais as barras encontram-se parcialmente comprometidas, necessitando de substituição; **Pilar 2**, com armadura de $\phi 10.0$ com estribos de $\phi 5.0\text{mm}$ a cada $10/20\text{ cm}$), a armadura está em processo de corrosão e o concreto deslocado e compreende extensão de $1,30\text{m}$, cobrimento de 10mm , nas quais as barras encontram-se parcialmente comprometidas, necessitando de substituição. **Infiltração do reservatório** foi detectada infiltração com extensa lixiviação do hidróxido de cálcio, o teste com a fenoftaleína mostrou que o vazamento ocorre há muito tempo e

o problema ainda não foi sanado, conforme a tonalidade rósea encontrada necessitando de serviço urgente de impermeabilização.



Figura 14 – Detalhe da corrosão da laje (trecho 2) e detalhe da corrosão da laje.



Figura 15 – Detalhe da infiltração no reservatório e detalhe da infiltração no reservatório.

3.6. Casa de máquinas

Na casa de máquinas foi encontrado um problema generalizado de corrosão das armaduras das lajes e alguns pontos em vigas e pilares.



Figura 16 - Detalhe da corrosão na laje e detalhe da corrosão na laje.

3.7 Metodologia GDE/ UnB

3.7.1. Classificação dos danos observados

A análise realizada constatou que há danos em todas as peças estruturais, principalmente no que tange a corrosão das armaduras. Para realização deste estudo e conforme o caderno de inspeções adotado foram definidos como fator de dano F_p o valor 5 e como fator de intensidade F_i o valor 4. Todos os pilares apresentaram mais de um tipo de manifestação patológica, com as maiores incidências concentradas em corrosão e cobrimento insuficiente. As falhas mais incidentes neste estudo foram: desagregação de pintura, umidade, deslocamento de concreto, cobrimento insuficiente e corrosão nas armaduras. A partir da separação dos elementos em pilares, vigas e lajes obteve-se como resultados de danos os seguintes gráficos, apresentados nas figuras 17 a 19, respectivamente pilares, vigas e lajes:

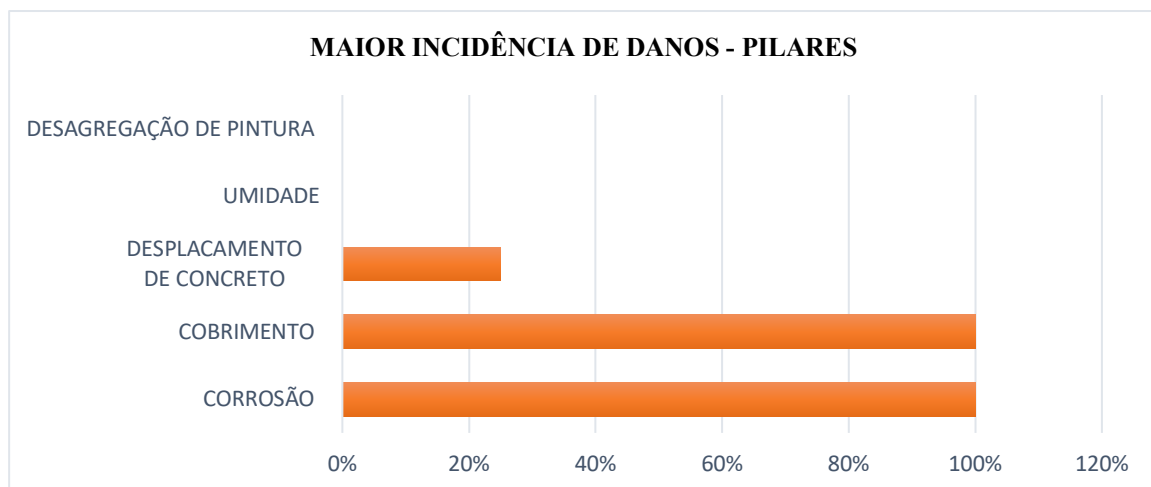


Figura 17 – Principais danos detectados em pilares

Nos elementos de vigas a incidência de manifestações patológicas foram menores e associadas à problemas existentes nas lajes. Foram detectadas muitas ocorrências de deslocamento de concreto, corrosão e cobrimento insuficiente. A figura 18 aponta o percentual de problemas encontrados.

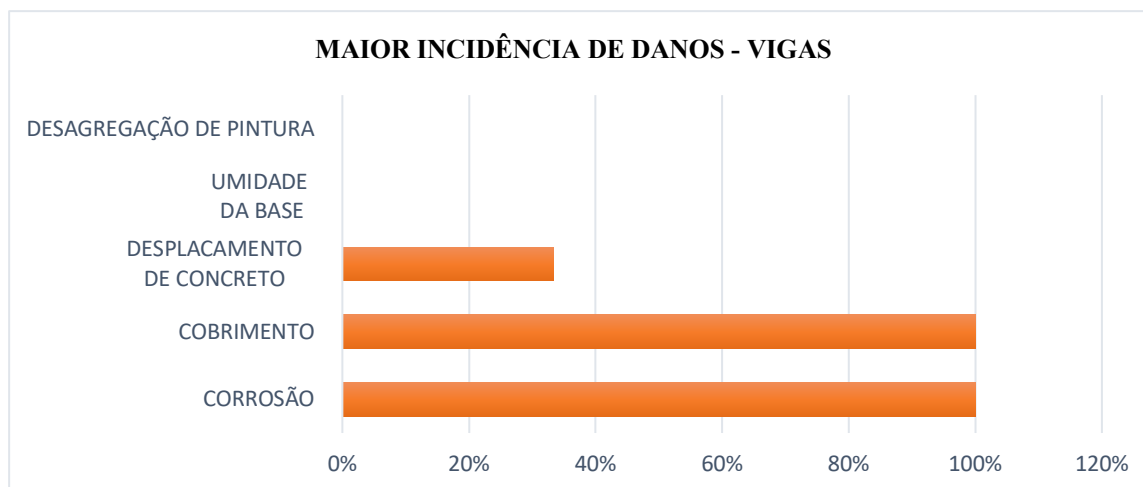


Figura 18 – Principais danos detectados em vigas

No caso das lajes, foram as principais ocorrências detectadas. Além de concentrar os maiores números de patologias ficou evidente que além das condições ambientais (ambiente agressivo) falhas construtivas que resultaram em infiltrações contribuíram na quantidade e nível de degradação (próximo item) demonstrados na inspeção.

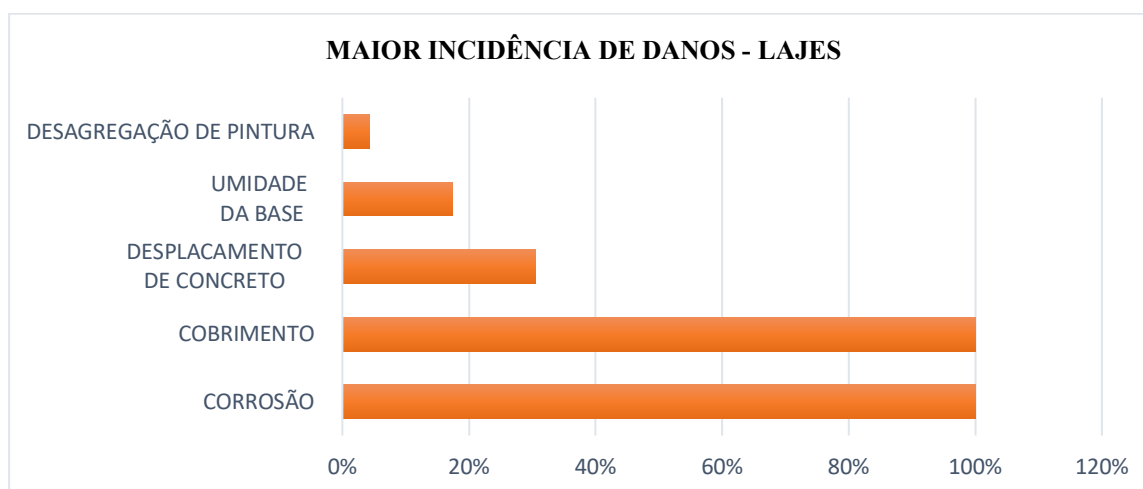


Figura 19 – Principais danos detectados em lajes

3.7.2. Grau de deterioração dos elementos - G_{de}

Aplicando a análise sob o foco do grau de deterioração dos elementos, temos as seguintes condições:

Elemento	Criticidade de lesões (Percentual)				
	Sem lesões	Leves	Toleráveis	Graves	Crítico
Pilares	-	-	-	57	43
Vigas	-	-	-	33	67
Lajes	-	-	-	57	43

Tabela 1 – Grau de deterioração dos elementos

3.7.3. Grau de deterioração da estrutura - G_d

Antes do cálculo para obtenção do grau de deterioração da estrutura é necessário o cálculo da deterioração da família de elementos para então atribuir o fator de relevância estrutural e, por fim, obter-se o G_d . A tabela 2 mostra os resultados obtidos com os índices finais alcançados.

Elemento	Matriz de cálculos para obtenção do grau de deterioração da estrutura (G_d)			
	G_{de}	G_{df}	F_r	G_d
Pilares	332,69	567,32	5	237,50
Vigas	137,50	429,39	5	227,25
Lajes	1132,35	1132,35	4	196,88
GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA (G_d)				47,3

Tabela 2 – Grau de deterioração dos elementos

Ao final, o grau de classificação geral da estrutura da edificação, seguindo a metodologia de Fonseca (2007), chegou a um grau de criticidade de aproximadamente 48, o qual, segundo a tabela de classificação de deterioração da estrutura adaptada por Fonseca (2007), atingiu o nível alto, devendo-se definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada, além de planejar intervenção em até um ano.

4. CONCLUSÕES

A partir dos estudos realizados, constatou-se a ausência de atividades de inspeções prediais e manutenções preventivas periódicas na edificação avaliada. A aplicação da metodologia GDE/UNB apontou, de forma objetiva, as peças degradadas de maneira isolada e, ao final, o que deve ser executado, a partir de um planejamento que determina as prioridades das ações.

Os elementos identificados na inspeção apresentam um grau significativo de deterioração, o que resulta em uma classificação de alta criticidade. Como solução, a própria metodologia recomenda a imediata intervenção com prazo máximo de até um ano, considerando ainda a realização de uma inspeção especializada detalhada.

Fica evidenciado que a realização singular de uma inspeção visual, associada a ensaios expeditos, não gera um plano de intervenção com a priorização dos serviços de manutenção de acordo com o grau de criticidade das anomalias. Desta forma, pode-se afirmar que a associação do método GDE/UnB com as avaliações in loco e eventual utilização de ensaios de campo promove maior clareza no processo de identificação e classificação das manifestações patológicas, fornecendo subsídio para a elaboração de planos de intervenção mais assertivos em termos de prazos e prioridades.

5. REFERENCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR. 5674. *Manutenção de edifícios*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR. 6118. *Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K. ANTUNES, G. R. (2011), “*Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico*” in: IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- CASTRO, E. K.(1994). Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. *Dissertação*. Universidade de Brasília. Brasília: DF (BRASIL). p. 129
- FONSECA, R.P. (2007). A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção. *Dissertação*. Universidade de Brasília. Brasília: DF (BRASIL). p. 213
- SILVA, M. N. B. (2014). Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF. *Dissertação*. Universidade de Brasília. Brasília: DF (BRASIL).
- VILASBOAS, J. M. L. (2013). Estudo dos mecanismos de transporte de cloretos no concreto, suas inter-relações e influência na durabilidade de edificações na cidade do Salvador-BA. – Salvador. *Dissertação*. Universidade Federal da Bahia. Salvador: BA (BRASIL) p. 321

Revestimentos de fachadas de edifícios do século XIX em Salvador: reflexões sobre danos e suas causas.

A. Magalhães^{1*}, R. Muñoz²

*Autor de Contato: anacristian01@gmail.com

¹ Grupo de pesquisa CREPE, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

² Grupo de pesquisa CREPE, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

Os revestimentos desempenham relevante papel na durabilidade das alvenarias dos edifícios, já que asseguram proteção contra as ações agressivas de natureza física, mecânica, química, biológica e/ou antrópica. Este trabalho objetiva identificar as principais anomalias, formas de manifestação e suas possíveis causas, em fachadas de edifícios do século XIX em Salvador. De caráter qualitativo e exploratório, esta pesquisa seguiu método científico de abordagem empírica, a partir da realização de levantamento bibliográfico sobre o tema, seguido de análise crítico-comparativa. A originalidade deste estudo se encerra na contemporaneidade da sua execução. Como resultado, obteve-se a sistematização dos danos e suas causas mais prováveis, o que contribui para a elaboração de diagnóstico detalhado e tomada de decisões em intervenções para preservação do patrimônio edificado.

Palavras-chave: revestimentos; danos; fachadas; patrimônio; Centro Histórico de Salvador.

ABSTRACT

Coatings play an important role in the durability of building masonry, as they ensure protection against aggressive physical, mechanical, chemical, biological and anthropic actions. This work aims to identify the main anomalies, forms of manifestation and their possible causes on the façades of 19th century buildings in Salvador. With a qualitative and exploratory character, this research followed a scientific method with an empirical approach, based on a bibliographical survey on the subject, followed by a critical-comparative analysis. The originality of this study ends in the contemporaneity of its execution. As a result, systematization of anomalies and their most probable causes was obtained, which contributes to the elaboration of a detailed diagnosis and decision-making in interventions for the preservation of the built heritage.

Key words: coatings; damage; facades; heritage; Historic Center of Salvador.

RESUMEN

Los revestimientos juegan un papel importante en la durabilidad de la mampostería de construcción, ya que garantizan la protección contra acciones físicas, mecánicas, químicas, biológicas y / o antrópicas agresivas. Este trabajo tiene como objetivo identificar las principales anomalías, formas de manifestación y sus posibles causas, en las fachadas de edificios del siglo XIX en Salvador. Con carácter cualitativo y exploratorio, esta investigación siguió un método científico con enfoque empírico, basado en la investigación bibliográfica sobre el tema, seguida de un análisis crítico-comparativo. La originalidad de este estudio desemboca en la contemporaneidad de su ejecución. Como resultado se obtuvo la sistematización de anomalías y sus causas más probables, lo que contribuye a la elaboración de un diagnóstico detallado y toma de decisiones en intervenciones para la preservación del patrimonio construido.

Palabras clave: revestimientos; daño; fachadas; patrimonio; Centro Historico de Salvador.

1. INTRODUÇÃO

No exterior das edificações tradicionais¹, é comum observarem-se várias manifestações de anomalias, já que os materiais que revestem as fachadas, por estarem em contacto com o meio ambiente, ficam expostos à ação direta e continuada de diversos agentes de degradação. Estes revestimentos tradicionais de paredes, geralmente constituídos por argamassa de cal aérea, são caracterizados por uma estrutura de porosidade aberta com maior ou menor susceptibilidade às ações físicas, mecânicas, químicas, biológicas e antrópicas. Convém, portanto, que sejam realizados estudos para um melhor conhecimento das causas e das formas de manifestação dos danos, que constituem dados imprescindíveis para esclarecer a situação, visando a elaboração de um diagnóstico correto.

Para avaliação dos danos nos revestimentos de fachadas, é necessária a realização prévia da identificação e conhecimento do bem, etapa que compreende: análise visual (levantamento das anomalias para uma primeira verificação do estado de conservação do edifício) e registro fotográfico; pesquisa histórica, com destaque para a anotação de intervenções pelas quais o edifício foi submetido; levantamento planialtimétrico; análise tipológica (identificação dos materiais e sistemas construtivos); análise ambiental (avaliação de condicionantes extrínsecas ao objeto);

¹ Este termo refere-se às construções executadas em terra ou alvenaria (tijolo, pedra ou mista), cuja tecnologia construtiva antecedeu ao advento do cimento Portland. De acordo com Veiga e Tavares (2002), no que tange às edificações antigas, as suas propriedades eram diferentes das atuais; normalmente construídas com materiais porosos e grandes espessuras, possuíam revestimentos adequados para garantir proteção e bom funcionamento das alvenarias, admitindo a entrada de água para o interior e, ao mesmo tempo, evitando a sua permanência prolongada.

prospecções (arquitetônica, do sistema construtivo, arqueológica); ensaios (não destrutivos, semi destrutivos e complementares), além de análises computacionais (Brasil, 2005; Magalhães, 2013). Após essa etapa é realizado o diagnóstico, que compreende a “[...] consolidação dos estudos e pesquisas anteriormente realizados, na medida em que complementa o conhecimento do objeto, analisando de forma pormenorizada determinados problemas ou interesses específicos” (Brasil, 2005, p. 28). São suas partes constituintes: o mapeamento de danos, com causas e agentes, e a elaboração de relatório detalhado.

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo identificar as principais formas de manifestação de anomalias e suas possíveis causas, em fachadas de edifícios do século XIX, no Centro Histórico de Salvador (CHS), patrimônio único e precioso de valor histórico, artístico e cultural, considerado como um expressivo exemplar do urbanismo ultramarino português. O CHS contempla, basicamente, edificações dos séculos XVI ao XIX, caracterizadas por conjuntos monumentais da arquitetura religiosa, civil e militar. Além dos belíssimos sobrados, geralmente de três a cinco pavimentos, as marcas da ocupação e urbanização lusitana no período colonial estão presentes ainda nas ruas e calçadas estreitas, que remetem a cidades tradicionais portuguesas.

Devido à ação do tempo, às condições agressivas da região costeira, à ação humana e/ou à falta de manutenção, muitos edifícios, considerados como cartão postal, apresentam problemas de degradação, principalmente nos revestimentos de paredes.

O desconhecimento das principais anomalias, de suas formas de manifestação e das possíveis causas que atuam em sua origem, tem levado, por vezes, a diagnósticos incorretos e, portanto, à adoção de medidas inadequadas de intervenção e reparação. Nas obras atuais faz-se necessário conhecer e respeitar o funcionamento das paredes antigas, encontrando soluções compatíveis para evitar o desencadeamento de danos. Justifica-se, assim, a importância deste trabalho, principalmente no que tange à atualização, sistematização e interpretação de informações para fundamentar e definir de forma criteriosa estratégias de atuação que visem eliminar ou controlar causas dos danos nas edificações, visando a preservação do patrimônio edificado.

Para a obtenção do objetivo proposto, foi realizada, previamente, revisão bibliográfica sobre o estado da arte das anomalias mais comuns em revestimentos de fachadas de edificações antigas, seguida de levantamento de campo e estudo dos objetos selecionados a partir de critérios qualitativos, além de avaliação crítica dos resultados, embasada em inspeções realizadas no local e aporte científico.

2. BREVE APORTE TEÓRICO SOBRE DANOS

Os seguintes danos são mais frequentes em revestimentos de paredes de fachadas: manchas de umidade, descontinuidades (microfissuras, fissuras e trincas), perda de aderência (descolamento, abaulamento, destacamento), eflorescências e criptoflorescências, perda de coesão ou desagregação, biodeterioração², erosão e sujidade (Villanueva, 1998; Magalhães, 2013).

No que tange à **umidade**, a água é o agente de deterioração que mais afeta as alvenarias e seus revestimentos, sendo a causa primária ou secundária de muitas anomalias. A sua ocorrência no interior da estrutura porosa pode resultar em problema, se o material estiver submetido a ciclos de molhagem/secagem. Além de afetar a durabilidade do revestimento, a presença de água acelera outros mecanismos de degradação, uma vez que é condição necessária à ação de outros agentes, tais como: os gases poluentes, os sais (quando dissolvidos na água, podem originar fenômenos de eflorescências), os microrganismos e organismos (cujo crescimento biológico requer a presença de água), entre outros.

² Neste texto, o termo biodeterioração compreende danos decorrentes da ação tanto de animais (microscópicos, insetos, aracnídeos, roedores, aves, mamíferos, entre outros), como de vegetais (musgos e plantas de porte) e outros: algas, cianobactérias, fungos (mofos) e líquens (Carrió, 2000; Souza, Pereira, Brito, 2005).

Entende-se por umidade o aparecimento de teor de água superior ao desejado em um revestimento, seja na sua superfície (acabamento), seja na própria argamassa, manifestando-se sob a forma de manchas. As fontes mais comuns de umidade excessiva nos edifícios são: de obra ou de construção (água empregada para a execução e aplicação do revestimento); do terreno (em consequência da ascensão de água por capilaridade, através da estrutura porosa do material, devido à existência de locais em contato com a água do solo, à presença de materiais de elevada capilaridade nas paredes ou à inexistência, ou deficiente posicionamento, de barreiras estanques nas paredes); de precipitação (quando associada à atuação do vento pode dar origem ao aparecimento de manchas nos paramentos); de condensação (surge devido ao vapor de água gerado no interior dos edifícios); decorrente de fenômenos de higroscopicidade (surge quando os revestimentos contendo sais solúveis entram em contato com água sob a forma líquida ou de vapor, constituindo uma espécie de depósitos de água); devido a causas fortuitas, tais como ruptura de canalizações, entupimento de tubos de queda, coberturas danificadas, entre outros (Henriques, 2001; Magalhães, 2013).

As **descontinuidades** compreendem as microfissuras, fissuras e trincas. As primeiras são definidas como toda abertura longitudinal curta, fina e com desenvolvimento discreto, que afeta somente a parte superficial do revestimento. Considera-se trinca qualquer abertura longitudinal que atravessa toda a espessura do revestimento, chegando a rompê-lo, tornando possível distinguir bem as duas partes do elemento construtivo.

Não há definição unânime sobre essa nomenclatura, nem mesmo sobre a amplitude das descontinuidades. Os institutos brasileiros de avaliação e perícias de engenharia, IBAPE-MG (2014) e o IBAPE-SP (2011), são algumas das instituições que definem diferentes designações, como mostrado no Quadro 1. A norma de impermeabilização NBR 9575 (ABNT, 2003) considerava como microfissura a abertura inferior a 0,05 mm; as aberturas com até 0,5 mm eram chamadas de fissuras e, por fim, as maiores de 0,5 mm e menores de 1,0 mm, trincas. Em 2010, essa norma foi revista e deixou de classificar a amplitude das aberturas, referindo-se apenas a fissuras como “aberturas variáveis” (ABNT, 2010). A norma NBR 13755 (ABNT, 2017) não estabelece o limite de amplitude para fissura, mas define que trinca são fissuras com abertura igual ou superior a 0,6mm. Esta norma não cita os termos rachadura, fenda ou brecha, e nem define com clareza os conceitos de fissura e trinca. Outra classificação, destacada pelo CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*), citada por Gaspar, Flores-Colen, Brito (2007), como mostrada no Quadro 1, aborda questões de durabilidade da fachada, essencialmente devida à perda de estanqueidade dos revestimentos.

Quadro 1. Nomenclaturas das aberturas de acordo com diferentes fontes.

Nomenclatura	IBAPE-MG	IBAPE-SP	NBR 9575	NBR 13755	CSTB
	Abertura (mm)				
Microfissura	-	-	< 0,05	-	Até 0,2
Fissura	Até 0,5	Até 0,5	Até 0,5	> 0,6	0,2 a 2
Trinca	0,5 a 1,5	0,5 a 1,0	0,5 a 1,0		
Rachadura	1,5 a 5,0	> 1,0	-	-	-
Fenda	5,0 a 10	-	-	-	> 2
Brecha	> 10	-	-	-	-

Fonte: Elaboração das autoras, a partir de IBAPE-MG (2014), IBAPE-SP (2011), ABNT (2003, 2010, 2017), Gaspar, Flores-Colen, Brito (2007).

Diante desse leque de opções de classificação e embasado na diversa revisão de literatura sobre o tema, neste texto, será utilizado o seguinte critério: microfissura até 0,5mm; fissura, de 0,5mm a 1,5mm e trincas, valores de abertura superiores a 1,5mm. Ressalta-se que as classificações das

aberturas em diferentes nomenclaturas são uma forma de apresentar suas amplitudes, mas não definem o grau de risco dessa manifestação patológica.

Este tipo de anomalia pode ter diferentes causas. No que tange à constituição dos revestimentos, podem ser listadas: retração (quando tensões de tração elevadas instalam-se no plano de aderência entre revestimento e o suporte ou entre uma camada e sua precedente, pelo fato desta ser mais rígida, restringir a retração, podendo dar origem ao aparecimento de descontinuidades); dilatações e contrações higrotérmicas (quando ocorre falta de continuidade construtiva entre o revestimento e o suporte sobre o qual está aplicado, não só pela deficiência inicial de aderência, mas também pelos diferentes tipos de materiais utilizados, com variáveis coeficientes de dilatação térmica e higrométrica); gelo (a transformação em gelo da água absorvida pela argamassa, com o conseqüente aumento de volume no interior dos poros, o que gera tensões); deficiente dosagem na execução da argamassa (para resistirem bem às fontes de tensões de tração a que estão sujeitas, as argamassas devem ter retração moderada e módulo de elasticidade reduzido); espessura inadequada do revestimento (Veiga, 1997). Quanto maior a espessura da camada, maior será a resistência à fissuração do revestimento; no entanto, o aumento indefinido da espessura pode gerar o seu descolamento pela ação do seu próprio peso e da maior retração diferencial, quando superado o limite de aderência ao suporte.

Como causas atribuíveis ao suporte, tem-se: fissuração e deslocamento; reações com sais (os sais contidos no suporte sobre o qual está aplicado o revestimento podem ser transportados através da água que percola em seu interior e assim reagir com os componentes deste; ao reagirem, os sais cristalizam e os cristais formados, expandindo-se, provocam a fissuração do revestimento). Ainda podem ser citadas outras causas, tais como: absorção excessiva do suporte, concentração de tensões junto a aberturas e corrosão dos elementos metálicos instalados nas fachadas.

A **perda de aderência** entre o revestimento e o suporte ao qual foi aplicado ou entre as camadas de reboco pode manifestar-se de três formas distintas: descolamento, abaulamento ou destacamento. O descolamento caracteriza-se pela separação entre o revestimento e seu suporte, podendo ser identificado pelo som oco que se ouve, quando submetido à percussão. O termo abaulamento consiste na percepção da formação de convexidades na superfície do revestimento, enquanto o destacamento se refere à separação definitiva do seu suporte. Todas estas manifestações têm como principal causa a presença de água no suporte, que pode levar à cristalização de sais expansivos existentes no próprio material. No destacamento, a dilatação decorrente da expansão dos sais produz um impulso perpendicular ao plano de interface entre camadas, podendo superar a capacidade de aderência.

De forma geral, a perda de aderência pode ter ainda outras causas prováveis, tais como: movimentos diferenciais entre o suporte e as camadas de revestimento; defeitos de execução (quantidade excedente de água de amassamento; falta de umedecimento do suporte; inadequada limpeza da superfície a ser revestida; ausência de rugosidade do suporte; espessura excessiva do revestimento; composição pouco adequada da argamassa); dilatações e contrações térmicas (variações dimensionais do reboco); elevada impermeabilidade à água do suporte e insuficiente permeabilidade ao vapor de água do revestimento.

Outra manifestação patológica típica em fachadas corresponde ao fenômeno denominado **eflorescência**, caracterizada pela formação de substância de aparência cristalina ou filamentosa, geralmente de cor esbranquiçada, e que aflora à superfície alterando o aspecto visual do revestimento. Para que se produza o fenômeno da eflorescência, é necessária a existência simultânea de três fatores: presença de umidade, existência de sais solúveis nos materiais constituintes do revestimento ou do suporte e pressão hidrostática para propiciar a migração da solução para a superfície. Quando a cristalização dos sais ocorre antes destes chegarem à superfície, em alguma cavidade do próprio material, o dano designa-se por **criptoflorescência**, que tem certo poder destruidor e pode afetar, em alguns casos, a vida útil do material (Carrió, 2000).

Para o desencadeamento do processo patológico importa ainda a porosidade do revestimento, bem como seu coeficiente de absorção, já que estas características facilitam, para mais ou para menos, a quantidade de água que atravessa o material, que faz com que acelere ou atrase o aparecimento da anomalia. Fatores como variação da temperatura, evaporação da água e diminuição da umidade relativa do ambiente podem conduzir ao aumento na concentração da solução salina e, conseqüentemente, favorecer a cristalização dos sais.

Os danos mais significativos ocorrem quando os cristais são formados nos poros e nos vasos capilares dos materiais, já que a cristalização se dá, em geral, com dilatação, implicando em um impulso sobre a camada de material que cobre a cavidade, e que tende, assim, a se desagregar.

A **perda de coesão** ou **desagregação** consiste na desintegração dos componentes do revestimento, seguida por considerável perda das partículas que o compõem, convertendo-o em um material frágil e suscetível à degradação. As causas mais prováveis para este tipo de anomalia são: umidade seguida de cristalização de sais; reboco fraco, sem dureza superficial; ação de microrganismos e organismos; reação química entre os materiais que constituem os revestimentos e os compostos naturais ou artificiais (poluição) contidos na atmosfera.

No que tange à **biodeterioração**, consideram-se todos aqueles organismos ou microrganismos vivos, animais ou vegetais (algas, musgos, líquens, fungos, plantas diversas e animais de porte), que de alguma forma deterioram as superfícies dos revestimentos, quer por sua simples presença, quer pelo ataque destes ou dos produtos químicos que expelem. Em geral, estes são capazes de atacar e degradar os materiais. Às vezes, apenas a presença física de células microbianas é suficiente para causar danos, mas em geral a deterioração é causada pela excreção de produtos do metabolismo.

Com origem variada, provenientes do solo ou do ar e transportados por meio da ação do vento, de insetos e de aves, entre outros, os microrganismos depositam-se nas superfícies dos revestimentos, bem como nas descontinuidades e vazios aí existentes, e multiplicam-se conforme seu metabolismo, a disponibilidade dos nutrientes e ainda em função das condições climáticas da região onde está inserido o edifício. A presença prolongada destes nas superfícies das fachadas pode constituir mecanismo de fixação de umidade e barreira para a sua evaporação. Em algumas situações, o biofilme colorido originado por determinadas algas, cianobactérias e líquens, em especial, pode ser visto como parte da sujidade do edifício, integrando-se à imagem coletiva do próprio monumento (Magalhães, 2013).

As condições climáticas do entorno do edifício (umidade relativa do ar, temperatura, vento, entre outros aspectos), a presença de oxigênio e a falta de ventilação são algumas condicionantes extrínsecas que favorecem a fixação e a proliferação dos microrganismos sobre as superfícies dos revestimentos de fachadas, contribuindo, significativamente, para sua deterioração. Condicionantes intrínsecas aos revestimentos como a presença prolongada de umidade, o pH e a porosidade elevada podem também favorecer o seu crescimento e propagação.

A degradação causada pelas plantas sobre o revestimento decorre do crescimento das suas raízes e da excreção de ácidos que provoca a dissolução dos constituintes das argamassas (silicatos e carbonatos). Locais úmidos como, por exemplo, fendas e fissuras ou revestimentos ligeiramente destacados e ricos em matéria orgânica constituem ambientes que propiciam a fixação e germinação dessas plantas.

A ação dos animais de pequeno porte (aves, insetos) ocorre diretamente através da acumulação de seus excrementos, seguida de ataque químico (pelas fezes fortemente ácidas) dos materiais constituintes do revestimento, e indiretamente, por conterem compostos de nitrogênio (amônia) e fósforo que servem de substrato para o desenvolvimento de outros organismos.

A **erosão** compreende, de forma geral, a destruição ou o desgaste do revestimento, implicando perda de material, ou unicamente a alteração da superfície (do seu aspecto ou textura exterior). Estes fenômenos resultam da ação erosiva de agentes mecânicos, físicos ou químicos. As causas

mais prováveis para este tipo de anomalia são: umidade, esforços mecânicos de natureza diversa, ações físicas dos agentes atmosféricos e perda de coesão.

Por fim, a **sujidade** é caracterizada pelo recobrimento dos revestimentos com poeiras, fuligem e outras partículas poluentes existentes em suspensão na atmosfera. As causas mais prováveis deste tipo de anomalia podem ser: escoamento da água de chuva, ação do vento e rugosidade superficial do reboco.

Muitos desses danos aqui expostos são observados nas fachadas de edifícios do Centro Histórico de Salvador, área que abriga um dos maiores patrimônios histórico, artístico e cultural da América Latina e que foi tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 1984.

3. DANOS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS TRADICIONAIS NO CHS

Esta sessão aborda uma sistematização dos principais danos encontrados nos revestimentos de fachada de edifícios tradicionais, situados no Centro Histórico de Salvador, construídos provavelmente com paredes de alvenaria de pedra e tijolo, aglomerada com argamassa de cal e originalmente revestidas por reboco deste mesmo material.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram selecionadas três edificações de acordo com os seguintes critérios: uso residencial; localização em área tombada do CHS; revestimento de fachada em argamassa, apresentando sinais de degradação.

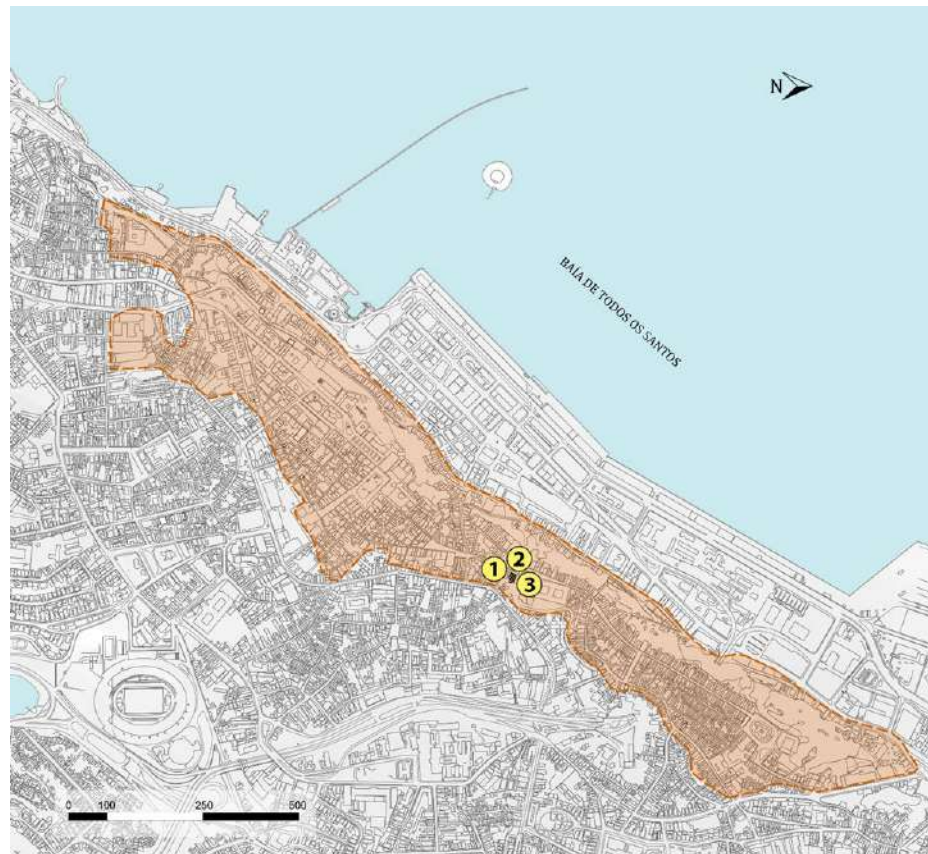
Os casarões localizam-se ao lado da Igreja e Convento de Nossa Senhora do Carmo e constituem importante conjunto de valor histórico, artístico e cultural para a cidade. O tecido urbano nessa área se desenvolveu mais intensamente a partir de meados do século XVIII, data provável da construção dos casarões que passaram por intervenções nas suas fachadas no século XIX.

A Figura 1 mostra a localização das edificações de estudo na área tombada, a Figura 2 ilustra os casarões inseridos na ambiência da rua do Carmo, no Centro Histórico e a proximidade com a Igreja, e a Figura 3, as respectivas imagens das fachadas principais e o estado geral destas.

As fachadas dos casarões possuem elementos arquitetônicos distintos, representando soluções típicas de épocas diferenciadas, conforme ilustra a Figura 3. O edifício nº 41, diferentemente dos outros dois, possui marcação das aberturas das portas em cantaria. Os casarões nº 43 e nº 45 apresentam, no embasamento, aberturas com ornamentos decorativos em argamassa para ventilação do porão. As espessuras das argamassas são variáveis, decorrentes das diversas intervenções pelas quais as fachadas das edificações passaram ao longo dos anos. No entanto, não foi possível observar a quantidade de camadas e a composição, bem como o tipo da tinta utilizada. Atualmente, essas edificações contam apenas com as fachadas externas e encontram-se classificadas pela Defesa Civil de Salvador - CODESAL (2009) como construções de médio risco³. Vale destacar que as aberturas das fachadas foram fechadas com alvenaria para dar maior estabilidade às construções (já que não possuem travamentos internos⁴) e para impedir o acesso de pessoas e animais ao interior da edificação, evitando a invasão da propriedade.

³ Deve-se ressaltar que essa classificação é realizada com base na estabilidade e conservação das estruturas dos imóveis, bem como no risco presumido ao morador, transeuntes e vizinhos.

⁴ A falta da cobertura e dos pisos/assoalhos internos propicia a perda de vínculos da estrutura e, conseqüentemente, pode gerar instabilidade.


LEGENDA

- Delimitação do Centro Histórico de Salvador
- Edificações de estudo na Ladeira do Carmo, Santo Antônio
 - 1 Casarão nº 41
 - 2 Casarão nº 43
 - 3 Casarão nº 45

Figura 1. Localização das edificações de estudo.

Fonte: Elaboração das autoras, 2021, a partir de Salvador (1983) e Prefeitura Municipal do Salvador (2017).



(a)



(b)

Figura 2. (a) Edificações de estudo localizadas na Rua do Carmo nº 45, nº 43 e nº 41 (da esquerda para a direita), no Centro Histórico de Salvador; (b) Casarões de estudo e a Igreja e Convento de Nossa Senhora do Carmo.

Fonte: Acervo das autoras, 2021.

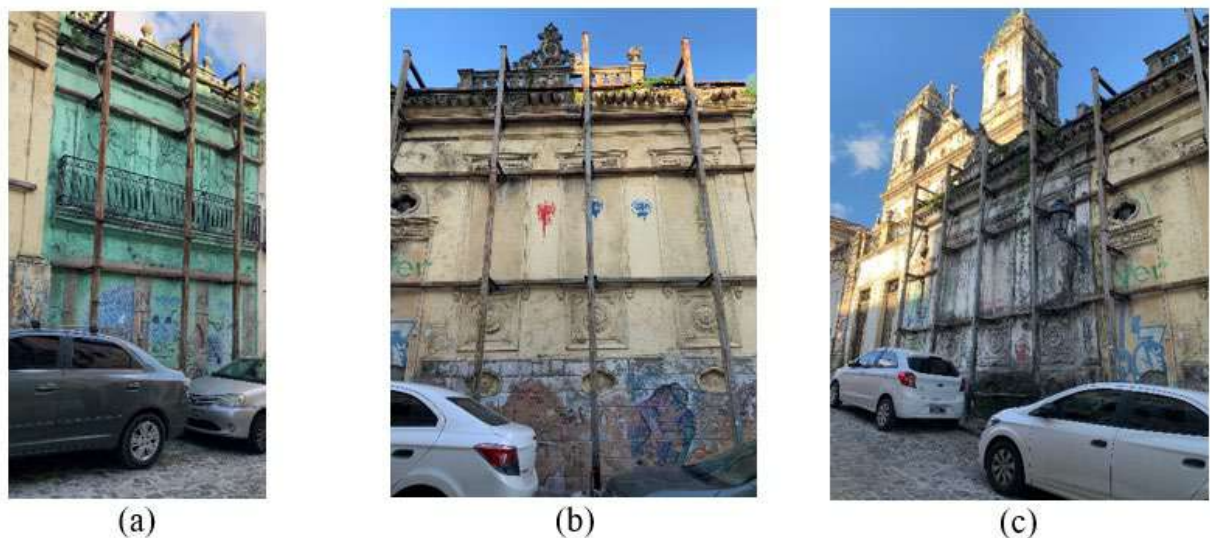


Figura 3. Fachadas principais dos casarões (a) n° 41; (b) n° 43; (c) n° 45.

Fonte: Acervo das autoras, 2021.

Os referidos fechamentos passaram por intervenções recentes com aplicação de argamassa de cimento, como mostra a Figura 4a. Os paramentos externos possuem escoramentos metálicos que se encontram quase que totalmente degradados, com provável perda de função estrutural (Figura 4b). Esta situação é agravada com o vandalismo e roubo de peças dos escoramentos (Figura 4c).

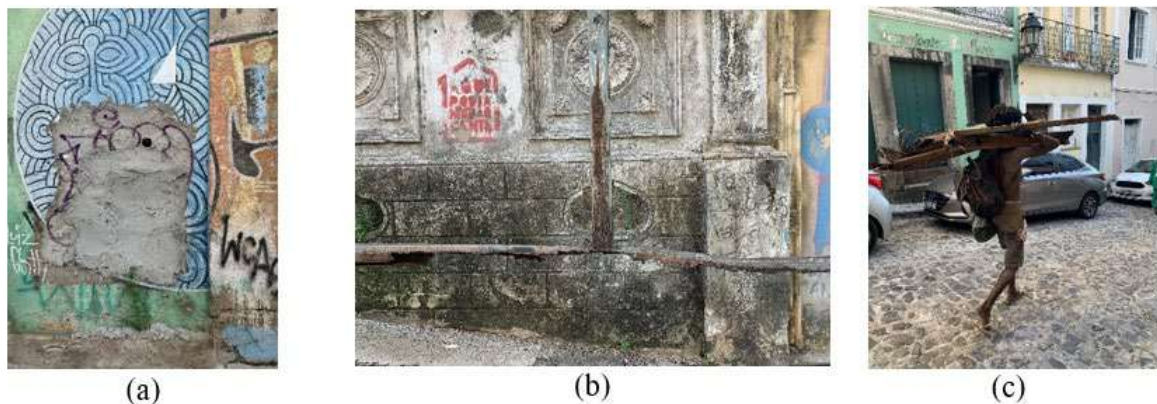


Figura 4. (a) Fechamento de vão com argamassas de cimento; (b) Escoramento metálico da fachada da edificação n° 45, apresentando degradação e falta de apoio; (c) Vandalismo.

Fonte: Acervo das autoras, 2021.

Para os três casarões de estudo, após observação dos revestimentos de fachadas, foi realizado detalhado diagnóstico das principais anomalias e extraídas conclusões sobre suas prováveis causas. Entre os danos mais comuns, destacam-se: manchas de umidade decorrentes da percolação da água do solo e de infiltração pela cobertura, fissuras e trincas nos materiais; perda de aderência; desagregação; biodeterioração; sujidade; perda de elementos decorativos; perda de camada pictórica; vandalismo; conforme Quadro 2 e Figura 5⁵.

⁵ As imagens da Figura 5 são representativas dos danos identificados nos casarões de estudo. Neste trabalho, devido ao respeito das normas de formatação, foram selecionadas apenas imagens para representar os danos das edificações.

Quadro 2. Descrição dos principais danos e suas prováveis causas, identificados nas fachadas dos casarões nº 41, nº 43 e nº 45 da Ladeira do Carmo, Centro Histórico de Salvador.

Danos/Local	Prováveis Causas
Manchas de umidade ascendente / Todos os casarões	Acúmulo de água no solo devido à falta de cobertura e de drenagem (Figuras 5a, 5b, 5c e 5d). O microclima no interior das construções propicia o desenvolvimento de densa vegetação (Figura 7e), que favorece a percolação de água pelo paramento. Observa-se que nas edificações nº 43 e nº 45 as aberturas de ventilação do subsolo encontram-se obstruídas.
Manchas de umidade descendente / Todos os casarões	Acúmulo de água de chuva na parte superior dos edifícios pela falta de cobertura e inexistência de sistema de coleta e escoamento de águas pluviais por meio soluções construtivas (Figuras 5f e 5g).
Descontinuidades (fissuras e trincas) / Casarões nº 41 e nº 43	Presença de umidade no interior das paredes das fachadas, (intempéries), utilização de materiais inadequados (falta de compatibilidade com o suporte), movimentação das fachadas (Figuras 5h e 5i).
Perda de aderência / Casarões nº 41 e nº 45	Presença de umidade, uso de material inadequado (Figura 5j). Em revestimentos com base em cal, a ação prolongada da umidade vai dissolvendo (“lavando”) o ligante até o seu total desaparecimento, favorecendo a perda de coesão e de aderência dos materiais. Observa-se, no casarão nº 45, o destacamento do revestimento da fachada, provavelmente, por causa da ação das intempéries, de choque mecânico dada a perda de elementos superiores (Figura 5k).
Desagregação / Casarão nº 43	Presença de umidade e sais solúveis, falta de proteção (pintura) adequada (Figura 5c). Os sais, ao cristalizarem, aumentam de volume, destruindo o interior da estrutura porosa da argamassa.
Biodeterioração / Todos os casarões	Presença de umidade e temperatura propícia para o desenvolvimento de microrganismos e de vegetação pela deposição de sementes por aves (Figuras 5l, 5m, 5n e 5o).
Sujidade / Todos os casarões	Presença de umidade e poluição atmosférica que favorecem o depósito de sujeiras e de poluentes, progressivamente, sobre a superfície das alvenarias (crosta negra). Ver figura 5p.
Perda de elementos arquitetônicos / Todos os casarões	Movimentação da fachada pela perda do vínculo gerada pela falta de cobertura (Figuras 5q e 5r). Adiciona-se a este contexto a exposição dessas peças às intempéries, a presença de umidade e ao decorrente desgaste dos materiais.
Perda de camada pictórica / Todos os casarões	Tinta inadequada ao reboco, descolamento em função da água de chuva, falta de manutenção (Figuras 5c e 5s).
Pixação / Todos os casarões	Vandalismo (Figuras 5t e 5u)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)

(continua)

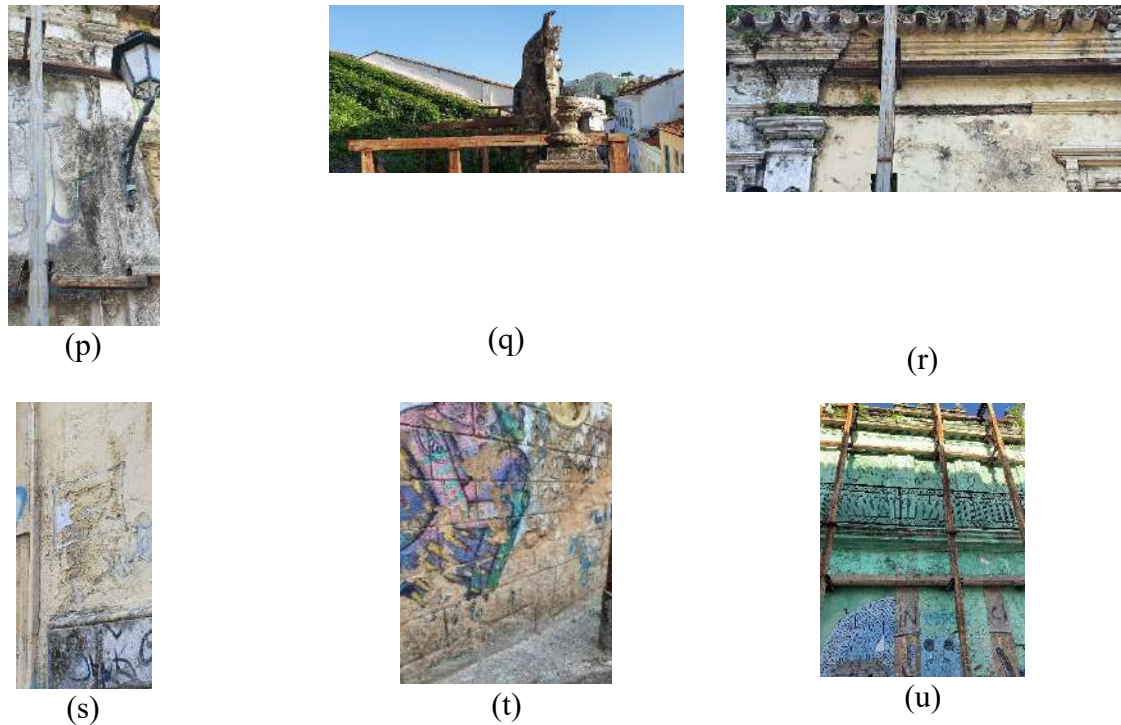


Figura 5. Detalhes dos danos das fachadas principais dos casarões nº 41, nº 43 e nº 45.
Fonte: Acervo das autoras, 2021.

De forma geral, os danos encontrados nas estruturas antigas, caracterizadas por sua grande porosidade e espessura, podem estar relacionados ainda aos próprios materiais novos usados nas intervenções e à inadequação das soluções de revestimento adotadas às características do suporte. A presença prolongada de água nas paredes, causa primária dos danos, está na origem das diversas anomalias secundárias e é potencializada pela dificuldade da sua eliminação devido à reduzida capacidade de evaporação da água pelos novos revestimentos em relação aos originais (de cal aérea, muito porosos e permeáveis).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atuação conjunta de vários fatores leva à degradação dos revestimentos. Além das ações às quais os edifícios estão sujeitos nas condições normais de utilização (temperatura, vento, chuva, umidade relativa do ar, umidade que percola no interior das paredes), fatores como vandalismo, abandono e falta de manutenção preventiva (reparações pontuais e pintura periódica, quando necessárias) contribuem decisivamente para a aceleração natural da degradação do edifício.

De forma geral, pôde-se constatar que os danos detectados nos casarões da Ladeira do Carmo, no Centro Histórico de Salvador, decorrem significativamente do seu estado de abandono por longo período, da falta da proteção da cobertura, da ação das intempéries sobre os materiais, bem como da ação humana.

De forma geral, os revestimentos (rebocos e pinturas) não devem reter água que se infiltra por meio das fundações, por ascensão capilar, ou por meio das coberturas; nem contribuir para introduzir sais no suporte; e nem ter, em sua constituição, baixos teores de sais. Devem, ainda, possuir características mecânicas semelhantes aos antigos revestimentos e não superiores às das alvenarias,

para não terem grandes deformações diferenciais que produzam perdas de aderência e nem transmitirem tensões elevadas à alvenaria.

As intervenções nas edificações de interesse histórico devem seguir princípios orientadores que garantam a manutenção do seu significado cultural e da sua salvaguarda para o futuro, especialmente no que tange à manutenção da autenticidade do edifício e compatibilidade entre os novos materiais e os antigos. Quaisquer medidas de conservação e restauro só devem ser tomadas após eliminação das causas que provocam as anomalias. Estas passam, principalmente, pela correção dos locais de infiltração, por meio da reparação das coberturas e da execução de sistemas de drenagem, e pelo controle da entrada de água por outras vias (ascensão por capilaridade); não menos importante, pela determinação do uso da edificação.

Cabe mencionar que ao se tratar de bens tombados, é o proprietário da edificação responsável pela manutenção. Pela lei, é obrigado a conservá-lo e, caso não apresente condições financeiras, deve entregá-lo ao poder público para que seja preservado, já que é proibida sua demolição. Ressalta-se que no contexto atual, os órgãos responsáveis pela gestão do patrimônio histórico ou não possuem ou dispõem de escassos recursos para abarcar com todo esse legado.

Por fim, a importância deste trabalho está não somente no levantamento e sistematização dos danos mais comuns encontrados em revestimentos de fachadas de edificações tradicionais, para auxiliar na elaboração do projeto de intervenção, mas também para alertar a comunidade e as autoridades para a tomada de medidas criteriosas que visem a preservação do patrimônio edificado.

5. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2003). *NBR 9575: Impermeabilização e Projeto*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2010). *NBR 9575: Impermeabilização e Projeto*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2017). *NBR 13755: Revestimentos cerâmicos e paredes externas com utilização de argamassa de fachadas colante*. Rio de Janeiro.

Brasil. Ministério da Cultura. (2005), “*Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural*” Programa Monumenta, cadernos técnicos 1. Brasília: Ministério da Cultura, Instituto do Programa Monumenta.

Carrio, J. M. (2000), “*Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*”. Editorial Munilla Lería, Madrid, España.

Defesa Civil de Salvador, CODESAL (2009), “*Casarões - Relatório Técnico*”. Prefeitura Municipal de Salvador, Salvador. <https://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br>. Acesso em: 22 ago. 2020.

Gaspar, P., Flores-Colen, I., Brito, J. (2007), Técnicas de diagnóstico e classificação de fissuração em fachadas rebocadas. *Revista Internacional Construlink*. 5. 26-34. https://www.researchgate.net/publication/280098489_Tecnicas_de_Diagnostico_e_Classificacao_de_Fissuracao_em_Fachadas_Rebocadas. Acesso em 04 de maio 2021.

Henriques, F. (2001), “*Humidade em paredes*”. LNEC, Lisboa, Portugal.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de Minas Gerais, IBAPE-SP. (2011). *Norma de Inspeção Predial*. São Paulo. <https://ibape-sp.org.br/adm/upload/uploads/1602690838-NORMA-DE-INSPECAO-PREDIAL-2011.pdf>. Acesso em 01 jun. 2021.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de Minas Gerais, IBAPE-MG. (2014). *Norma de Vistoria Cautelar*. Belo Horizonte. <https://www.ibapemg.com.br/2018/wp-content/uploads/ibape-mg-norma-cautelar.pdf>. Acesso em 01 jun. 2021.

Magalhães, A. (2013), “*Degradação de revestimentos de paredes de edifícios antigos: metodologia de diagnóstico*”, Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia.

Prefeitura Municipal do Salvador. (2017), “*Base Cartográfica Digital Cadastral de Referência*”. Prefeitura Municipal do Salvador, Salvador. http://mapeamento.salvador.ba.gov.br/geo/desktop/#on=layer/default;scalebar_meters/scalebar_m;orto2016/Ortoimagem_Salvador_2016_2017&loc=76.43702828517625;-4278080;-1445884. Acesso em: 01 ago. 2020.

Salvador. (1983). *Lei nº 3.289, de 21 de setembro de 1983. Altera e dá nova redação a dispositivos da Lei nº 2.403, de 23 de agosto de 1972, e dá outras providências*. Câmara Municipal, Salvador. <https://www.jusbrasil.com.br/topicos/13540356/artigo-108-da-lei-n-3289-de-21-de-setembro-de-1983-do-municipio-de-salvador>. Acesso em: 09 set. 2020.

Sousa, V., Pereira, F.; Brito, J. (2005), *Rebocos Tradicionais: Principais Causas de Degradação. Engenharia Civil*. Universidade do Minho. 23: 5-18. http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num23/n_23_pag_05-18.pdf. Acesso em 23 de fev. 2021.

Veiga, M. (1997), “*Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*”, Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Veiga, R.; Tavares, M., (2002). “*Características de paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura*” in: *Actas do Encontro A indústria das tintas no início do século XXI*, APTETI, Lisboa. http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/RVMT_APTETI.pdf. Acesso em 23 de fev. 2021.

Villanueva, L. (1998), “*Patología de guarnecidos y revocos, in: Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas*. Tomo 4. Editorial Munilla Lería, Madrid, España.

Estudio termográfico de las manifestaciones patológicas por humedades y del estado de conservación de la cubierta de la Basílica de Santa María.

D. Bru¹, S. Ivorra^{1*}

*Autor de Contacto: sivorra@ua.es

¹ Departamento de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, Alicante, España

RESUMEN

El presente trabajo analiza el estado actual de la cubierta de la Basílica de Santa María, Alicante, España. Este edificio data del siglo XIII y está catalogado. Para el análisis de las eflorescencias que se observan se realiza un análisis de la tipología constructiva, así como un análisis visual del estado de las mismas, describiendo las manifestaciones patológicas existentes, tanto en la zona exterior de las cubiertas, como en la zona interior de las salas bajo las mismas. Para el análisis técnico de las posibles filtraciones de la cubierta a las salas interiores de la basílica se realiza una prueba de estanquidad y la verificación a través del control de la variación de temperaturas mediante análisis termográfico. Se puede concluir la existencia y posición de filtraciones que han dañado este edificio catalogado.

Palabras clave: Termografía, humedades, filtraciones, eflorescencias, edificio histórico.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objeto la valoración técnica de las manifestaciones patológicas actuales del sistema de impermeabilización en la cubierta de la Basílica de Santa María, Alicante, España, Figura 1. La Basílica de Santa María ha sido catalogada como Bien de Interés Cultural dentro de los monumentos catalogados en el Patrimonio Cultural Valenciano estando datadas las partes más antiguas del edificio entre el siglo XIII y el siglo XIV. Desde el punto de vista arquitectónico, la estructura presenta una sola nave sin crucero, con capillas laterales situadas entre los contrafuertes y un ábside poligonal, Figura 2. La nave principal se haya cubierta por seis bóvedas de crucería de arco apuntado, separadas entre sí por arcos torales, que junto con los nervios arrancan del capitel en una solución propia de finales del siglo XV y de las primeras décadas del siglo XVI (Beviá et al, 1997).



Figura 1. Vista aérea de la Basílica de Santa María. Alicante. Sup. Izq.: fachada Noroeste. Sup. Drcha.: Fachada sudeste. Inferior: Vista en planta de la Basílica de Santa María. Alicante. Identificación de cubiertas de estudio. Fuente: Imágenes ©2016 Google, Datos del mapa ©2016 Google, Inst. Geogr. Nacional.

En relación a los materiales principales que constituyen los elementos de mampostería de la Basílica de Santa María, para la zona de estudio, no se han realizado estudios de laboratorio para identificar su procedencia. Sin embargo, y según los datos históricos, se aportan en la presente

investigación, los datos asociados a las rocas igual procedencia dispuestas en los Palacios Civiles de la calle Gravina (Louis et al. 2001). Dicha roca consiste en una biocalcarenita (Louis et al. 2001) con tamaño de grano variable: de arena media a arena gruesa e incluso microconglomerado (>2mm), con una elevada porosidad. La resistencia a compresión obtenido en el artículo citado para la caracterización de dicho material, es de 6.1 MPa. En la Tabla 1 se muestra un resumen de las principales características de las Piedras de San Julián. Es importante destacar el valor del coeficiente de absorción de la Piedra de San Julián en comparación con otras piedras tipo caliza o marga, con valores entre 0.56% y 2.05% (Thomas et al. 2008). Finalmente, en relación a las eflorescencias, Louis et al (2001) destacan el efecto altamente perjudicial de la cristalización de las sales en el proceso de erosión alveolar. Prestando especial interés en las zonas con las fachadas expuestas al viento marino, lo que favorece la cristalización de las sales, y aporta gran cantidad de sal marina debido al efecto del spray marino. Asimismo, detectaron la presencia de halita en las eflorescencias de los interiores, lo que demuestra que parte del cloruro sódico alcanzó parte del edificio. La presencia de dichas sales pudo deberse tanto por capilaridad del suelo, como por efecto de filtración del agua con contenidos importantes de sal marina. Por lo tanto, si bien en las zonas analizadas de la Basílica de Santa María no se han detectado problemas de capilaridad procedente del suelo, aunque si existe la posibilidad de presencia de sales por filtración de forma similar a las analizadas por Louis et al (2001).

Tabla 1. Datos de composición y algunas propiedades físicas de la Piedra de San Julián (Brotóns et al. 2013).

Piedra de San Julián	Cantera	Edificios
Calcita (%)	80-85	65-85
Absorción de agua (%)	7.6-15.1	6.2-13.0
Densidad real (g/cm ³)	2.64-2.67	2.59
Densidad aparente (g/cm ³)	1.85-2.29	1.8-2.4

El edificio analizado en el presente estudio, se enmarca dentro de las tipologías de construcciones históricas, siendo su planteamiento constructivo muy diferente a las edificaciones de la actualidad. Desde el punto de vista higrotérmico, su principal diferencia es la concepción como edificio permeable al agua (en vapor o forma líquida), tanto del exterior como del interior (Paricio, 1985), a diferencia de los edificios actuales que se plantean como elementos aislados, para evitar la pérdida de energía hacia el exterior. Esquemáticamente, el edificio estudiado, tal y como se comentó en el apartado 1, presenta un cerramiento perimetral, que se estima (con los medios disponibles), de una hoja de gran espesor. Este hecho provoca que, frente a la acción del agua exterior, la parte externa de la hoja en contacto con el agua, se moje y difunde el agua en forma líquida a través del espesor del muro. El avance del agua a través del mismo va formando un “frente húmedo” hasta que la precipitación cesa. Dicha cantidad de agua permanece absorbida en la mampostería, debido a la elevada capacidad de absorción de los materiales constituyentes de la fábrica, para posteriormente, ir evaporando el agua por ambas caras del cerramiento. Por lo tanto, se puede intuir la importancia del espesor y la permeabilidad del material, a fin de evitar que el frente húmedo aparezca en el interior de la estancia y, sobre todo, para que una vez finalizada la fuente de humedad, se produzca la evaporación del agua en el menor tiempo posible, especialmente para evitar solapamientos de frentes húmedos, entre diferentes ciclos de precipitación. Por lo tanto, también es claro que la evacuación del agua en este tipo de edificaciones se produce de forma diferida, por difusión y evaporación. Por lo tanto, es habitual observar en este tipo de edificaciones procesos de saturación del paramento por agua de lluvia, una vez saturados los poros, y procesos de escorrentía superficial a lo largo del paramento, produciendo la humidificación de otras zonas del elemento dispuesto para el cerramiento de la construcción.

Por otro lado, en relación a los fenómenos dinámicos del agua en el interior de la construcción en forma de vapor, es importante destacar que, debido a la ausencia de láminas plásticas o barreras de vapor, como las dispuestas actualmente en cubiertas y cerramientos modernos, el edificio se caracterizaba como eminentemente permeable. Siendo habitual que la humedad específica mínima de una sala sea la misma del exterior, dado que el aire es capaz de penetrar desde fuera, sin estar sometido a ningún proceso de barrera. Por lo tanto, los problemas habituales de este tipo de construcciones al enfrentarse contra la humedad en su concepción original era el de intentar eliminar los excesos de vapor generados en el interior de las salas debidas a la respiración y transpiración humanas, con el objeto de igualar la humedad específica interior a la del exterior. De esta forma, tal y como se ha comentado anteriormente, si la estancia no presentaba ventanas o huecos para eliminar el exceso de vapor de agua acumulado en la sala, se procedía a su eliminación bien mediante difusión a través de los muros, convección a través de huecos y rendijas o por absorción del vapor en los materiales, que posteriormente se cedía al ambiente cuando este se secaba. Puede observarse como el planteamiento teórico del funcionamiento higrotérmico de la tipología de edificios dentro de los cuales se enmarca la Basílica de Santa María, es radicalmente opuesta al planteamiento de los edificios actuales. En la antigüedad, era necesaria la permeabilidad de los cerramientos, a diferencia de lo que sucede en la actualidad, produciéndose la regulación higrotérmica a través de fisuras o aperturas en el cerramiento. Por lo tanto, los cerramientos analizados en el presente trabajo trabajan de forma activa frente a las variaciones de humedad, absorbiendo o liberando el agua en forma de vapor, cuando las condiciones de humedad variaban en el interior de las estancias. Por lo tanto, es fundamental entender que en caso de un correcto funcionamiento higrotérmico del conjunto, se establecería un equilibrio entre los cerramientos y de los recintos con su ambiente exterior.

Una vez planteada la concepción técnica del planteamiento de los sistemas de cerramiento de las edificaciones históricas, se debe analizar las posibles causas que generan la formación de humedades, dado que es el motivo principal de la redacción del presente estudio. En primer lugar, la presencia de humedad puede ser debida a procesos de filtración por contacto directo con el agua o por capilaridad. Este fenómeno lleva consigo el arrastre de sales solubles, bien pertenecientes de la propia roca, o bien procedentes de la propia agua de infiltración. Dichas sales solubles quedan retenidas en los cerramientos cuando el agua se evapora, cristalizando en los poros, y provocando la aparición de eflorescencias. La saturación de los poros por la presencia de cristalización de sales disminuye los procesos de evaporación, y provoca un desplazamiento de las manchas de humedad, debido a la búsqueda de nuevas zonas de salida del vapor de agua presente en los materiales porosos. Además, como se comentaba en el apartado 1, si las sales son higroscópicas, estas tienden a retener el agua del aire cuando la humedad relativa supera un cierto valor límite, lo que puede generar un falso mecanismo de presencia de humedades, por condensación higroscópica, con posible aparición de manchas, pero provocadas simplemente por la propia absorción del vapor de agua del aire por efecto de la higroscopicidad de las sales, y no por la presencia real de una fuente de agua por filtración o capilaridad. Por este motivo, es una causa general de patología por humedades en edificios históricos, la aparición de eflorescencias debidas a fenómenos locales de filtración ocasionado años atrás, y que posteriormente se han reactivado, no por la presencia real de una nueva filtración de agua, sino por la higroscopicidad de las sales en la superficie de las rocas. Grossi y Ebert (1994) muestran una profunda revisión bibliográfica sobre los efectos de las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales.

En el interior de la iglesia se observan diferentes eflorescencias y manchas que hacen intuir la existencia de filtraciones (Figura 2).



Figura 2. Fotos de salas bajo cubierta 2: a) Fachada Este, b) Vista inferior de la cubierta, c) Vista inferior de cubierta con tabique divisorio de bóveda, d) Sala anexa superior tras división con tabique.

2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Se ha realizado un análisis visual comparativo, a partir de la realización de una prueba de estanquidad, analizando el estado de las salas antes y después del proceso de inundación de las cubiertas, con el objeto de detectar filtraciones de rápido acceso desde la cubierta. Finalmente, se ha realizado un análisis a partir de termografía infrarroja tanto de la cubierta como de las salas citadas, a fin de detectar la existencia de puentes térmicos localizados y zonas de presencia significativa de humedad.

Con el objeto de determinar las condiciones generales de funcionamiento de la cubierta en relación a las pendientes, el estado del soporte de impermeabilización, así como el estado de ejecución de los elementos singulares, tales como bordes, encuentros, desagües y juntas, se ha planteado la realización de una prueba de estanquidad a fin de observar la aparición o no de humedades bajo la cubierta o en los muros. La realización de la prueba de estanquidad consistió en la inundación hasta un nivel aproximadamente entre 3-7 cm por encima de la cota de desagüe, asegurando un nivel de sobrecarga suficientemente bajo, para no afectar a las condiciones de seguridad estructural de la cubierta. La inundación se mantuvo durante 72h, estando los desagües obturados mediante un sistema de impermeabilización plástica a fin de evitar el descenso del nivel de agua sobre la cubierta. Finalmente, una vez transcurrido el tiempo requerido para la prueba de estanquidad, se procedió a la eliminación de los sistemas de obturación de los desagües para mantener el actual funcionamiento de los mismos.

Por otro lado, con el objeto de determinar la presencia de humedades y posibles puentes térmicos, que evidencian un funcionamiento incorrecto de la cubierta, se procedió a la realización de una

prueba mediante cámara termográfica modelo FLIR E30, en base a las disposiciones de la norma EN 13187:1998.

La prueba se realizó durante dos días consecutivos. Durante el primer día, se procedió al registro térmico de las cubiertas 1 y 2, así como de la estancia bajo la sala 2. Dicho registro se realizó entre las 19:45 y las 20:45. Los valores máximos y mínimos oscilaron a lo largo del día entre 10.7 °C y 17.4 °C, registrándose un valor a la hora de la toma de datos de 15 °C en el exterior, y de 16.7°C, siendo la humedad relativa de valor comprendido entre 38-40%. Por otro lado, para los datos registrados el segundo día, 15 de enero, los valores máximos y mínimos de la temperatura alcanza valores entre los 16.6 °C y los 8.7 °C., registrándose un valor a la hora de la toma de datos de 13°C en el exterior, y de 15.9 °C, siendo la humedad relativa de valor comprendido entre 52%. Durante este segundo día, se analizaron las salas debajo la cubierta 1, así como el edificio anexo a la sala bajo la cubierta 2. La prueba consistió en analizar los puntos críticos detectados durante las fases de inspección visual, a fin de corroborar los resultados de forma experimental. En relación a la superficie, se consideró un material granular con valor de emisividad 0.95 en base a la biblioteca de materiales proporcionada por el fabricante, homogéneo para todas las superficies analizadas.

3. RESULTADOS

En relación al análisis del flujo de agua durante la prueba de estanquidad, los resultados muestran como para el caso de la cubierta 1, la zona superior canaliza perimetralmente el agua hacia el canalón a través de las pendientes establecidas. Para el caso de la cubierta 1, en la zona inferior, se ha podido verificar que las pendientes confluyen en la zona del desagüe. La ausencia de rebosaderos evita la evacuación de las aguas en caso de saturación del desagüe por acumulación de elementos sólidos en entrada del mismo. Este hecho facilita que el nivel de agua estancada alcance el muro lateral de la capilla de la Comuni3n, favoreciendo la entrada de agua en la intersecci3n fald3n-paramento vertical.

En relaci3n a los resultados del an3lisis termogr3fico de la cubierta 1, en la Figura 3 se muestran las im3genes tanto para la zona superior como inferior de la misma. En la Figura 3 (a) se puede observar, una visi3n general de la parte superior de la misma. En dicha imagen, se puede identificar todas las posibles manifestaciones patol3gicas anteriormente comentadas. En primer lugar, se observa como tras la realizaci3n de la prueba de estanquidad, y el vertido del agua sobre parte de los cerramientos de la fachada vertical, y transcurridas 10 h desde la realizaci3n de la misma, se conserva parte de la humedad debido a la elevada capacidad de absorci3n de la piedra en el paramento. En dicha imagen, tambi3n puede observarse como la zona del antepecho, el agua se ha acumulado m3s que en la zona situada justo en la zona del canal3n. Un detalle de dicha zona puede observarse en la Figura 3(c), donde se observa no solamente la entrada y la acumulaci3n de agua en la zona inferior, sino tambi3n el agua filtrada a trav3s de las juntas entre las piezas de mampostería. Por otro lado, tambi3n se debe destacar el cambio brusco de característic3s térmicas en la uni3n entre el antepecho, y la pare correspondiente a la protecci3n rígida del fald3n superior, Figura 3(a)-(c). Se observa claramente la junta entre los dos materiales, y se puede comprobar como parte del agua vertida por el extremo del fald3n ha chorreado por el paramento, almacenándose en la zona de la junta, debido a la ausencia de la realizaci3n correcta del detalle del extremo del fald3n. En relaci3n al canal3n, sin embargo, no se han detectado problemas de filtraciones. Por otro lado, en la Figura 3(b), se observa un detalle del canal3n para el paso de las instalaciones. En dicha imagen, se puede observar en verde, la zona trasera del canal3n, donde se ha producido el almacenamiento de agua, debido a la falta de estanquidad de la junta, y la ausencia de un dispositivo de protecci3n para evitar el chorreo del agua por el paramento, y el filtrado por detr3s del canal3n. Por otro lado, en la Figura 3 (d), se muestra un detalle de la falta de estanquidad del extremo derecho del antepecho, en la zona de conexi3n del extremo del fald3n, el antepecho y

el contrafuerte, marcándose la zona que actualmente está muy deteriorada, siendo una muestra evidente de falta de impermeabilización. En relación también con problemas de estanquidad, se puede ver en la Figura 3 (e), la ausencia de la entrega de la impermeabilización en la zona de contacto del faldón inferior con el antepecho, así como la presencia de vegetación en la zona más a la derecha de la foto, de mayor temperatura. Además, a través de dicha imagen se puede evaluar el estado actual de impermeabilización de la zona dañada de la solera. Los resultados mostrados por la termografía no mostraron la presencia de problemas de estanquidad. Finalmente, las figuras 3 (g-h), muestran la zona embalsada durante la prueba, donde puede observarse claramente el proceso de ascensión capilar a través del paramento, superando claramente los 5 cm de banda de impermeabilización dispuesta actualmente en el empalme del faldón con el paramento vertical, en las zonas donde se ha puesto, pues existe la ausencia de dicho detalle constructivo en diversas partes del faldón inferior.

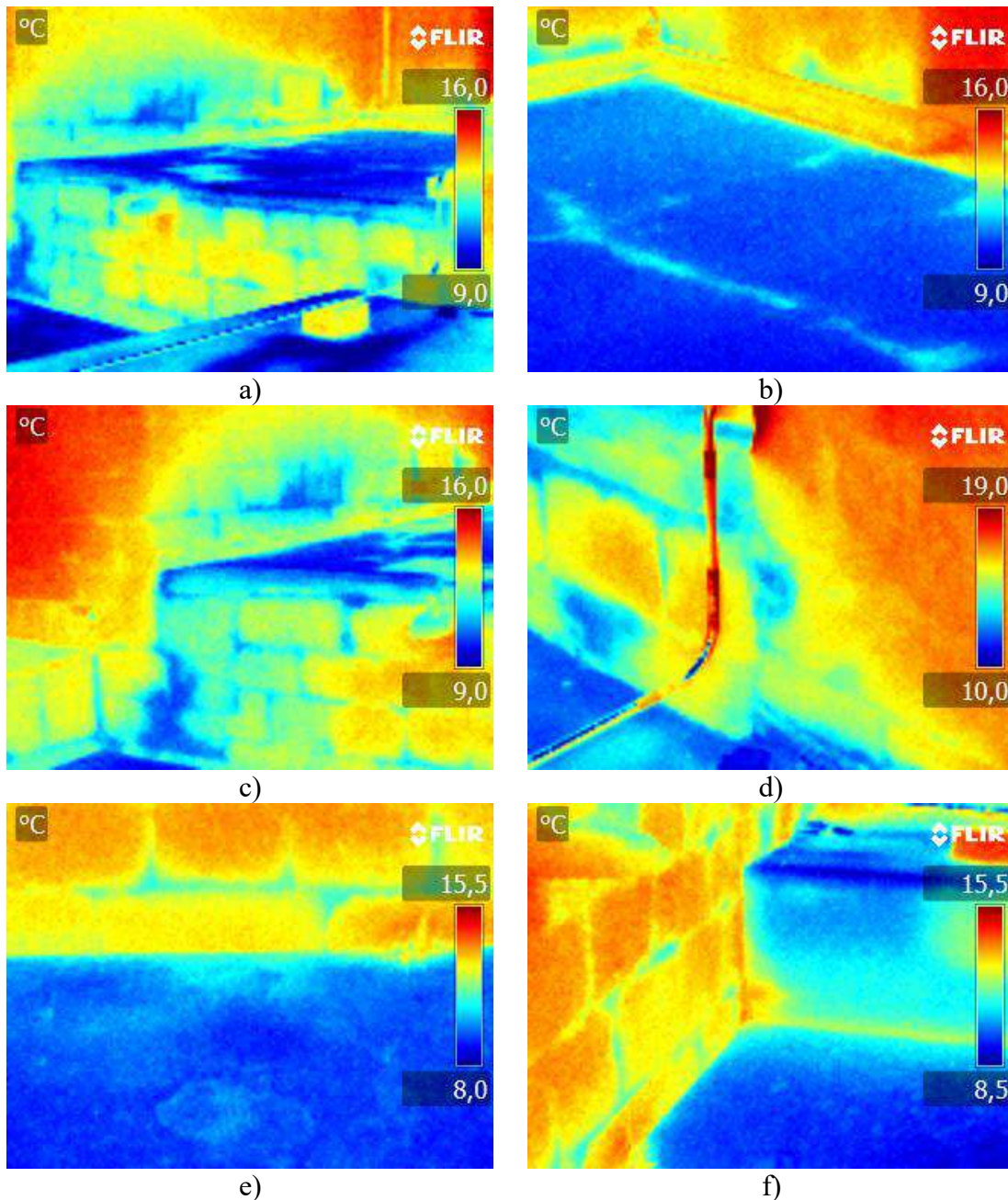


Figura 3. Termografía cubierta 1: a) Vista general zona superior , b) Detalle de canaleta de instalaciones, c) Humedades en paramento vertical y esquina de antepecho, filtración por juntas de mampostería, d) Falta de estanquidad en antepecho y contrafuerte, e) Faldón inferior y paramento vertical, f) Conexión lateral faldón antepecho, g) y h) Capilaridad.

En relación a los resultados del análisis de la cubierta 2, la Figura 4 (a) y 7 (b), muestran el detalle de la ausencia de la junta perimetral, viéndose la diferencia de temperaturas en las zonas donde el mortero está totalmente deteriorado y la junta queda a hueso entre el extremo del faldón y el paramento. Es importante no confundir con la línea roja asociada al paso de una tubería de instalaciones, pues la zona analizada es la asociada al extremo de conexión con el paramento vertical de la fachada. La Figura 4 (c), se muestra la zona del extremo del faldón lateral. En dicha imagen se puede ver como la falta de aislamiento térmico en los tramos del paramento vertical, así como zonas de tonalidad más fría, debido al agua vertida durante la prueba de carga. Esta zona se muestra en tonalidad más verdosa en la zona intermedia de la foto. También debe destacarse el contraste en la unión del extremo del faldón, viéndose e claramente la posición de la junta horizontal entre el material superior y el material de apoyo. Dicha junta, representada como una línea de color amarillo con tonos cian, presenta un estado de deterioro importante, tal y como se pudo observar durante el análisis visual de la cubierta en los apartados anteriores. Finalmente, la Figura 4 (d) muestra un detalle de extremo perimetral del faldón, en la zona próxima a la puerta de acceso a la cubierta.

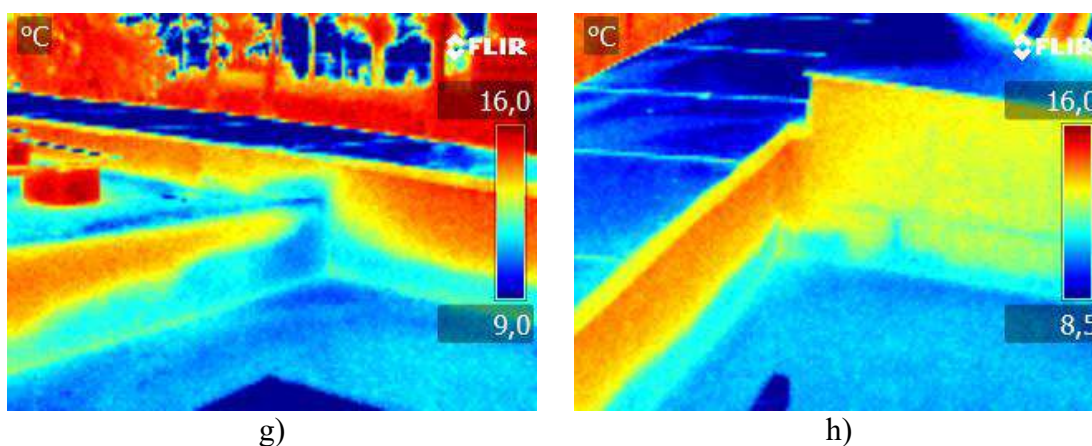
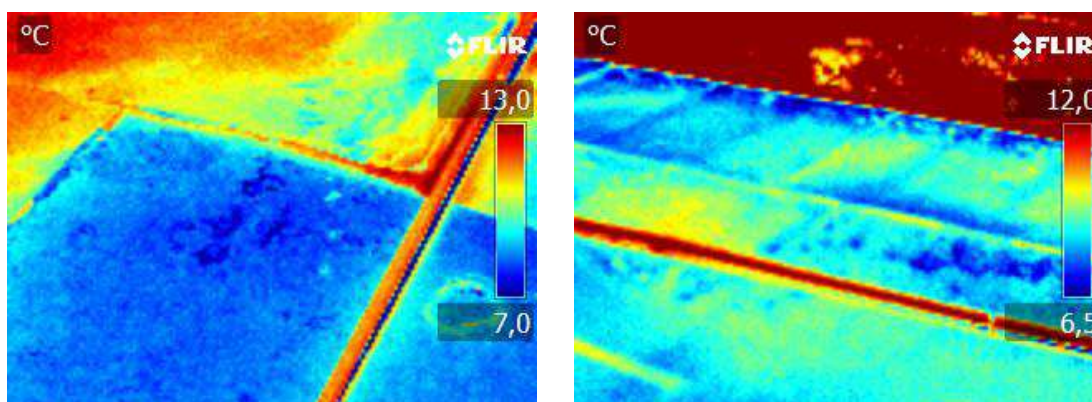


Figura 3 (Continuación). Termografía cubierta 1: a) Vista general zona superior, b) Detalle de canaleta de instalaciones, c) Humedades en paramento vertical y esquina de antepecho, filtración por juntas de mampostería, d) Falta de estanquidad en antepecho y contrafuerte, e) Faldón inferior y paramento vertical, f) Conexión lateral faldón antepecho, g) y h) Capilaridad.

En relación a los resultados del análisis de la cubierta 2, la Figura 4 (a) y 4 (b), muestran el detalle de la ausencia de la junta perimetral, viéndose la diferencia de temperaturas en las zonas donde el mortero está totalmente deteriorado y la junta queda a hueso entre el extremo del faldón y el paramento. Es importante no confundir con la línea roja asociada al paso de una tubería de instalaciones, pues la zona analizada es la asociada al extremo de conexión con el paramento vertical de la fachada. La Figura 4 (d), se muestra la zona del extremo del faldón lateral. En dicha imagen se puede ver como la falta de aislamiento térmico en los tramos del paramento vertical, así como zonas de tonalidad más fría, debido al agua vertida durante la prueba de carga. Esta zona se muestra en tonalidad más verdosa en la zona intermedia de la foto. También debe destacarse el contraste en la unión del extremo del faldón, viéndose e claramente la posición de la junta horizontal entre el material superior y el material de apoyo. Dicha junta, representada como una línea de color amarillo con tonos cian, presenta un estado de deterioro importante, tal y como se pudo observar durante el análisis visual de la cubierta en los apartados anteriores.

línea de color amarillo con tonos cian, presenta un estado de deterioro importante, tal y como se pudo observar durante el análisis visual de la cubierta en los apartados anteriores. Finalmente, la Figura 4 (f) muestra un detalle de extremo perimetral del faldón, en la zona próxima a la puerta de acceso a la cubierta. En la Figura 4 se incluyen también las imágenes con cámara digital de las zonas analizadas mediante imagen térmica. La comparativa entre sí de dichas imágenes permiten observar los beneficios del uso de la termografía en la detección de patologías, siendo esta una técnica de apoyo a la inspección visual.

Por otro lado, en las Figuras 5, 6 y 7, se muestran los detalles de la distribución de temperaturas en el interior de las tres salas interiores analizadas. Debe destacarse que debido a los bajos niveles de diferencias térmicas entre los diferentes elementos estructurales que constituyen el cerramiento, la nitidez de las imágenes no muestran un comportamiento tan diferenciado como para el caso del análisis de las cubiertas. A fin de aumentar el contraste térmico, en algunas salas se mantuvo encendidas los focos previos a la realización de la prueba, para poder asegurar la posición de las aristas de la sala, una vez tomadas las fotos térmicas, ya que estas se realizaron con la luz apagada. Analizando el comportamiento térmico de la sala bajo la zona inferior de la cubierta 1, Figura 5, denominada a lo largo del estudio como la sala adyacente a la capilla de la Comunión, se puede observar como en la Figura 5 (a), correspondiente a la esquina de conexión entre la fachada exterior y el arco toral que da acceso a la capilla de la Comunión, y dispuesto en la zona próxima a la presencia del sumidero en la cubierta por su parte superior, que queda claramente definida la diferencia térmica entre la parte correspondiente a la fachada y el techo de la bóveda. Sin embargo, con las condiciones climáticas registradas durante la realización del ensayo, no se han detectado la presencia de irregularidades térmicas específicas en las zonas potencialmente dañadas asociadas a la conexión entre la fachada y el arco toral de la bóveda de arista analizada. Asimismo, se observa parte de la ventana exterior, la cual nos da referencia a fin de poder encuadrar la foto. En la Figura 5(b), se muestra un detalle de la zona de ventana. En dicha imagen es claramente observable el efecto de punto frío debido a la mayor transparencia térmica del vidrio frente a los elevados espesores de la fachada. Además, se puede observar la falta de aislamiento térmico en las zonas de conexión entre la fachada y la cubierta, marcándose claramente la arista de unión entre ambas, y mostrándose un gradiente de temperatura desde el inicio hasta la zona central de la bóveda. En la Figura 5(c), se muestra la termografía de la otra esquina de la fachada exterior, de forma similar a lo descrito para la figura 5 (a). Como puede observarse, en esta imagen no se aprecian signos relevantes de patología, siendo detectados únicamente el salto térmico entre los paramentos verticales y la cubierta de la bóveda. Finalmente, en la Figura 5 (d) se muestra una imagen general de la cubierta. En dicha imagen puede observarse la presencia de una parte de la cubierta ligeramente más fría que la otra, debida principalmente al efecto de la acumulación de agua durante la realización del ensayo.



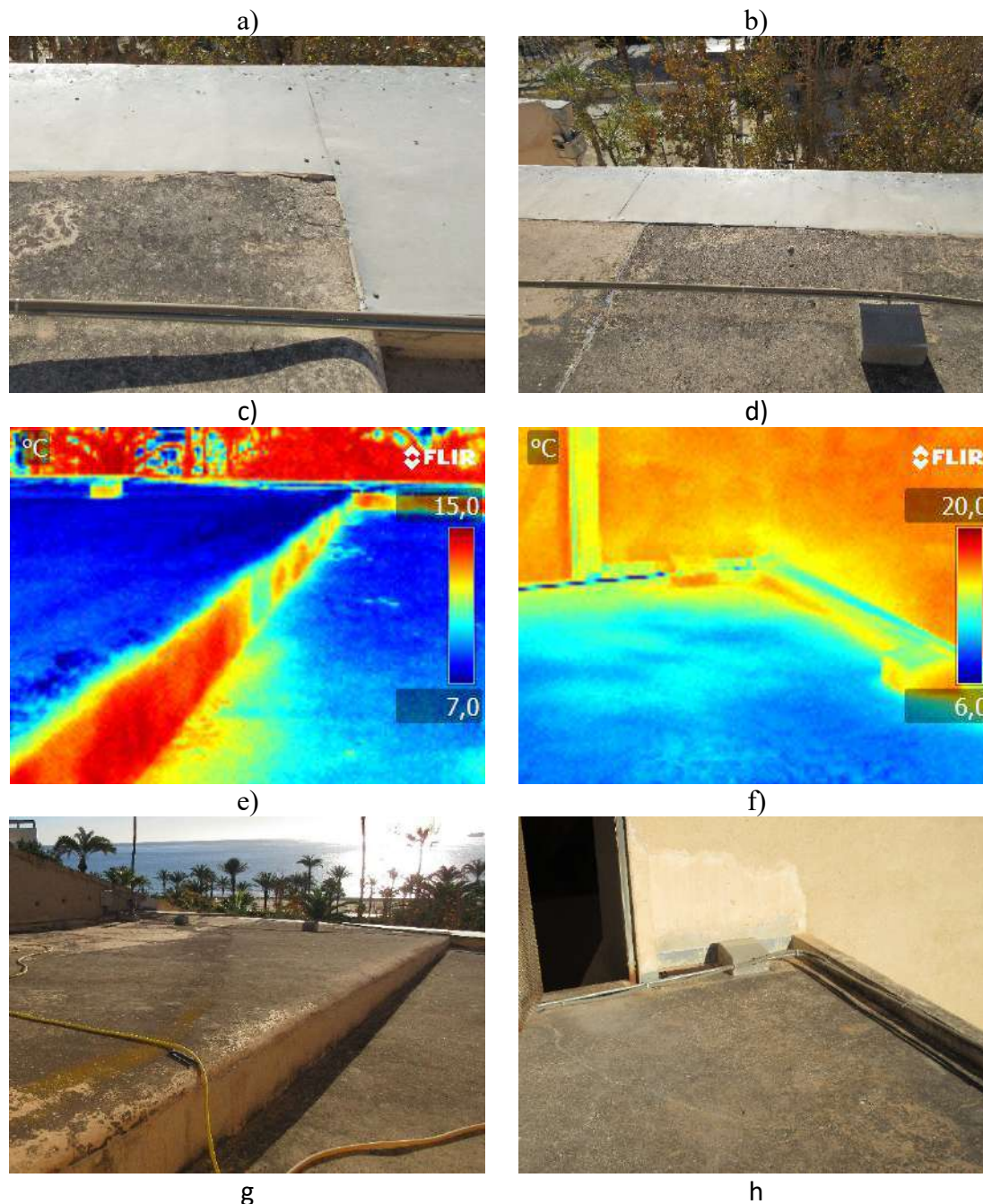


Figura 4. Termografía cubierta 2: a) Deterioro o inexistencia de junta perimetral, y detalle de conexión con albardilla metálica defectuosa, b) Detalle de fallo de la junta perimetral en zona de contacto del faldón con la fachada exterior, c) Imagen a) con cámara digital; d) Imagen b) con cámara digital; e) Detalle del extremo lateral del faldón y de la conexión con el resto de cubierta, filtración por juntas de mampostería, f) Zona perimetral del faldón en zona próxima a la puerta de acceso a la cubierta; g) Imagen e) con cámara digital; h) Imagen f) con cámara digital.

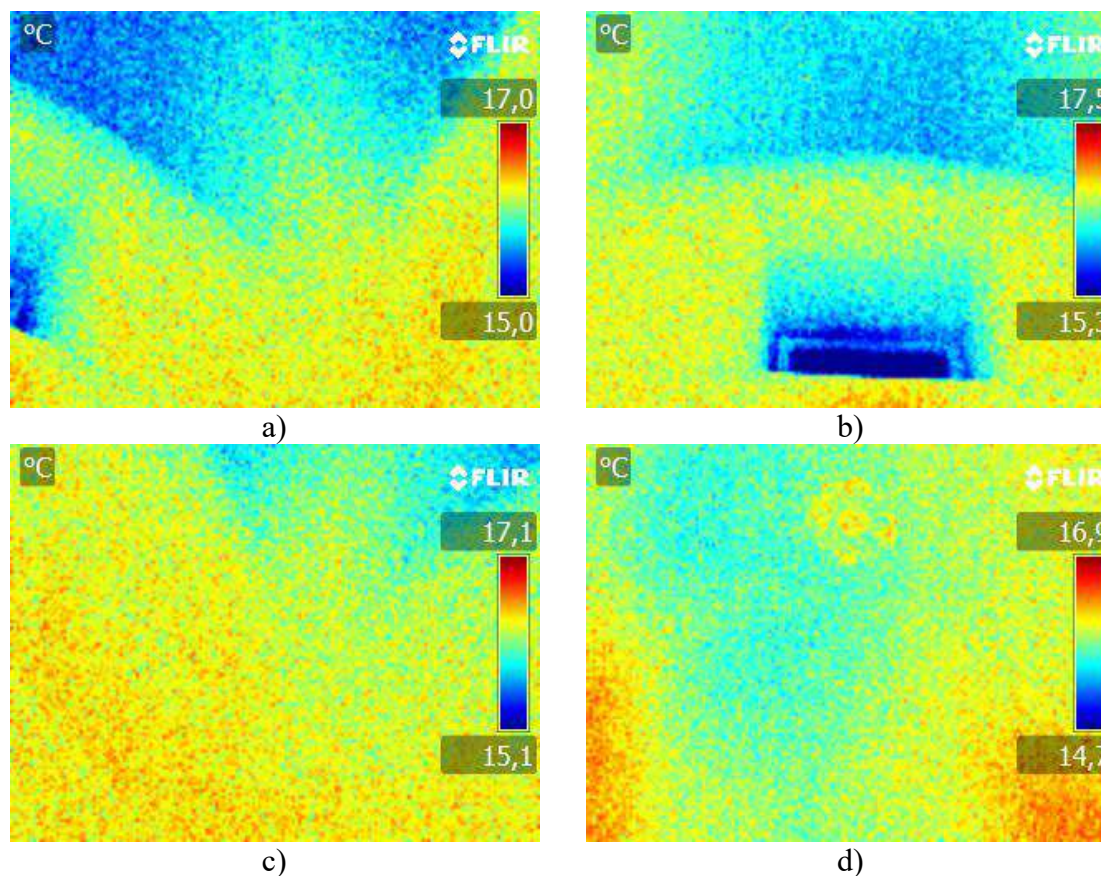


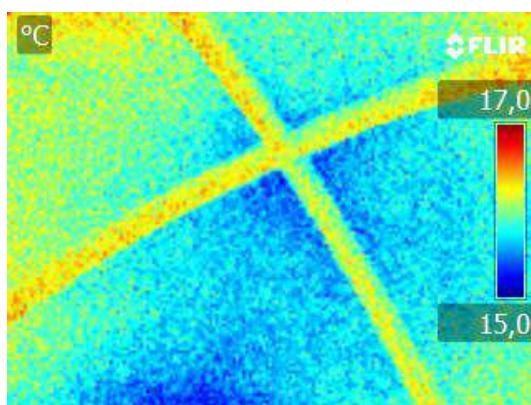
Figura 5. Termografía salas bajo cubierta 1, adyacente a la capilla de la Comunión: a) Conexión del arco toral con la fachada exterior, en zona de acceso a la capilla de la Comunión, b) Conexión fachada con cubierta en zona de ventana, c) Segunda esquina del muro de fachada, equivalente a la imagen (b), d) Vista general del a cubierta desde abajo.

En relación al análisis por termografía realizada para la sala dispuesta en la nave lateral, adyacente a la nave central de la basílica, en la Figura 6 se muestran la distribución de las temperaturas en los diferentes puntos críticos analizados en los apartados anteriores. En primer lugar, en la Figura 6 (a), se muestra una vista inferior de la cubierta de la bóveda de arista. Puede observarse la diferencia de temperaturas entre los arcos perpiaños y el resto de la plementería que conforma el techo de la bóveda. Por otro lado, en la Figura 6 (b) y 6 (d), se muestran la termografía de detalle de las esquinas de conexión entre los arcos perpiaños, y los muros de fachada. Se observa un patrón de comportamiento similar a los descritos para la sala anterior, con la diferencia de la mayor temperatura del arranque de los arcos. Debe destacarse que el análisis de dichos puntos se ha realizado sin la presencia de fuentes de luz próximas ni antes ni durante la prueba, por lo que la distribución térmica es la debida al equilibrio higrotérmico entre el exterior y el interior del edificio. Finalmente, la Figura 5 (c), muestra el mismo problema de falta de aislamiento que el comentado en la sala anterior, debido a la junta de conexión entre el paramento vertical y la cubierta.

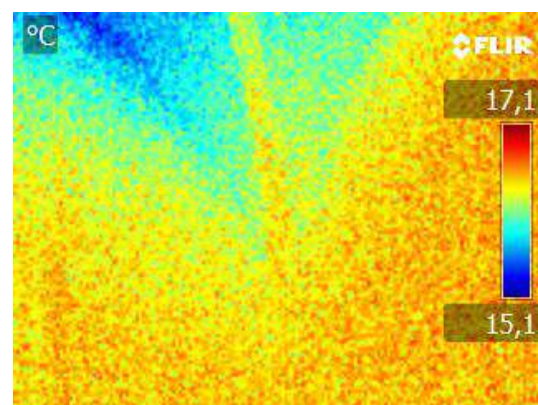
Finalmente, en relación al análisis por termografía realizada para la sala dispuesta bajo la cubierta 2, en la Figura 7 se muestran la distribución de las temperaturas en los diferentes puntos críticos analizados en los apartados anteriores. De forma general, el comportamiento térmico es muy similar a los detectados en las salas anteriores, con la salvedad de que en este caso no se ha observado una diferencia térmica tan elevada entre los puntos de la fachada interior y la cubierta. Es decir, en las Figuras 7 (a), (b), (c) y (d) se observa el detalle del contacto entre la fachada y la cubierta, observándose las filtraciones térmicas en la parte superior de la zona de la ventana, así como en la propia ventana. En la Figura 7 (e) se muestra una termografía de la parte de la cubierta

correspondiente al anclaje del candelabro, donde se observa una distribución uniforme de temperaturas sin presencia de daños detectados. En las Figuras 7 (f) y (g), se observan las termografías asociadas a las figuras 7(c) y (d), pero en este caso, en la fachada opuesta a la exterior. En este caso, puede observarse las variaciones térmicas en las zonas afectadas por el calentamiento de los focos. Esto es debido a la presencia de puntos fríos en las zonas de contacto entre la pared lateral y la fachada. Dichos puntos fríos, especialmente los detectados en la Figura 7(g), están relacionados con las manchas de humedad detectadas. En dichas imágenes se muestra el agujero circular, más frío, a modo de referencia para ubicar la posición de las fotos. Es importante destacar que dichas manchas de humedad, además de estar relacionadas con la presencia de una zona fría, también están relacionadas con la presencia de una zona de acumulación de agua en la parte superior de la cubierta 2, próxima a la cúpula. En dicha zona se produce el vertido del agua recogida en la cúpula, y la falta de estanquidad lateral en el extremo del faldón, junto con el bajo nivel de ventilación presentado en la sala mostrada, provocan el aumento de la humedad, y con ello la aparición de dichas eflorescencias.

Finalmente, se debe destacar la presencia de una gotera detectada en el edificio anexo de acceso a la sala 2. Dicha gotera se presenta en el techo de la planta superior. No se ha podido detectar si la presencia de la humedad es debido a un error en la cubierta de teja, o en la propia cubierta 2. Sin embargo, por su posición geométrica está muy próxima a la posición del desagua de la cubierta, pudiendo ser un signo de falta de estanquidad del mismo.



a)



b)

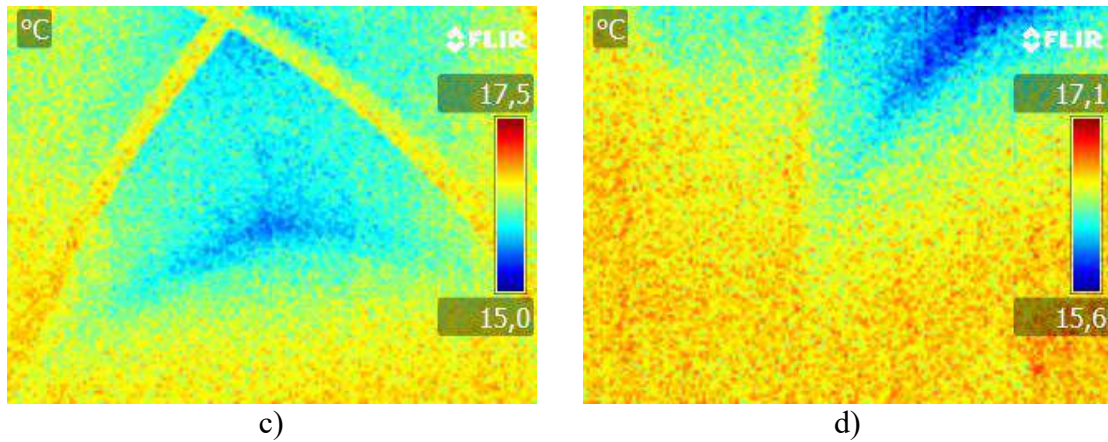


Figura 5. Termografía salas bajo cubierta 1, adyacente a la nave lateral: a) Vista general de cubierta, b) Conexión fachada con esquina lateral, c) Conexión fachada con cubierta, d) Conexión fachada con esquina lateral opuesta.

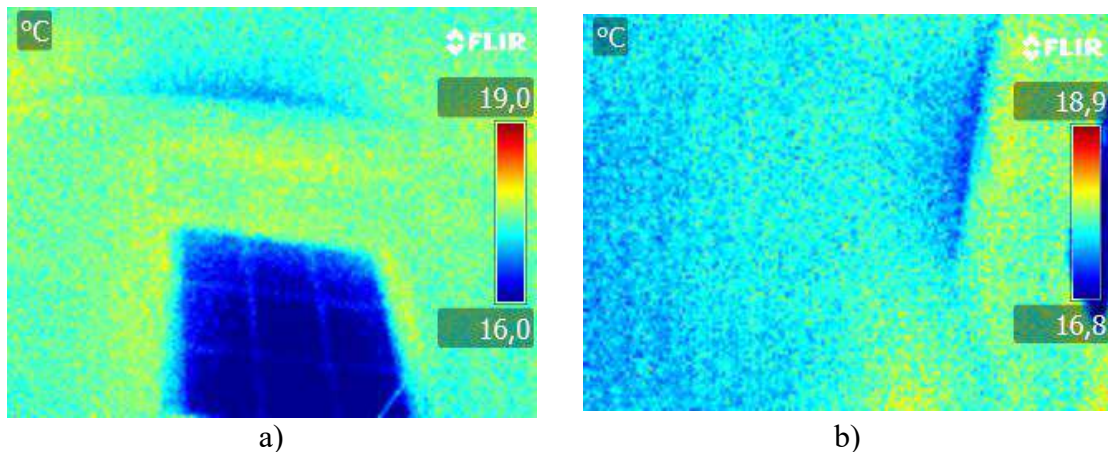
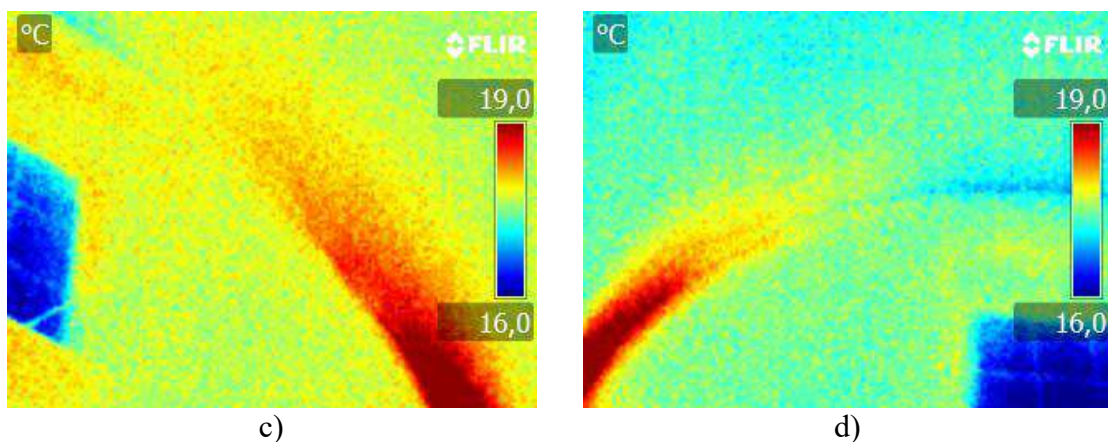


Figura 6. Termografía sala bajo cubierta 2: a) zona de ventana y forjado, b) Vista inferior de la cubierta, c) Vista conexión paramento lateral forjado, d) Vista conexión paramento lateral forjado, e) zona central de cubierta, f) Vista de muro divisorio trasero, g) Vista conexión paramento lateral y muro trasero, h) Gotera en zona de edificio anexo.



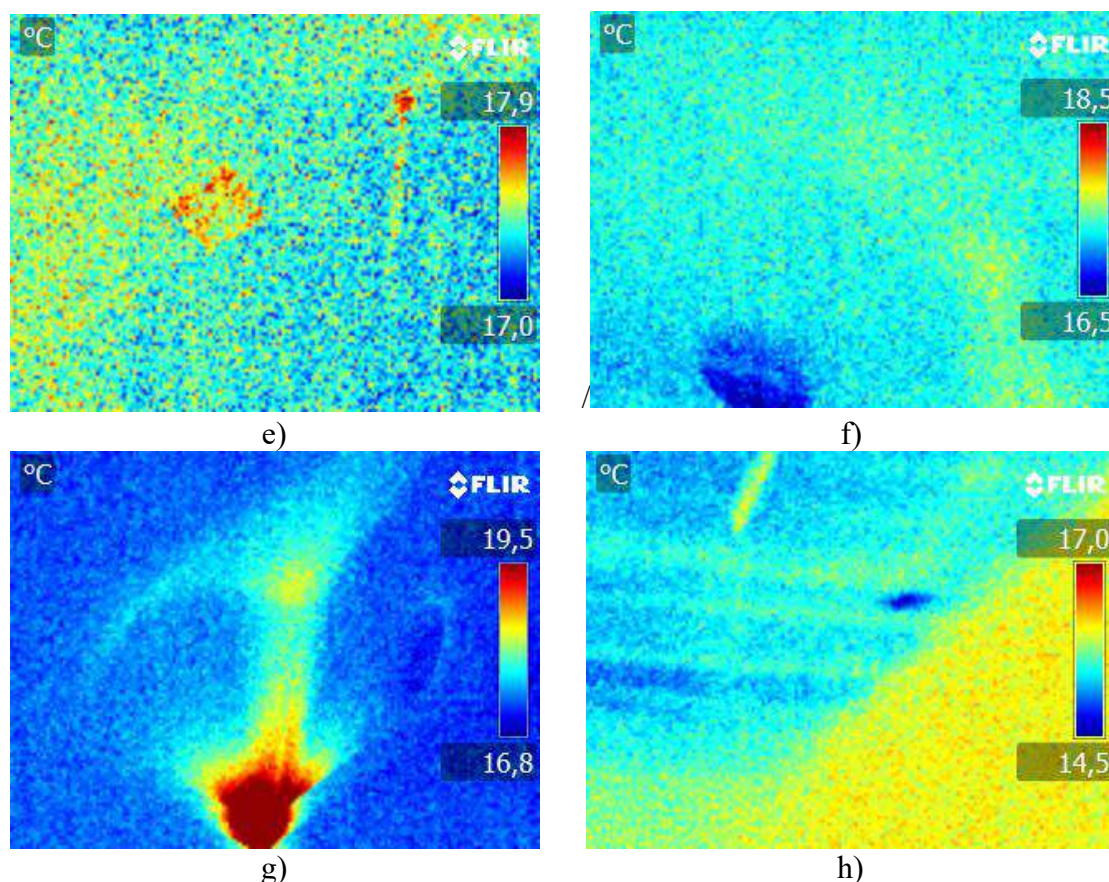


Figura 7 (Continuación). Termografía sala bajo cubierta 2: a) zona de ventana y forjado, b) Vista inferior de la cubierta, c) Vista conexión paramento lateral forjado, d) Vista conexión paramento lateral forjado, e) zona central de cubierta, f) Vista de muro divisorio trasero, g) Vista conexión paramento lateral y muro trasero, h) Gotera en zona de edificio anexo.

4. CONCLUSIONES

Tras la realización del estudio de valoración técnica del estado de estanquidad y el análisis de humedades de las cubiertas analizadas en la basílica de Santa María, se puede concluir que el estado actual de la cubierta no cumple las condiciones mínimas técnicas en base al estado actual de los detalles constructivos. Asimismo, el estado de humedades y eflorescencias presentes en las zonas interiores es debido a un problema de condensación higroscópica, a causa de los aumentos de humedad por la proximidad a la zona marítima, así como la falta de ventilación de las salas interiores estudiadas. Además, esta patología se ve intensificada por los posibles problemas de filtración ocasionados durante los meses de octubre y noviembre, debido al mayor nivel de lluvias. Estas aguas se acumulan en el interior de los elementos constructivos y van eliminando el exceso de humedad por transmisión de vapor al variar las condiciones térmicas del edificio. Además, la presencia de sales marinas en edificios próximos, y la elevada capacidad de absorción de los materiales estudiados, muestran un comportamiento propenso al arrastre de sales en disolución durante las épocas de lluvia, que favorece la aparición de eflorescencias, las cuales aumentan el riesgo de humedades por condensación. Por otro lado, en relación al empleo de las técnicas de análisis mediante termografía, las imágenes han permitido detallar con mayor precisión las patologías existentes, especialmente las debidas a las fugas térmicas y las zonas de acumulación de humedad, las cuales son imperceptibles durante la exploración visual.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Obispado de Orihuela-Alicante la disponibilidad para realizar este estudio en un bien catalogado.

REFERENCIAS

Bevià García, Màrius, y Azuar Ruiz, Rafael. “Santa María descubierta: Arqueología, arquitectura-cerámica: Excavaciones en la Iglesia de Santa María de Alicante (1997-1998), Alicante. Fundación MARQ, 2005.

Brotóns, V., Tomás, R., Ivorra, S., Alarcón, J.C. Temperature influence on the physical and mechanical properties of a porous rock: San Julian's calcarenite (2013) *Engineering Geology*, 167, pp. 117-127.

Grossi, C. M. Esbert, R. M. “Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica. *Materiales de Construcción*, Vol. 44, nº 235, julio/agosto/septiembre 1994.

Louis, M., García del Cura, M. A. , Spairani, Y., de Blas. D. “The Civil Palaces in Gravina Street, Alicante: building stones and salt weathering. *Materiales de Construcción*, Vol. 51, nº262, abril/mayo/junio 2001.

Paricio Ansuateguie, I. La construcción de la Arquitectura. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, 1985, T.2, p. 26.

Thomas, c., Lombillo, I., Setién, J., Polanco, J. A., Villegas, L. Absorción por capilaridad y consolidación de materiales pétreos del patrimonio histórico construido impermeabilizados y reforzados con productos hidrofugantes y consolidantes comerciales. *Tecnología de la rehabilitación y la gestión del patrimonio construido (REHABEND)* 2008. ISBN: 978-84-692-5650-3.

UNE EN 13187:1998. Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos. Asociación Española de Normalización.

Avaliação de manifestações patológicas em fachadas: Estudo de caso em edifícios residenciais em Salvador/BA.

COSTA, P. Z.^{1*}; FREITAS, P. V. G²; A. R. A. OMORE³, M. A. MACHADO³; V. A. COELHO⁴;
SILVA, F. G. S⁵.

*Autor de contato: priscilav@fieb.org.br

¹Pós-graduando em Engenharia de Avaliação e Perícia, Universidade Jorge Amado, Salvador, Brasil

²Área de Construção Civil, SENAI CIMATEC, Salvador, Brasil

³Graduado(a) em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁴PPEC, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁵Departamento de Construção e Estruturas, Universidade Federal da Bahia, Salvador- Ba, Brasil

RESUMO

A fachada é um dos principais sistemas de uma edificação que, além da estética, visa protegê-la das intempéries, aumentando seu desempenho e vida útil. Apesar de sua relevância, o revestimento de fachada tem sido executado sem os devidos cuidados técnicos, gerando uma grande quantidade e variações de anomalias. Este artigo tem por finalidade demonstrar as variadas manifestações patológicas existentes em fachadas constituídas por revestimento cerâmicos e de pintura sobre reboco em edifícios residenciais da cidade de Salvador, BAHIA. Para isto, a metodologia utilizada consiste em: a) Vistoria in loco; b) coleta de dados, c) Ensaio não destrutivos d) Catalogação de anomalias e e) Proposições de terapias. Essa pesquisa levou à conclusão de como essas anomalias interferem, diretamente, na estética da edificação e favorecem à deterioração do edifício, mais rapidamente.

Palavras chave: Fachada, Manifestações patológicas; Revestimento.

ABSTRACT

The facade is one of the main systems of a building that, in addition to aesthetics, aims to protect it from the elements, increasing their performance and service life. Despite its relevance, the façade cladding has been carried out without due technical care, generating large number and variations of anomalies. The purpose of this article is to demonstrate various pathological manifestations existing in facades made of ceramic coating and painting on plaster in residential buildings in the city of Salvador, BAHIA. For this, the methodology used consists of: a) On-site inspection; b) data collection, c) Non-destructive testing d) Cataloged of anomalies and e) Therapy proposals. This research led to the conclusion that these anomalies directly interfere in the building's aesthetics and favor the building's deterioration more quickly.

Keywords: Facade, pathological manifestations; Coating.

RESUMEN

La fachada es uno de los principales sistemas de un edificio que, además de la estética, tiene como objetivo protegerlo de los elementos, aumentando su rendimiento y vida útil. A pesar de su relevancia, el revestimiento de la fachada se ha realizado sin los debidos cuidados tecnicos, generando un gran número y variaciones de anomalías. El propósito de este artículo es demostrar as manifestaciones patológicas en las fachadas existentes en revestimiento cerámico y pintura sobre yeso en edificios residenciales de la ciudad de Salvador, BAHIA. Para ello, la metodología utilizada consiste en: a) Inspección in situ; b) recogida de datos, c) Ensayos no destructivos d) Catalogación de anomalías y e) Propuestas terapéuticas. Esta investigación llevó a la conclusión de cómo estas anomalías interfieren directamente en la estética del edificio y favorecen el deterioro de esta con mayor rapidez.

Palabra Clave: Fachada, patológicas manifestaciones; Revestimiento.

2. INTRODUÇÃO

A área de revestimento externo de uma edificação, denominada comumente de fachada, apresenta importantes funções e, dentre elas, merecem destaque a de proteger os elementos de vedação dos edifícios da ação direta dos agentes agressivos como vento e intempéries, a de isolamento térmico e acústico, bem como, a de substrato regular para recebimento de elementos de decoração tais como cerâmicas, rochas e pintura. Além disso, os revestimentos também cumprem a função estética, contribuindo, significativamente, para a valorização do imóvel. (GALLETTO; ANDRELLO, 2013).

As especificações de projeto para o preparo da base destinada à fixação dos revestimentos, assim como o controle dos materiais constituintes aliadas a uma mão de obra apropriada, devem ser observadas e controladas para que se evite, futuramente, o aparecimento de fissuras ou qualquer outra manifestação patológica na fachada. (SILVA, 2005).

Sabe-se que as ocorrências das fissuras ou trincas podem ser causadas por retração, variação de temperatura, ação dos esforços mecânicos, consequências dos recalques de fundação, pela movimentação higroscópica, dentre outras. No que tange à ocorrência:

As fissuras podem ser ocasionadas pela retração da argamassa ou concreto, ausência de cura, o uso de areia inadequada ou contaminada, tempo insuficiente de hidratação da cal, falta de juntas de dilatação ou, ainda, movimentações que absorvam a deformidade da estrutura (VERÇOZA, 1991, p. 53).

As manifestações patológicas são encontradas, com maior frequência, nas fachadas das edificações. O revestimento externo exerce a função de proteger o edifício frente às ações do ambiente, deste modo, este sistema deve conservar suas características e proporcionar a possibilidade de substituir ou manter mais facilmente suas peças constituintes, levando em conta o desempenho da vida útil da construção (SILVA, et al., 2011).

Em fachadas com revestimentos cerâmicos, a patologia geralmente se manifesta como descolamento da cerâmica e isso pode estar relacionado à execução por mão de obra não treinada/qualificada; infiltrações nas alvenarias; uso de materiais e ferramentas inadequadas; ausência de juntas de movimentação, dentre outros.

Em geral, as causas que levam ao aparecimento de manifestações patológicas são de fácil determinação e podem estar relacionadas aos mais diversos fatores de causa. Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar as manifestações patológicas observadas em dois edifícios localizados no bairro de São Marcos, na cidade de Salvador, Bahia.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram realizadas inspeções in loco visita ao Edifício 1 e Edifício 2, ambos no Bairro de São Marcos, Salvador, BA.

A metodologia deste trabalho consistiu em:

- a. Realização de inspeção visual e levantamentos fotográficos das manifestações patológicas encontradas;
- b. Realização de termografia infravermelho (máquina FLIR C2), para identificação da existência de umidade e temperatura superficial ao longo da fachada;

- c. Análise das causas das manifestações patológicas. Através da avaliação conjunta dos sintomas, em função da quantidade e gravidade identificados na fachada;
- d. Proposição de soluções terapêuticas para correção das manifestações patológicas encontradas.

Na vistoria, foram verificadas e levantadas todas as ocorrências de anomalias nas fachadas. Foram identificadas a tipologia da estrutura, suas características, localização em relação à incidência solar, ventos e chuvas e o tipo de acabamento.

São edifícios residenciais que apresentam padrão popular, com estado de conservação classificado como sendo “entre reparos simples e importantes”, compostos por pavimento térreo e 03 pavimentos superiores, executados em alvenaria estrutural, com lajes em concreto armado e coberturas com telhas de fibrocimento.

Os imóveis se encontram em região, predominantemente, residencial e de padrão construtivo popular, próximo à Avenida São Rafael, uma das principais vias da região, onde se encontram também empreendimentos comerciais, hospital e centros empresariais.

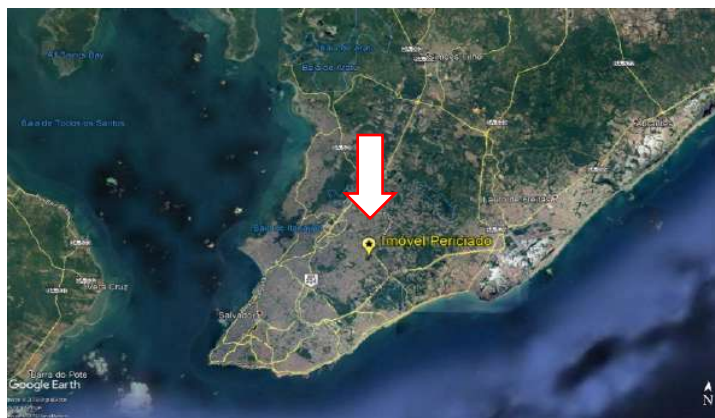
O registro fotográfico, permitiu uma avaliação do estado de conservação geral de cada um dos edifícios e uma análise prévia das patologias existentes, assim como as anotações feitas em ficha de registro dos aspectos: condição de vizinhança, orientação solar, orientação e incidência das chuvas e eventual registro de intervenções de manutenção, bem como de execução de revestimento cerâmico sobre área originalmente pintada.

4. ESTUDO DE CASO

Conforme anotações feitas e indicadores relacionados a partir do levantamento das principais características das Edificações, é perceptível que se trata de edifícios de que foram construídos há mais de 25 anos, com finalidade residencial, localizados em bairro popular de Salvador, próximos à avenida São Raphael.

4.1. Estudo de caso edificação – Situação 1

Na figura 1, está exposta a localização do Edifício 1, situado na cidade de Salvador, BA.



Fonte: Google Earth, 2019

Figura 1 - Localização do Edifício 1

O posicionamento das fachadas é de suma importância para a identificação e análise das ações advindas da natureza, entre elas estão: a orientação solar, a direção da chuva e a incidência e pressão dos ventos. Na figura 2, são apresentadas as orientações das fachadas do edifício em questão.



Figura 2. Orientação das Fachadas
Fonte: Google Earth, 2019.

4.1.1 Levantamento da Ocorrência das manifestações patológicas

As fachadas analisadas, caracterizadas como sendo leste, norte e sul, apresentam as seguintes anomalias:

- a. Deslocamento do revestimento cerâmico; (Figura 3)
- b. Presença de fissuras no revestimento; (Figura 4)
- c. Reboco pulverulento; (Figura 5)
- d. Manchas de carbonatação entre as cerâmicas. (Figura 6)

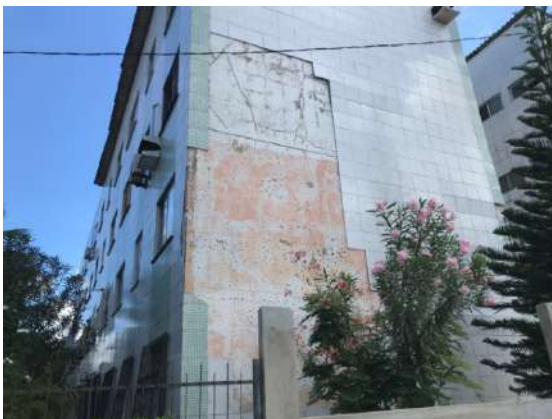


Figura 3 - Área de Deslocamento Cerâmico



Figura 4 - Área de Fissurações



Figura 5 - Reboco Pulverulento



Figura 6 - Carbonatação na área dos rejuntas

4.1.2. Estado de conservação do Edifício 1

a) Influência da condição de exposição das fachadas

As análises da condição de exposição das fachadas são principalmente determinadas pelos fatores: Temperatura, umidade, insolação, direção e pressão de ventos. A temperatura média na cidade de Salvador é em média 25.6°C. As precipitações em Salvador são em média 100mm, com os meses de maior incidência entre abril e agosto. Em maio, mês de maior precipitação, tem uma média de 189 mm. Quanto a pressão de ventos, a cidade fica localizada na Região I - índice de 10 Pa, a velocidade dos ventos.

Foram observados que a fachada leste apresenta infiltrações ocasionadas pela existência de fissuras no sistema e pela incidência de chuvas dirigidas pelo vento no sentido sudeste. A fachada norte apresenta um nível elevado de degradação, o que se deve ao fato de estar voltada para o sentido noroeste, e, sofrer, portanto, a influência da temperatura elevada e sua amplitude gerada pela variação térmica ao longo do dia. Verifica-se, além do descolamento e deslocamento do revestimento cerâmico, alto índice de retração do revestimento de argamassa.

Segundo Silva, Maria:

As variações térmicas, aliadas à umidade, provocam esforços higrotérmicos que atuam diretamente sobre os acabamentos, provocando uma dilatação das unidades construtivas em função dos seus coeficientes de dilatação potencial (devido às variações negativas) e de sua técnica construtiva. Essas variações provocam o surgimento de gretas e fissuras (SILVA, 2014. p.56)

A Fachada Sul, apesar de estar na zona de influência do vento sudeste, apresenta melhor estado de conservação em relação às demais, por conta da presença de árvores e coqueiros ao longo de sua extensão.

b) Condições de Vizinhança

As edificações vizinhas influenciarão na degradação das fachadas no momento em que prédios vizinhos os protegem da incidência dos fatores climáticos, como: insolação, ventos e chuvas. Em três faces da envoltória do prédio não há proximidade de edificações vizinhas, o que aumenta a possibilidade de degradação. A fachada norte está distante, aproximadamente, 14,00m do edifício vizinho que possui a mesma altura do edifício objeto da perícia. No entanto, a fachada sul possui o atenuante da presença de árvores de médio e grande porte na sua proximidade o que possibilita o sombreamento desta e diminuição da incidência solar, resultando numa menor variação térmica.

c) Condições de execução do sistema

I - Presença de inúmeras fissuras no reboco, por conta da retração da argamassa, com grande probabilidade de terem sido ocasionadas pela utilização de materiais argilo - minerais na sua composição;

II - Revestimento cerâmico aplicado sobre o reboco sem a devida retirada do revestimento anterior (pintura), sem o devido tratamento da superfície para proporcionar a aderência entre a argamassa colante e a argamassa de revestimento das três fachadas analisadas;

III - Falha executiva no assentamento da cerâmica, reduzindo a área de aderência da argamassa colante. Na avaliação da área interna das placas verifica-se que os “cordões” de argamassa não foram quebrados conforme a boa técnica preconiza;

IV - Ausência de juntas de movimentação no revestimento cerâmico, havendo o descolamento e deslocamento do revestimento em vários trechos das fachadas;

V - Manchas de carbonatação entre os elementos de revestimento cerâmico devido às falhas no rejuntamento, ocasionando infiltração de água das chuvas direcionadas com influência do vento sudeste, com maior incidência na Fachada Leste.

d) Influência Térmica

Os diversos elementos que compõem as construções estão expostos às movimentações térmicas que ocorrem em função das expansões e contrações quando expostas às variações de temperatura (SILVA, 2014). Nas fachadas analisadas a variação térmica proporciona movimentação das placas e com a inexistência das juntas de dilatação, resultando em tensões no revestimento que segundo Duarte (1998), podem provocar fissuras. Na figura 8, é possível identificar variação de temperatura na fachada, demonstrado pelas imagens que há presença de umidade em mais de 50% da área da fachada. Confirma-se que esta envoltória apresenta um alto índice de penetração de água de chuva e sua retenção, que associados aos outros fatores provocaram a degradação e perda de vida útil da fachada.



Figura 7 - Fachada Norte



Figura 8 - Fachada Norte – Imagem termográfica

4.2. Estudo de caso edificação – Situação 2

Na Figura 9 está exposta a localização do Edifício 2, situado no Conjunto Recanto das Ilhas na cidade de Salvador - BA.



Fonte: Google Earth, 2019

Figura 9 - Orientação das Fachadas

Trata-se de uma edificação com características semelhantes ao estudo do Edifício analisado anteriormente. Estes imóveis fazem parte do Condomínio Conjunto Recanto das Ilhas, em região predominantemente residencial de padrão construtivo popular, próximo à Avenida São Rafael. Estão distantes um do outro, pelo menos, setenta metros.

4.2.1. Levantamento de ocorrência de manifestações patológicas

As fachadas analisadas, caracterizadas como sendo leste, norte e sul, apresentam as seguintes manifestações patológicas:

- a. Aplicação de Argamassa Colante sobre Pintura; (Figura 10)
- b. Fissuras; (Figura 11)
- c. Deslocamento do revestimento cerâmico aplicado; (Figura 12)



Figura 10 - Argamassa Colante Sobre Pintura



Figura 11 - Fissuras



Figura 12 - Deslocamento Cerâmico

4.3. Condições de vizinhança

A Fachada Sudoeste recebe sombreamento do prédio vizinho, bem como de árvores existentes no local, sendo, portanto, a fachada mais úmida, pois junto com a fachada nordeste são as que recebem maior incidência das chuvas.

Neste caso, a fachada tem grande propensão de retenção de água, advinda dos fatores: penetração de água de chuva, retenção de umidade por conta da natureza dos materiais porosos e principalmente ausência de barreiras contra a introdução da água, como pingadeiras, frisos, molduras, aplicação adequada dos peitoris e esquadrias (SILVA, 2014, p.59)

4.4. Condições de execução do sistema

- a. Presença de inúmeras fissuras no reboco, por conta da retração da argamassa, provavelmente ocasionadas pela utilização de materiais argilo-minerais na sua composição;
- b. Revestimento cerâmico aplicado sobre o reboco, sem a devida retirada do revestimento anterior (pintura), tendo sido este apenas apicoado precariamente, não havendo, portanto, aderência entre a argamassa colante e a argamassa de revestimento onde foi aplicada a cerâmica;
- c. Falha executiva no assentamento na fixação de grades de proteção e aparelhos de ar condicionado, facilitando infiltrações (Figura 13).



Figura 13. Grades e Ar Condicionado nas Fachadas

4.5. Influência Térmica

A Fachada noroeste é a que mais recebe a incidência dos raios solares e, portanto, encontra-se com a sua pintura desgastada e mais esmaecida que as demais.

4.6. Avaliação dos edifícios quanto a altitude, ventos, agressividade e distância das bordas marítimas na cidade de Salvador

Ambos os prédios analisados pertencem a um mesmo microambiente climático, portanto os índices apurados são aplicáveis aos dois estudos de caso.

Nos mapas apresentados a seguir teremos as comprovações sobre as características das condições de exposição referentes ao edifício 2.

3.6.1. Altitude



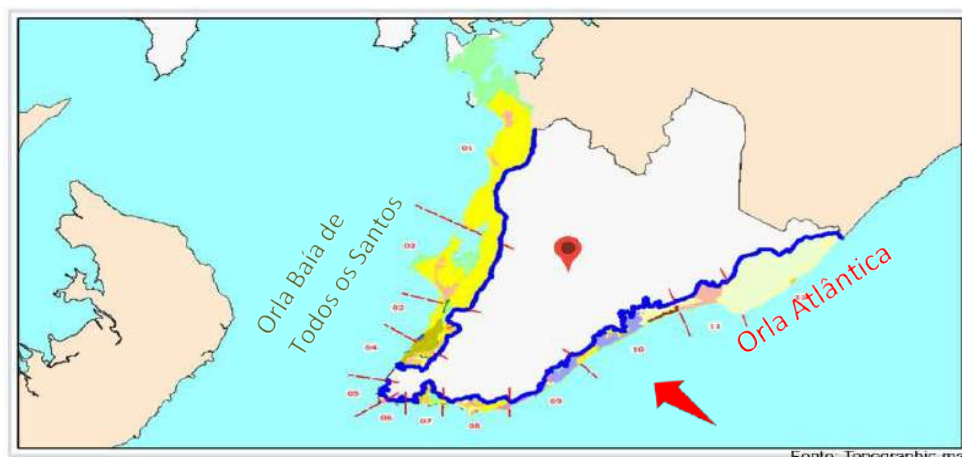
Fonte: Topographic-map, 2018

Figura 14 - Mapa topografico de Salvador

Com base no Mapa Topográfico de Salvador, verifica-se que o edifício em estudo se encontra numa região com altitude aproximada entre 63 m e 65 m. À Oeste, entre a Orla da Baía de Todos os Santos e o edifício, tem-se uma topografia com níveis mais elevados, chegando a uma altitude

aproximada de 109m, o que cria uma espécie de barreira física para os ventos advindos dessa Orla. No entanto, verifica-se que os ventos chegam predominantemente pelo outro lado, pela Orla Atlântica.

4.6.2 Incidência de Ventos

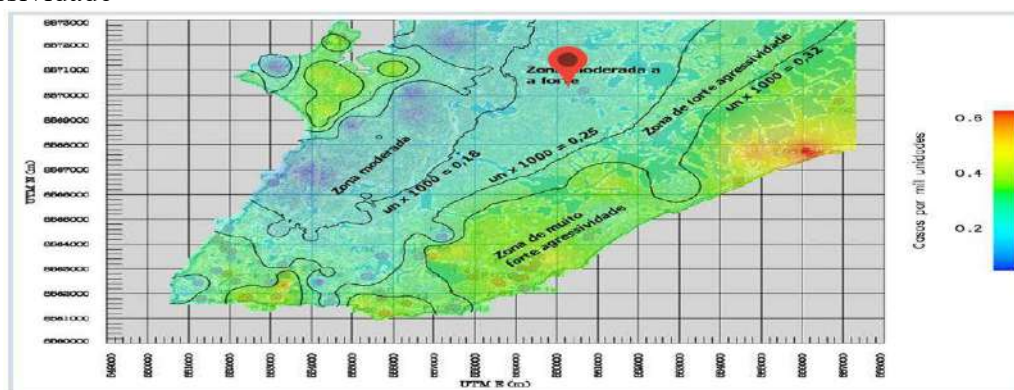


Fonte: Topographic-map, 2018

Figura 15 - Mapa de Incidência de Ventos de Salvador

Com base no Mapa de Incidência dos Ventos de Salvador, verifica-se que os ventos predominantes advindos da Orla Atlântica são os Ventos Sudestes.

4.6.3 – Agressividade



Fonte: Topographic-map, 2018.

Figura 16 - Mapa de Agressividade de Salvador

Segundo o Mapa de Agressividade, verifica-se que os edifícios estão localizados na Zona Moderada a Forte.

4.6.4 - Distância das bordas marítimas de Salvador



Fonte: Topographic-map, 2018

Figura 17 – Mapa das Bordas Marítimas de Salvador

Ambas localizadas no Bairro São Marcos – Salvador/BA, essas edificações encontram-se à aproximadamente 5,0 km de distância da Orla Atlântica e à aproximadamente 5,7 km de distância da Orla da Baía de Todos os Santos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As edificações apresentaram anomalias advindas de agentes de degradação em função da natureza e em função da procedência (SILVA, 2014). Podemos classificar os edifícios em estudo da seguinte maneira:

Tabela 1. Descrição dos agentes de degradação presentes nas edificações estudadas

Edificação	Agente de degradação por natureza	Agente de degradação por procedência
Edifício 1	Agentes mecânicos: esforços e deformações	Provenientes da atmosfera: umidade, temperatura, radiação solar, água no estado líquido
Edifício 2	Agentes térmicos: variações térmicas Agentes eletromagnéticos: radiação	

Diante da identificação dos agentes de degradação, foi possível detalhar as ocorrências das manifestações patológicas de cada edifício, bem como suas causas e efeitos.

Tabela 2. Análise de ocorrências das manifestações patológicas nos edifícios em estudo.

Edificação	Manifestações	Causas	Terapeutica
Edifício 1 e 2	Desplacamento cerâmico	<ul style="list-style-type: none"> • Variações térmicas • Umidade excessiva e retenção de água • Aplicação inadequada das placas cerâmicas (preparação do substrato e falta de aderência da argamassa) • Ausência de juntas de dilatação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração de um projeto de fachadas considerando as condições de exposição das torres; • Retirada de todo material constituinte da fachada e tratamento das fissuras; • Análise da qualidade do revestimento em argamassa. Tem grande possibilidade do revestimento conter materiais argilo minerais, desta forma é necessário realizar a recomposição do revestimento da fachada; • Execução dos panos de fachadas por etapas e com as devidas juntas de dilatação. • Nas áreas onde foram detectadas maior incidência de umidade, realizar tratamento impermeabilizante.
	Manchas de carbonatação	Presença de umidade	
	Fissuras no revestimento	Fissuras devido a movimentações higrótérmicas	

É importante ressaltar que estas fachadas também foram afetadas pela introdução de equipamentos de segurança, como grades metálicas de proteção e a instalação de equipamentos de ar condicionado de maneira desordenada e sem os devidos cuidados.

Cabe ressaltar ainda, a evidência de falhas no projeto da fachada devido a inexistência de barreiras de proteção à passagem ou retenção de água, como por exemplo pingadeiras, frisos, molduras, aplicação adequada dos peitoris e esquadrias. Podemos destacar ainda a inexistência de juntas de dilatação.

6. CONCLUSÕES

O sistema de vedações verticais externas ou fachada tem como principal função imprimir uma barreira para intempéries e demais fatores sobre a habitabilidade (acústica, térmica, iluminação, umidade) em relação a seu uso. De forma geral, ela deve ser projetada e executada de forma a garantir que sua vida útil seja preservada por no mínimo 40 anos.

Em casos como os estudados, onde a fachada é constituída por revestimento cerâmico, além da proteção tem ainda como objetivo valorizar o imóvel através da estética.

A partir do estudo de caso realizado, é notória a importância da realização de um projeto de fachada dos empreendimentos, considerando as condições de exposição da implantação do edifício. Foram observadas as manifestações patológicas de: deslocamento cerâmico, infiltrações e umidade na fachada, bem como carbonatação e deslocamento de revestimento. Advindas destas anomalias temos como principais causas inexistência do projeto de fachada, por consequência falta de barreiras contra umidade, juntas de dilatação e impermeabilização, ausência de controle tecnológico do revestimento do substrato, aplicação inadequada do revestimento cerâmico, considerando o fato de que o local de implantação da fachada apresenta alta variação térmica, grande incidência de chuvas nas vedações e concentração de umidade nas paredes.

Sendo assim, este trabalho mostrou que para garantir a qualidade e durabilidade de fachadas aderidas é importante que sua execução siga um projeto baseado nas condições de exposição do local, que deve considerar as especificações corretas de materiais e execução adequada seguindo as normas técnicas apropriadas.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). NBR 14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR 13755: *Revestimentos de paredes externas e fachadas em com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento*. Rio de Janeiro.

CINCOTTO, M.A.(1989). “*Patologias das argamassas de revestimento: análise e recomendações*”. In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Pini. p. 549-554.

DUARTE, R. B. (1998). *Fissuras em Alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação*. Publicação CIENTEC – Boletim Técnico 25. Fundação de Ciência e Tecnologia, Porto Alegre: RS , Brasil.

FAGUNDES NETO, J. C. P. (2008). *Pericias de Fachadas em Edificações – Pintura*. Editora LEUD, São Paulo: SP, Brasil, p. 216

GALLETO, A.; ANDRELLO, J. M. (2013). *Patologia em Fachadas com Revestimento Cerâmicos*. In: IX Congresso Internacional sobre Patologia y Recuperacion de Estructuras - Cinpar. João Pessoa, Paraíba, Brasil.

SILVA, A.; BRITO, J. de; GASPAR, P. L. (2011). *Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the substrate)*. Construction and Building Materials. Elsevier. 25 (9): 3674-3684. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.064>.

SILVA, M.N.B. (2014). *Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada: aplicação ao caso de Brasília/DF*. Tese. Universidade de Brasília. Brasília: DF (BRASIL) p. 297.

UEMOTO, K.L. (1988). *A pintura na manutenção de edificios*. in: Tecnologia das edificações, Editora Pini, São Paulo: SP, Brasil. p.615-618.

UEMOTO, K.L. (1998). *Problemas de pintura na construção civil*. in: Tecnologia das edificações, Editora Pini, São Paulo: SP, Brasil, p.589- 592.

UEMOTO, K.L; AGOPYAN, V. (1997). *Durabilidade de revestimentos à base de polímeros*. in Workshop – Durabilidade nas Construções - UNISINOS. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil. p. 55-63.

VERÇOZA, E. J. (1991). *Patologia das Edificações*. **Editora** Sagra, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

A importância da correta dosagem de aditivo controlador de hidratação: Estudo de caso de manifestações patológicas em uma bacia de contenção

C. A. M. H. da Luz^{1*}, F. M. Pereira²

*Autor de contato: claudiaaiala@rede.ulbra.com.br

¹ Curso de Engenharia Civil, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, Brasil

² Curso de Engenharia Civil, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, Brasil

RESUMO

Os aditivos estão sendo cada vez mais utilizados na indústria da construção, porém deve-se ter cautela no seu emprego, visto que o uso incorreto pode acarretar manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado. O presente trabalho tem como objetivo investigar a ocorrência de manchas no concreto e o atraso para atingir a resistência esperada em uma peça de concreto armado. É apresentado um estudo de caso, onde foram analisadas manifestações patológicas de uma parede de concreto, em bacia de contenção de obra no município de Rio Grande, no Rio Grande do Sul, apontando suas possíveis causas e considerações de ações que teriam evitado tais manifestações patológicas. Os resultados obtidos através do estudo de caso indicaram como possíveis causas a dosagem excessiva de aditivo controlador de hidratação, uma mistura ineficiente do concreto, aliado à execução de uma cura não adequada. Considerou-se que há a necessidade de um acompanhamento técnico durante a concretagem e um controle mais rigoroso no processo de dosagem de aditivos, visto que estes influenciam na resistência à compressão e propriedades do concreto, bem como na estética da peça, podendo alterar sua aparência.

Palavras-chave: Concreto; aditivo controlador de hidratação; manchamento; retardo de pega; resistência à compressão.

Citar como: Luz, C. A. M. H. da, Pereira, F. M. (2021), “A importância da correta dosagem de aditivo controlador de hidratação: Estudo de caso de uma bacia de contenção”, CONPAT 2021.

¹ Graduanda em engenharia civil, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, Brasil.

² Curso de Engenharia Civil, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, Brasil.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho o autor C. A. M. H. da Luz foi responsável pela execução do trabalho sob orientação da professora F. M. Pereira.

The Importance of Correct Dosage of Hydration Control Additive: Case Study of Pathological Manifestations in a Containment Area

ABSTRACT

Admixtures are being used more and more in the building industry, but caution should be exercised in their use, since incorrect use can lead to pathological manifestations in reinforced concrete structures. This work aims to investigate the occurrence of stains in concrete and the delay to reach the expected strength in a reinforced concrete structure. A case study is presented, where pathological manifestations of a concrete wall were analyzed in a work containment basin in the city of Rio Grande, in Rio Grande do Sul, pointing out its possible causes and considerations of actions that would have avoided such pathological manifestations. The results obtained through the case study indicated as possible causes the excessive dosage of the hydration controller admixture, an inefficient concrete mixture, together with the execution of an inadequate cure. It was considered that there is a need for technical monitoring during concreting and a more rigorous control in the additive dosing process, as they influence the compressive strength and properties of the concrete, as well as the aesthetics of the piece, and may change its appearance.

Keywords: Concrete; hydration controller admixture; staining; setting time delay; compressive strength.

La importancia de la dosificación correcta del aditivo controlador de hidratación: estudio de caso de manifestaciones patológicas en un área de contención

RESUMEN

Los aditivos se utilizan cada vez más en la industria de la construcción, pero se debe tener precaución en su uso, ya que un uso incorrecto puede provocar manifestaciones patológicas en las estructuras de hormigón armado. El presente trabajo tiene como objetivo investigar la aparición de manchas en el hormigón y el retraso para alcanzar la resistencia esperada en una pieza de hormigón armado. Se presenta un estudio de caso, donde se analizaron manifestaciones patológicas de un muro de hormigón en una cuenca de contención de obra en el municipio de Rio Grande, en Rio Grande do Sul, señalando sus posibles causas y consideraciones de acciones que habrían evitado tales manifestaciones patológicas. Los resultados obtenidos a través del caso de estudio señalan como posible la dosificación excesiva del aditivo controlador de hidratación, una mezcla de concreto ineficiente, junto con la ejecución de un curado inadecuado. Se consideró que existe la necesidad de un seguimiento técnico durante el hormigonado y un control más riguroso en el proceso de dosificación de los aditivos, ya que influyen en la resistencia a la compresión y las propiedades del hormigón, así como en la estética de la pieza, pudiendo cambiar su aspecto.

Palabras llave: Concreto; aditivo controlador de hidratación; retardo del tiempo de fraguado; resistencia a la compresión.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil adere ao uso de aditivos para melhorar o desempenho e a qualidade dos concretos, além de um aumento na economia. Conforme Neville (2016), o emprego de aditivos proporciona o uso de concreto em situações não favoráveis, onde seria difícil ou até impossível viabilizar a utilização de concreto sem aditivos. Os aditivos têm o objetivo de modificar as propriedades do concreto, a fim de controlar a hidratação, melhorar a trabalhabilidade, retardar a pega, acelerar a pega, incorporar ar, impermeabilização, entre outros.

O aditivo controlador de hidratação atua diretamente nas reações de hidratação do cimento, controlando assim o processo de início de cristalização e, em decorrência, acaba possibilitando controlar a pega do cimento. É utilizado em casos em que o concreto será transportado da central dosadora, locais em que é necessário percorrer longas distâncias, evitando assim a perda do concreto por vencimento, ou também em casos de temperatura ambiente elevada ou reaproveitamento do concreto em centrais dosadoras. Os aditivos são excelentes aliados quando utilizados em dosagens corretas e para seu fim específico, porém se utilizados de forma incorreta, com dosagens em excesso ou em quantidades menores do que deveriam, não proporcionam o resultado esperado, podendo causar problemas no concreto ainda fresco ou após a desforma. O correto emprego dos aditivos prevê o uso de dosadores calibrados e a execução/aplicação feita por pessoal capacitado, a fim de evitar possíveis superdosagens ou dosagens insuficientes.

Em meados do ano de 2017 foi construída uma bacia de contenção na sede de uma empresa de fertilizantes localizada na cidade de Rio Grande, no Rio Grande do Sul. De acordo com a NBR 17505 (2013), uma bacia de contenção “é uma área constituída por uma depressão, pela topografia do terreno ou, ainda, limitada por diques, destinada a conter eventuais vazamentos de produtos.” Deve ser dimensionada de acordo com o volume do produto ou dos produtos armazenados em tanques, e funciona como uma barreira, evitando que o líquido contamine o meio ambiente, ou até mesmo a contaminação de colaboradores que trabalhem no local. Segundo a mesma norma, “todos os tanques que armazenem líquidos devem ser dotados de meios que impeçam que a ocorrência acidental de derramamento de líquidos venha a colocar em risco instalações importantes ou propriedades adjacentes, ou alcancem cursos d’água.” A construção da bacia de contenção é de extrema importância, não somente do ponto de vista ambiental, mas também econômico. Trabalhar prevenindo uma contaminação é economicamente mais viável do que acabar tendo-se um passivo que pode ocorrer em notificação de órgão ambiental e, conseqüentemente, multa ou bloqueio de operações até a solução do problema.

A construção desta bacia de contenção contou com aproximadamente 30 colaboradores, entre pedreiros, carpinteiros e armadores, um engenheiro residente e um técnico em segurança. Durante a obra da bacia de contenção foi consumido aproximadamente 1.700m³ de concreto usinado, em uma área superior à 2.000m². A obra se deu em etapas, em cada etapa eram montadas armaduras, formas e em seguida a concretagem das paredes da bacia de contenção. Logo após a desforma de uma parede já era montada a parede seguinte. De todos os caminhões de concreto foram moldados corpos de prova, a fim de se manter uma rastreabilidade e controle do concreto, bem como o controle de qualidade em cada etapa de concretagem.

Em uma das paredes da bacia de contenção foram encontradas manifestações patológicas logo após a desforma do concreto.

Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo investigar e apontar as possíveis causas das manifestações patológicas observadas em paredes da bacia de contenção, através de um estudo de caso, com uso de imagens e resultados de ensaios apresentados em relatórios técnicos. Pretende-se, ainda, apresentar possíveis medidas e procedimentos que evitariam a ocorrência de tais manifestações patológicas.

2. ADITIVO CONTROLADOR DE HIDRATAÇÃO

Como próprio nome se refere o aditivo controlador de hidratação (CH) tem como função principal controlar a hidratação do cimento Portland. Também é conhecido comercialmente como inibidor ou estabilizador de hidratação. Os aditivos controladores de hidratação podem ser considerados também um tipo de retardador de pega, pois acabam influenciando o tempo de início de pega quando se tem o seu uso no concreto.

Os aditivos retardadores têm ação diferente dos controladores de hidratação. De acordo com Neville (2016) há a possibilidade de que alterem o crescimento ou a morfologia dos cristais sendo absorvidos por uma película de cimento hidratado que foi formada muito rápido. Logo eles retardam o crescimento dos núcleos de hidróxido de cálcio, tornando-se uma barreira evitando assim a continuação da hidratação. Estudos calorimétricos realizados por Paolini e Khurana (1998) evidenciaram que os retardadores de pega convencionais exercem uma influência maior sobre as fases silicato do que sobre a hidratação do C_3A . Portanto estes compostos afetam mais o desenvolvimento da resistência inicial, do que a alteração da reologia inicial do concreto fresco.

Em contrapartida, o aditivo controlador de hidratação é capaz de baixar a concentração de sulfato de cálcio na solução e retardar a reação de todos os minerais do clínquer. O controlador de hidratação é um agente tensoativo de superfície designado para inibir a nucleação na superfície de hidratos ricos em íons de cálcio. Desta forma, o mecanismo de ação fundamenta-se na inibição da nucleação do C-S-H (silicato hidratado de cálcio) e CH (hidróxido de cálcio). Quando o aditivo controlador de hidratação é adicionado, durante ou após o período de indução, diminui a nucleação e crescimento do C-S-H e CH. Quando os núcleos já estão formados, o controlador, além de retardar o crescimento dos hidratos, altera a morfologia externa dos hidratos subsequentemente formados. Os controladores de hidratação são capazes de interromper a formação dos hidratos de CSH primário e desacelerar o C_3A , o que indica que em cimento Portland esse tipo de aditivo evita o rápido crescimento de CSH primário, a partir do C_3S , e diminui a precipitação dos hidratos do C_3A (PAOLINE e KHURANA, 1998).

A American Society for Testing and Materials indica que concretos preparados na temperatura de $10^{\circ}C$ possuem início de pega três horas mais demorado e final de pega nove horas superior que os mesmos concretos se preparados a $23^{\circ}C$, logo a temperatura também influencia na interação do aditivo controlador de hidratação com o cimento (ASTM C 403, 1992).

Conforme SOUZA (2007), na prática o aditivo controlador de hidratação tem a capacidade de retardar o crescimento de núcleos já formados, causando a possibilidade do material ser estabilizado algumas horas depois de misturado, desde que antes do início de pega. O curso da hidratação é retomado quando um aditivo ativador é inserido à mistura, ou quando o estabilizador for consumido por completo, sendo assim o processo de hidratação recomeça regularmente com o endurecimento.

O uso do aditivo controlador de hidratação possibilita um controle mais previsível do retardo de pega dos concretos, principalmente em dias quentes, sem prejudicar propriedades futuras devido a adição de água para recuperar a perda excessiva de abatimento ou atraso de pega. É amplamente utilizado quando a concretagem a ser realizada está localizada a longas distâncias da central dosadora (BENINI, 2005).

O início da pega do concreto com controlador de hidratação vai depender da dosagem de aditivo, quanto maior for, mais tempo irá levar para se ter o início da pega e conseqüentemente o fim de pega também irá levar mais tempo. Acabado o efeito do aditivo, o concreto tem seu caminho natural de hidratação do cimento.

É importante a dosagem correta do aditivo, para que não se tenha problemas futuros com o concreto. No caso de superdosagem pode impactar em retardo de pega ou em pega diferenciada em pontos diferentes da peça de concreto, caso a mistura tenha sido deficiente. Por isso a cura adequada é tão importante. Se houver superdosagem e a cura ineficiente o concreto pode ter problemas no endurecimento resultando em baixa resistência.

A cura do concreto é um procedimento muito importante para que se tenha um resultado satisfatório de endurecimento da peça de concreto, atendendo os requisitos de resistência exigidos no projeto, e evitando o surgimento de fissuras e trincas na estrutura. De acordo com a NBR 14931 (2004) a cura tem a finalidade de evitar a perda de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada, e assegurar a formação de uma capa superficial durável. Elementos estruturais devem ser curados até que obtenham uma resistência à compressão igual ou maior que 15 MPa.

Com isso, o procedimento de cura quando há o uso de aditivo controlador de hidratação deve ser realizado com cuidado especial, visto que o aditivo retardou o processo de hidratação natural do cimento. É importante este cuidado a fim de que não se tenha uma cura ineficiente ou durante tempo insuficiente.

3. ESTUDO DE CASO

O trabalho proposto trata de um estudo de caso a respeito da ocorrência de manifestações patológicas em uma parede de concreto de uma bacia de contenção.

A investigação foi feita através de inspeção visual, registro fotográfico da manifestação patológica, coleta de dados do concreto usado, coleta de informações diversas, entrevistas com engenheiros responsáveis e mestre de obras, e análise de dados dos ensaios de resistência à compressão e esclerometria.

A figura 1 ilustra as etapas da realização do trabalho.

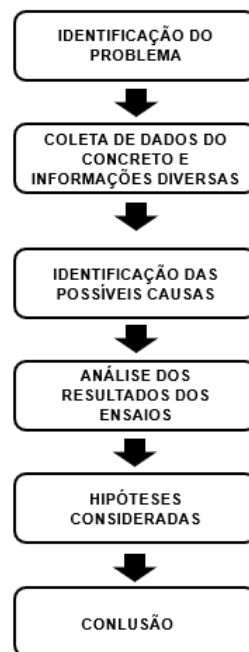


Figura 1. Fluxograma: etapas do trabalho.

3.1 Caracterização da bacia de contenção

A construção da bacia de contenção para área de tancagem da empresa contava com área total de 2.894m², na cidade de Rio Grande, Rio Grande do Sul. Foram utilizados 1.700m³ de concreto durante toda a obra e a resistência à compressão exigida em projeto (fck) era de 40MPa. O concreto foi fornecido por empresa com sede na cidade de Pelotas, distante 56 km de Rio Grande, o que determinou o emprego de aditivo controlador de hidratação à mistura, a fim de garantir que

o percurso fosse feito com segurança em relação ao prazo de vencimento do concreto. A figura 2 apresenta o croqui de todo o perímetro da bacia de contenção.

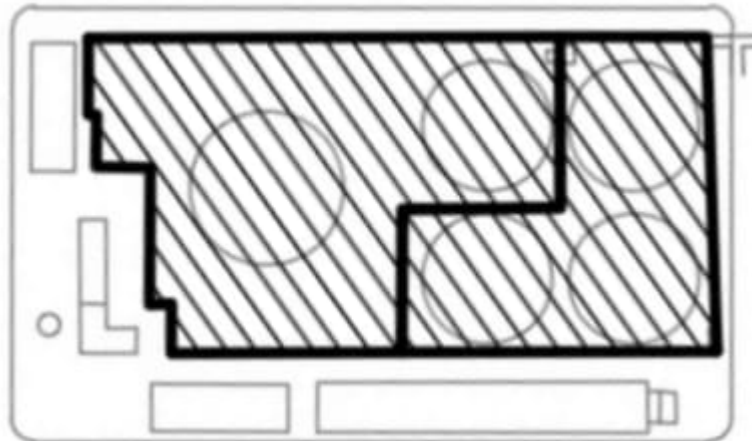


Figura 2. Croqui do perímetro da bacia de contenção.

Em uma das paredes da bacia de contenção foram encontradas manifestações patológicas logo após a desforma do concreto. A localização das manifestações patológicas pode ser vista na figura 3.

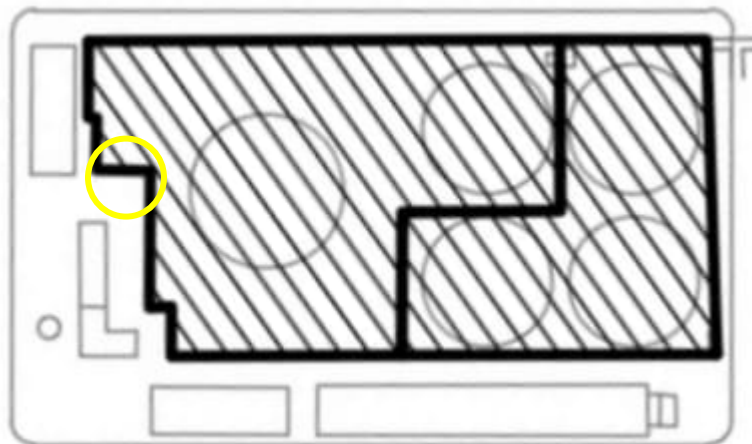


Figura 3. Localização das manifestações patológicas.

3.2 Etapas da construção

No início da construção foi avaliada a instalação de uma central de concreto na obra ou próximo, em função do volume que seria usado, porém, por razões econômicas e por falta de espaço, a ideia de uma central local não evoluiu. Então, em todas as concretagens houve a necessidade do concreto ser transportado de uma cidade à outra, cerca de 56 km distante da obra, visto ter sido feita a opção por concreteira da cidade de Pelotas.

A obra foi executada em etapas, e cada parede tinha uma identificação e medidas específicas, especificadas no projeto, conforme mostra a figura 4.

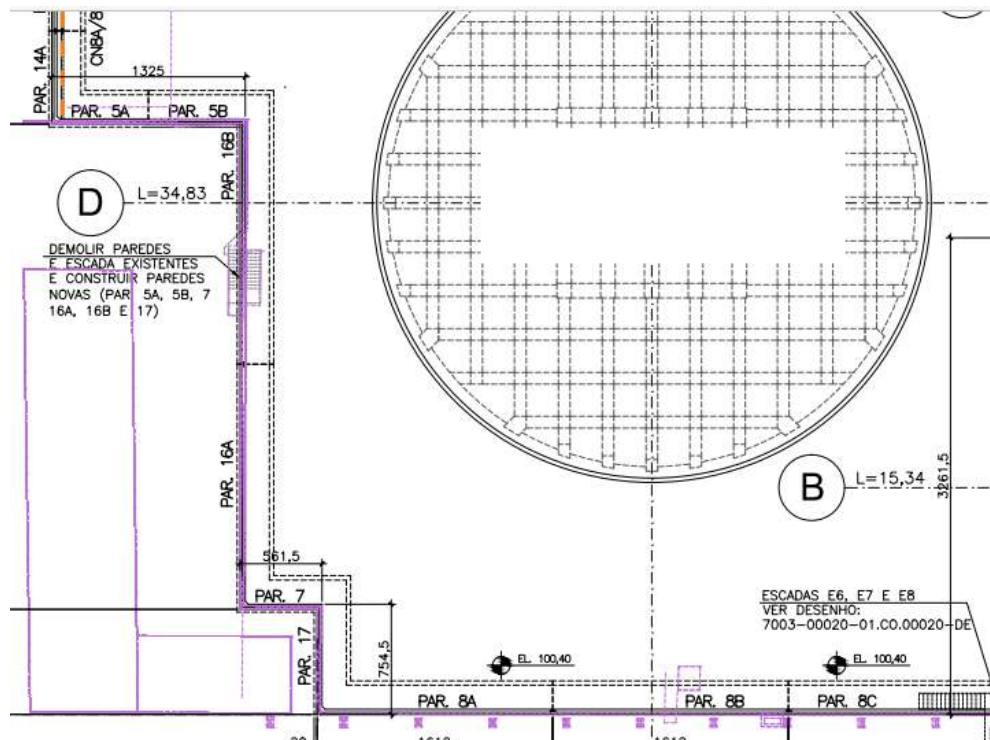


Figura 4. Identificação de paredes da bacia de contenção, próximas ao tanque de ácido.

Primeiramente eram montadas as armaduras, logo após eram montadas as formas, que já vinham em módulos específicos para as medidas das paredes, e então era realizada a concretagem.

No recebimento do aço, era realizado um check-list de verificação, avaliando se não apresentava ferrugem, sujeira e se estava de acordo com o pedido. Logo após a verificação, o aço era armazenado em local próximo à obra e distante do chão, sempre que possível em local coberto. As barras de aço já eram entregues dobradas pelo fornecedor, e no local da obra as peças eram montadas de acordo com a parede a ser executada, conforme estabelecido no projeto.

Logo após a etapa de montagem de armaduras estar concluída, eram então montadas as formas de madeira. As formas eram com painéis de madeira e perfil em aço, sendo que antes da montagem era aplicado desmoldante. Montavam-se as formas e então era realizado um check-list de verificação sob responsabilidade do engenheiro residente. Nesse check list avaliava-se a prumada, a aplicação do desmoldante, os escoramentos e se estavam de acordo com o que o projeto indicava.

Com base no cronograma e no avanço da obra, foram programadas as datas de concretagem.

Como o concreto percorria longa distância até a obra, para evitar o início de pega antes da chegada à obra e descarga, foi utilizado aditivo controlador de hidratação em todas as unidades de produto utilizadas nas concretagens. Quando o concreto chegava à obra, era realizado um check-list de verificação, onde se fazia o ensaio de abatimento do tronco de cone e a moldagem de exemplares para ensaio à compressão nas idades de 7, 28 e 63 dias.

O ensaio de abatimento do concreto, também conhecido como slump test, é parte do controle e recebimento do concreto (ABNT NBR 12655, 2015), através da consistência medida é possível avaliar a trabalhabilidade do concreto e assim verificar se está de acordo com as especificações da solicitação. O ensaio era realizado logo que o concreto chegava à obra, segundo as recomendações da NBR NM 67 (ABNT, 1998), em vigor na época da concretagem. Se o slump estivesse dentro dos parâmetros solicitados pelo projeto, o concreto então era recebido e lançado.

O concreto era lançado muitas vezes com apoio de bomba estacionária, e os colaboradores faziam a vibração do concreto, a fim de não deixar pontos vazios e manter a uniformidade da peça.

Para o controle e aceitação do concreto, de cada caminhão eram moldados seis corpos de prova, segundo a NBR 5738 (ABNT, 2018). Após a desmoldagem os corpos de prova eram submetidos a cura úmida, sendo posteriormente levados para laboratório para o ensaio de resistência à compressão, realizado aos 7, 28 e 63 dias de idade.

A desforma do concreto das paredes da bacia ocorria após quatro dias da concretagem.

3.3 Descrição dos danos observados

Logo após a desforma do concreto, na parede 5A foram encontradas diversas manifestações patológicas. A Figura 5 mostra os principais danos observados.



Figura 5. Parede 5A.

As manifestações patológicas encontradas foram 1) deslocamento superficial do concreto no momento da desforma, indicando que o concreto não teria atingido o fim de pega, conforme mostra a figura 6 (ponto A na figura 5); 2) manchamentos e falha na concretagem (ponto B na figura 5) e 3) fissuras (ponto C na figura 5).

A figura 7 mostra parte do manchamento observado na parede, bem como falha de concretagem.



Figura 6. Deslocamento do concreto.



Figura 7. Manchamento observado na parede e falha de concretagem.

O manchamento observado caracteriza-se pela presença de manchas mais escuras, com aspecto de umidade, conforme mostra a figura 7. As manchas se mantiveram na peça por aproximadamente dois meses, e podem ser um indicativo de pega diferencial no concreto. A imagem apresentada na figura 7 também mostra falha de concretagem, com agregados aparentes, possivelmente decorrente de vibração mal executada, resultando em ninho de concretagem. A figura 8 apresenta as fissuras identificadas na parede 5A, possivelmente decorrente de retração plástica, o que evidencia a diferença do tempo de pega do concreto em pontos distintos da parede.



Figura 8. Concreto apresentando retração.

Durante a obra foi efetuado o controle da resistência do concreto através de amostragem total das concretagens, seguindo-se as recomendações da NBR 12655 (ABNT, 2015). Os corpos de prova moldados foram rompidos com 7 dias, 28 dias e 63 dias.

A Tabela 1 mostra os resultados de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias, referente ao concreto lançado para a concretagem da parede 5A.

Tabela 1. resultados dos rompimentos de corpos de prova aos 7 e 28 dias.

Caminhão	Volume (m³)	Moldagem	Idade	Tensão (MPa)	Idade	Tensão (MPa)
IRN 0312	3	18/01/2018	7	25,01	28	34,35
				25,4		38,06

Fonte: Empresa construtora (2017).

Na maioria das unidades de produto utilizadas na concretagem das paredes da bacia o concreto atingiu a resistência esperada com 28 dias. Porém, para a carga de concreto utilizado para a moldagem da parede 5A, o resultado foi diferente, abaixo do fck de projeto, conforme pode ser constatado na Tabela 1.

Aos 28 dias o concreto ainda não havia atingido a resistência esperada, denotando um atraso para atingir a resistência de projeto.

Com o passar dos dias, após a concretagem da parede 5A, as manchas se mantiveram evidentes. Foi sugerido, então, a realizar uma análise in loco para verificar a qualidade do concreto, visto ser de suma importância que a peça estivesse dentro dos parâmetros exigidos pelo projeto, pois em caso de vazamento de um dos tanques essa bacia deve conter o líquido, a fim de evitar danos ao

meio ambiente. Um ensaio não destrutivo foi então realizado, sobre a superfície manchada, com o intuito de verificar a qualidade do concreto em pontos que continham as manifestações patológicas. O ensaio foi realizado com uso de um aparelho de esclerometria, o esclerômetro, que tem por finalidade medir a dureza superficial, possibilita verificar a uniformidade do concreto em diferentes partes da estrutura. Não sendo possível a extração de testemunho, inicialmente o ensaio de esclerometria foi requisitado com a intenção de investigar a resistência, o que não é adequado. Observa-se que é um ensaio preliminar na avaliação, e deve ser usado como uma primeira análise de qualidade do concreto. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Resultados do ensaio de esclerometria.

Resultados da Esclerometria				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Índice Esclerométrico	39,2	38,4	39,5	39,2

Fonte: Empresa construtora (2017).

A resistência à compressão exigida pelo projeto (f_{ck}), 40MPa aos 28 dias, só foi atingida com 63 dias, conforme indica tabela 3.

Tabela 3. Resultados rompimentos corpos de prova com 63 dias.

Idade	Tensão (Mpa)	Elemento Concretado
63	45,08	Parede 5A
	39,26	

Fonte: Empresa construtora (2017).

4. HIPÓTESES CONSIDERADAS

Fazendo-se uma análise global dos danos apresentados, e considerando-se os resultados dos ensaios realizados pela empresa, é possível considerar que provavelmente houve uma superdosagem de aditivo controlador de hidratação, o que determinou a ocorrência de retardo de pega, determinando tempos de pega diferentes no concreto e conseqüente manchamento.

De acordo com estudos realizados por Antoniazzi et al. (2020), para pastas aditivadas com aditivo estabilizador de hidratação, o tempo de início de pega foi superior a 48h. Quando utilizado em teores moderados, elevou a resistência à tração, já quando usado em altos teores, diminuiu tanto a resistência à tração quanto à compressão, indicando possível retardo na formação dos compostos hidratados.

Dias et al. (2010) verificaram que concretos com dosagem normal de aditivo retardador de pega registraram maior resistência à compressão com 28 dias, no entanto há um significativo atraso no ganho de resistência em concretos que foram dosados com seis vezes a dosagem normal. O concreto com a dosagem seis vezes mais do que a dosagem normal, atingiu uma resistência similar a do concreto com dosagem normal, porém só com 119 dias. Mesmo atingido a resistência de forma tardia, não deve ser uma abertura para que produtores de concreto negligenciem o controle de qualidade.

Visto que os danos observados foram em uma carga fornecida com volume de 3m³, e a grande maioria das demais cargas eram com volume de 8 ou 10m³, uma hipótese a ser considerada é que

a quantidade do aditivo tenha sido dosada para uma quantidade maior de concreto, sem considerar o menor volume do carregamento, de apenas 3m³.

A diferença de coloração observada no concreto evidencia uma pega diferenciada em vários pontos da parede concretada, podendo ter sido causada por um concreto que não foi corretamente misturado, apresentando apenas em alguns pontos as machas decorrentes de tempo de pega diferenciado.

Casali et al. (2020) observou após ensaios com argamassas aditivadas com estabilizador de hidratação que essas argamassas retêm mais água, sendo essa retenção influenciada pelo uso do aditivo estabilizador de hidratação.

O concreto, aparentemente, estava ainda em processo de “enrijecimento” quando desformado. A desforma ocorria sempre quatro dias após a concretagem, o que pode ter causado o deslocamento observado na superfície.

As fissuras representam um fenômeno de retração, possivelmente causado pelo retardo de pega decorrente de um excesso de aditivo, visto que o concreto permaneceu por mais tempo “fresco”, perdendo água para o ambiente. Já a falha de concretagem observada revela um concreto que não foi vibrado o suficiente, o que determinou o surgimento de tal manifestação patológica.

5. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância do controle de processos na obra se torna cada dia mais importante, controlar todas as etapas desde a produção do concreto até a aplicação na obra. O controle tecnológico do concreto é de suma importância, para que se tenha rastreabilidade caso venha a surgir algum problema ou até mesmo para evidenciar que as exigências de projeto foram atendidas.

Como observado, o aditivo pode ajudar muito nas concretagens se dosado corretamente, porém em caso de superdosagem torna-se prejudicial, retardando excessivamente a pega do concreto, ou até mesmo promovendo sua inutilização, ocasionando atrasos à obra e prejuízos econômicos.

Nesse estudo de caso possivelmente a causa das manifestações patológicas foram a superdosagem do aditivo controlador de hidratação que acarretou um retardo de pega excessivo, determinando deslocamento do concreto na desmoldagem, manchas escurecidas na superfície e fissuras.

O caso estudado reforça a importância da utilização de equipamentos adequados, com equipe treinada para essa atividade, não dispensando de forma alguma a etapa de cura do concreto.

No presente caso, se o aditivo tivesse sido dosado corretamente, ele faria a sua atuação como deve ser, controlando a hidratação em função da distância que o concreto percorreu, a fim de não entrar em pega antes do lançamento. Igualmente, evitaria a ocorrência de manifestações patológicas como as observadas na parede: manchas, diferença de coloração, retração e deslocamento do concreto.

Sempre que se fizer necessário o uso de aditivos controladores de hidratação é recomendado que se faça uma cura úmida adequada e com tempo prolongado. É importante o concreto ser vibrado suficientemente, para que não se tenha ninhos de concretagem. E que o controle tecnológico do concreto seja realizado corretamente, com uma rastreabilidade eficiente e os corpos de prova enviados para laboratórios qualificados.

Sempre que houver problemas onde se tenha dúvida da resistência do concreto é importante fazer a extração de testemunhos. O uso de métodos não destrutivos sempre é válido para identificar possíveis diferenças de homogeneidades, porém somente com a extração de testemunhos possibilitará a verificação da resistência atingida pelo concreto. Nesse caso foi utilizado o ensaio de esclerometria. Conforme Neville e Brooks (2013), o ensaio com esclerômetro é válido como

uma medida de uniformidade e qualidade relativa do concreto em uma estrutura ou da produção de elementos similares pré-moldados, mas não como um critério de aceitação.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR 17505: *Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). NBR NM 67: *Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). NBR 5738: *Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-Prova*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). NBR 12655: *Concreto – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). NBR 14931: *Concreto – Procedimento execução de estruturas em concreto*. Rio de Janeiro.
- ASTM International (1992) ASTM C 403: *Standart Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*. Philadelphia.
- Antoniazzi, J. P. et al. (2020) Ação dos aditivos estabilizador de hidratação e incorporador de ar em pastas de cimento Portland. *Ambiente Construído*, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 249–262. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300427>
- Benini, H. (2005), “*Reaproveitamento de concreto fresco dosado em central com o uso de AEH*”. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Casali, J. M. et al. (2020), Propriedades mecânicas das argamassas estabilizadas: evolução com a idade e o grau de hidratação. *Ambiente Construído*, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 263–283. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300428>
- Neville, A.M.; Brooks, J.J. (2013), “*Tecnologia no concreto*”. 2 ed. Porto Alegre, Brasil.
- Neville, A. M., Brooks, J.J. (2016), “*Propriedades do concreto*”. 5.ed. Porto Alegre, Brasil.
- Paolini, M. & Khurana, R., (1998) Admixtures for Recycling of Waste Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 20, p. 221-229, 1998.
- Souza, A. F. de et. al. (2007), “*Otimização do uso de aditivo estabilizador de hidratação do cimento em água de lavagem dos caminhões-betoneira para produção de concreto*”. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

Avaliação de manifestações patológicas da ponte sobre o Rio da Dona no Recôncavo da Bahia.

A. Santos^{1*}, L. Farias², L. De Sousa^{3*}

*Autor de Contato: lucarb08@gmail.com

^{1,3} Faculdade de Engenharia civil, Faculdade de Ciências e Empreendedorismo, FACEMP, Santo Antônio de Jesus - Brasil

² Doutoranda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Brasil

RESUMO

As manifestações patológicas em pontes de concreto armado podem causar prejuízos econômicos e interferir na segurança da locomoção de pessoas e cargas. Para isso, é fundamental que sejam feitas constantes vistorias para diagnosticar as patologias e solucioná-las de forma eficaz. O objetivo deste trabalho é analisar, a partir de inspeção visual, as manifestações de problemas presentes na Ponte sobre o Rio da Dona, no Recôncavo Baiano, buscar as principais causas e sugestões terapêuticas para os problemas identificados. O estudo conclui que existem manifestações patológicas tais como fissuras, desagregação do concreto, sinais de corrosão, manchas, encontros prejudicados pela vegetação, e que a reparação mais adequada deve ocorrer de forma combinada e rápida para que os componentes não continuem deteriorando.

Palavras-chave: Manifestações patológicas; Estruturas; Concreto Armado; Inspeção; Pontes.

ABSTRACT

The pathological manifestations in reinforced concrete bridges can cause economic losses and interfere in the safety of people and cargo transportation. Therefore, it is essential that constant inspections are made to diagnose the pathologies and solve them effectively. The objective of this work is to analyze, from a visual inspection, the manifestations of problems present in the Bridge over the Dona River, in Recôncavo Baiano, to seek the main causes and therapeutic suggestions for the problems identified. The study concludes that there are pathological manifestations such as cracks, concrete disintegration, signs of corrosion, staining, encounters damaged by vegetation, and that the most appropriate repair should occur in a combined and rapid manner so that the components do not continue deteriorating.

Keywords: Pathological Manifestations; Structures; Reinforced Concrete; Inspection; Bridges.

RESUMEN

Las manifestaciones patológicas en los puentes de hormigón armado pueden causar pérdidas económicas e interferir en la seguridad del transporte de personas y mercancías. Para ello, es fundamental que se realicen visitas constantes para diagnosticar las patologías y solucionarlas de forma eficaz. El objetivo de este trabajo es analizar, a partir de la inspección visual, las manifestaciones de los problemas presentes en el Puente sobre el Río Dona, en Recôncavo Baiano, para buscar las principales causas y sugerencias terapéuticas para los problemas identificados. El estudio concluye que existen manifestaciones patológicas como grietas, desintegración del hormigón, signos de corrosión, manchas, encuentros dañados por la vegetación, y que la reparación más adecuada debe producirse de forma combinada y rápida para que los elementos no sigan deteriorándose.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas; Estructuras; Hormigón armado; Inspección; Puentes.

1. INTRODUÇÃO

A malha rodoviária do Brasil se estende por 1.563,6 mil quilômetros, segundo dados do Ministério da Infraestrutura (2020), na qual existem, aproximadamente, 137.000 pontes. As pontes são também conhecidas como Obra de Arte Especiais (OAEs) e para que mantenham suas qualidades técnicas exigíveis durante todo período de vida útil são necessárias vistorias regulares e reparos técnicos periódicos.

O elevado número elevado de pontes dificulta as realizações das atividades de vistorias e manutenções que devem ocorrer regularmente durante o uso dessas estruturas. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) é o órgão responsável pela malha rodoviária federal e, portanto, por OAEs sob sua jurisdição (López, 2020). A dificuldade em estabelecer políticas e estratégias para a conservação dessas estruturas de complexa concepção e elevada importância torna-se um problema cuja solução pode estar em aumentar o monitoramento, com inspeções rotineiras e manutenções preventivas (Lencioni, 2005).

As pontes têm um tempo de vida útil que, para Bristot (2012), é o tempo a estrutura deve operar de maneira satisfatória, obedecendo às especificações de segurança do projeto. De acordo com Gomide (2012), Vitória (2006 a,b) e Pintan (2013) para manter e recuperar as capacidades estrutural, estética e funcionais de uma estrutura e seus sistemas constituintes, atendendo às necessidades e segurança da população, é necessário que haja manutenções constantes na estrutura. Caso não sejam feitas manutenções, podem surgir patologias nas estruturas como: corrosão das armaduras e desagregações de concreto podendo até se tornar inviável a sua reparação (SOUZA, 1998). Dentre os problemas, um dos mais graves e recorrentes é a corrosão das armaduras, de acordo com Helene (1986), é dita como a interação do aço com o ambiente, onde ocorre por reação química ou eletroquímica.

A chuva, compostos atmosféricos, radiação solar, temperatura, umidade relativa, vento, e poluição atmosférica, degradam os materiais de forma relevante e devem ser considerados no desde o projeto até a manutenção (Lencioni, 2005). Ainda segundo este autor, fissuras que não afetem a capacidade estrutural em ambientes agressivos são mais danosas em que em ambientes rurais, pouco agressivos.

De modo a decidir sobre a necessidade ou não de manutenção imediata são feitas as inspeções visuais que tendem a reconhecer as falhas em seu estágio inicial, enfatizando que caso as correções das patologias não sejam feitas de início, será necessário intervir na parte estrutural, fazendo com que haja aumento nos custos com a ponte. De acordo com a Lei De Sitter (1984) os custos de manutenção progridem geometricamente com o tempo, sendo bem superiores em uma manutenção corretiva (López, 2020).

Neste contexto, este trabalho visa identificar as manifestações patológicas em uma ponte localizada na Bahia, de modo a avaliar as condições de segurança e a necessidade de manutenção da ponte.

2. METODOLOGIA

A análise das manifestações patológicas foi feita da ponte sobre o rio da Dona que está localizada na Rodovia Governador Mário Covas - BR 101, no recôncavo baiano, entre os municípios de Santo Antônio de Jesus e São Miguel das Matas e localização geográfica: 13°03'31"S39°16'49"W, de acordo com o Google Earth. A Figura 1 mostra imagens em mapa e satélite localizando a ponte descrita.



Figura 1. Localização da ponte (a) mapa (b) imagem de satélite.
Fonte: Google Earth (2020).

A rodovia onde a obra de arte especial (OAE) está situada possui importância para a economia do país, com tráfego diário intenso de caminhões de carga de variados tipos de insumos para subsistência da população. A ponte possui 32 m de comprimento e 10 m de largura, feita em concreto armado e apresenta duas vigas principais, três transversinas e quatro pilares de sustentação. Sua pista de rolamento é composta de duas faixas com 3,5m cada, mais os acostamentos e passeios por onde trafegam as pessoas e animais.

Inicialmente foi realizada uma visita à ponte em 20-11-2020, na qual foi feita a inspeção visual ao longo de toda estrutura dos pilares, fundações, vigas, lajes e pavimento, na região dos encontros e passeios. Os dados foram coletados por meio de anotações e fotografias e, posteriormente, analisadas em conformidade com normas vigentes e consulta de literatura.

3. RESULTADOS

3.1. Identificação das manifestações patológicas presentes na ponte

A corrosão foi identificada nos quatro pilares de sustentação da ponte em estado médio para avançado, corroborando para maior fragilidade da construção. A corrosão pode ser definida como um processo químico que ocorre de forma espontânea nas construções em concreto armado devido à sua exposição ao meio ambiente, provocando assim, a deterioração. Este fenômeno pode ser classificado em corrosão eletroquímica, química e eletrolítica.



Figura 2- Corrosão de armaduras a) e b) armadura exposta e com aspecto corroído.

De acordo com a literatura, os principais fatores que provocam a corrosão das armaduras atuam através do meio aquoso, pela carbonatação e pela ação dos cloretos (Helene, 1986; Cascudo, 1997). Em alguns casos, surge da presença de outras manifestações patológicas, mas quase sempre ligadas aos fatores descritos acima. A corrosão mostrada na Figura 2 tem forte ligação com as enchentes em épocas de chuvas e com a infiltração que parte da fundação e posteriormente com o deslocamento do concreto, deixando as ferragens expostas e propiciando às reações químicas e físico-químicas com o meio.

O maior risco associado à corrosão é a perda de estabilidade estrutural. Por motivos de execução e por falta de impermeabilização eficiente, o concreto é exposto e isso acaba expondo também as armaduras. Em função disso, as ferragens entram em processo de oxidação, perde seção e consequentemente perde a sua capacidade de resistência aos esforços solicitantes.

O problema de desagregação ocorre com a perda da função ligante do cimento, ocasionando deslocamento ou lascamento de parte da camada de cobertura do concreto que é facilmente identificável, pois deixa a armadura exposta. Deve-se detectar o problema antes dessa fase. Neste processo há a expansão do aço a partir da corrosão e, consequentemente, isso acarreta a ruptura do concreto por tração. Todos os pilares de sustentação da estrutura possuíram esta manifestação patológica, conforme a Figura 3.



Figura 3- Deslocamento do concreto de cobertura da armadura a) e b) detalhes do deslocamento na base do pilar.

As causas são muitas, pode-se destacar a movimentação de fôrmas e também o transporte incorreto do concreto, corrosão ou calcinação, ataques biológicos, carbonatação, perda de aderência e desgaste.

Ocorre também a partir de uma reação provocada pela umidade na região do material, essa reação, de acordo com Aguiar (2006), surge a partir das mudanças nas propriedades, devido à ação de microrganismos levados para o interior do mesmo. O principal risco do deslocamento do concreto, é a perda da capacidade de resistir aos esforços solicitados (Ripper, 1998).

As trincas no pavimento da ponte no sentido transversal ao fluxo de automóveis podem estar associadas à variação térmica. De acordo com Giammusso (1992), as fissuras ou trincas no pavimento são influenciadas pela variação da temperatura, da insolação, do vento e da água. Os efeitos podem variar de acordo com o material da estrutura e da carga imposta.

A sobrecarga em excesso pode causar recalque fazendo com que a trinca ocorra. Na Figura 4, observa-se uma trinca transversal na pista de rolamento na mesma direção da linha final do guarda-corpo e do aparelho de encontro.



Figura 4. Trincas no pavimento asfáltico.

As fissuras ou trincas trazem riscos para a segurança da ponte e torna a estrutura mais suscetível a passagem de água, propiciando surgimento de outras patologias. No caso da trinca do pavimento, pode resultar na infiltração da água de chuva e o contato com elementos da estrutura, aumentando a possibilidade de ocorrência de corrosão de armaduras.

O sistema de drenagem tem a função de escoar às águas pluviais da superfície da ponte e, assim, não permitir que a água infiltre e provoque pontos de infiltração na parte inferior da laje e das vigas da ponte. Ao se evitar o acúmulo de água na pista de rolamento e nos acostamentos, conseqüentemente evita-se o aparecimento de outras manifestações patológicas.

De acordo com Laner (2001) as falhas no sistema de drenagem são fatores que influenciam na degradação do concreto armado. Nesse caso, é fundamental evitar que a água fique acumulada em pontos críticos como, por exemplo, encontros de apoio de vigas, encontros com tabuleiros, na pista de rolamento e nos aparelhos de apoio.

Na Figura 5 é percebido que no sentido longitudinal da ponte, há uma grande quantidade de água acumulada entre o pavimento e o passeio.



Figura 5. Água acumulada no acostamento.

As manchas são formadas em superfícies de materiais como concreto ou argamassa por serem materiais porosos e com certa rugosidade, são capazes de absorver água com sujeira. Na superestrutura da ponte são encontradas várias manchas provocadas por sujeira e umidade, conforme Figura 6.



Figura 6. Manchas a) vista lateral, das vigas principais e lajes, b) vista inferior da laje (mancha esbranquiçada) e vigas transversais (mancha escura).



Figura 7. Manchas avermelhadas causadas por corrosão de armaduras.

A falha na execução dos guarda-corpos permite que o processo de degradação de seu material seja mais rápido impossibilitando de oferecer segurança aos transeuntes. A causa principal desse tipo de patologia está relacionada com as colisões de veículos. Atrélado a isso, o material já degradado fica exposto às intempéries do tempo, o que acelera ainda mais o processo de degradação.

Na ponte estudada percebe-se falhas desses elementos do lado esquerdo da estrutura, representada na Figura 8, sentido Santo Antônio de Jesus, Bahia.



Figura 8. Falha no guarda-corpo.

De acordo com o Manual de Inspeção de Obras-de-Arte Especiais do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (BRASIL, 1994) pode ocorrer a degradação biológica dos materiais das pontes, sendo uma delas a causada por raízes de vegetação. Conforme se nota na Figura 9, as raízes têm a capacidade de desagregar o concreto devido a tensões de tração geradas com o crescimento das raízes.



Figura 9. Ação da vegetação no encontro.

De acordo com Pfeil (1983) os encontros são definidos como componentes estruturais cuja sua função primária é resistir a empuxos advindos do aterro de acesso, para que possa evitar que esses esforços cheguem a atingir os outros elementos constituintes da ponte. Eles também impossibilitam a ocorrência da erosão do aterro de acesso. Os encontros são necessários em pontes, por causa das constantes cargas advindas do aterro e de erosões provocadas pelas águas dos rios em períodos de cheia.

Relata-se que graves problemas em pontes podem ocorrer de danos no encontro, especialmente quando há erosão ou deposição no leito do rio a longo prazo; erosão generalizada junto à ponte e fossa de erosão em torno dos pilares e encontros (Vitório, 2007).

A ação das fortes enchentes aumenta a pressão dinâmica transversal imposta aos encontros e pilares, e os impactos da destruição podem ser maiores de acordo com a geometria do elemento estrutural, dessa forma, o poder de enchentes é somado com as possíveis falhas no projeto e a forma geométrica dos elementos que compreendem a ponte (Vitório, 2015).



Figura 10. Processo de Erosão do encontro.

3.2. Soluções de correção e prevenção para as manifestações patológicas identificadas nas Pontes

Algumas soluções para as manifestações patológicas observadas foram agrupadas na Tabela 1, sendo enfatizados os procedimentos de prevenção e correção.

Tabela 1. Procedimentos de prevenção e Correção das manifestações identificadas.

Manifestação	Prevenção	Correção
Corrosão das armaduras	<ul style="list-style-type: none"> - Cobrimento adequado do concreto. - Melhorar a qualidade do concreto (adições minerais, pozolânicas). - Controle da relação água/cimento 	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecer nível de oxidação e área de aço comprometida. - Substituir barras comprometidas. - Reforçar estrutura.
Desplacamento do concreto	<ul style="list-style-type: none"> - Polimento do concreto para retirar a superfície áspera. Evita-se a superfície mais lisa, evita-se que partículas se desagreguem da estrutura com o passar do tempo. Concreto de qualidade, adensamento correto, aditivos, impermeabilizante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar um corte na estrutura para remover o concreto deteriorado, realizando escoramentos adequados. O corte deve ser feito quando houver corrosão ou concreto segregado, devendo garantir não só a retirada integral do concreto degradado, além das barras em meio alcalino (Souza e Ripper, 1998).

Tabela 1- Continuação.

Manifestação	Prevenção	Correção
Fissuras ativas	Eliminar as causas das fissuras, transformando as fissuras ativas em inativas, facilitando o tratamento da estrutura.	-Antes da correção efetuar o reforço estrutural e o reforço de fundações. Segundo Mazer (2008), é impossível eliminar as fissuras ativas, dessa forma, realiza-se o tratamento fazendo a vedação das fissuras aplicando poliuretanos ou de compostos à base de betume, não permitindo o acesso dos agentes agressivos.
Fissuras inativas	- Controle de qualidade do concreto;	- Deve-se realizar o alargamento da fissura em formato V, depois limpar o local e finalmente preencher a superfície com a aplicação de resina epóxica ou de argamassa. Dnit (2010).
Obstrução de drenos	- Quantidade suficiente de orifícios de drenos para o escoamento das águas pluviais no pavimento e limpar os dispositivos de drenagem frequentemente (Laner, 2001).	-Realizar desentupimento ou substituição dos canais por onde ocorre a drenagem.
Manchas	- Impermeabilizando corretamente a estrutura. - Construindo pingadeiras.	-Remoção mecânica das eflorescências, que consiste em sua eliminação na superfície porosa por meio de escovas; -Remoção dos materiais contaminantes e permite a eliminação oriunda dos sais contaminantes -Aplicação de rebocos, que é um procedimento frequente na reparação de construções. Puim (2010).
Manchas vermelhas	- Evitar infiltração de água de chuvas da rede de drenagem. - Proteger a armadura com cobrimento de concreto adequado.	Dnit (2010) deve ser tratado consistindo na extração da parte deteriorada, recomposição por um concreto de maior qualidade e utilizando um revestimento para proteger contra a corrosão.

Tabela 1- Continuação.

Manifestação	Prevenção	Correção
Fallhas no Guarda-Corpo	- Controle no processo construtivo. - Manutenções rotineiras.	-Realizar o picoteamento da estrutura que ficou intacta para engastar a armadura de reparo, podendo utilizar concreto com baixo fator água/cimento, além de introduzir agentes plastificantes para moldagem. -Substituir os elementos que já existem por novos.
Erosão nos encontros	- Fazer a compactação do solo de forma adequada para que não haja desmoronamento. - Controle da qualidade do concreto.	- O concreto erodido deve ser retirado até atingir uma camada que esteja em boas condições. A remoção somente deverá ocorrer depois de verificada a estabilidade do elemento estrutural da obra, (DNIT, 2010).

4. CONCLUSÕES

Foram observadas patologias na ponte que precisam ser corrigidas como forma de manter a segurança e garantia de seu uso. Algumas destas manifestações patológicas são fáceis de corrigir como a obstrução de drenos, manchas na estrutura e substituição de guarda-corpos.

As manifestações patológicas como desagregação do concreto de pilares e corrosão indicam desde já que há um comprometimento da estrutura, o que pode se agravar com o tempo, sendo necessário uma análise mais aprofundada com a execução de ensaios que indiquem o desempenho da estrutura a correção destes problemas, o mais cedo possível.

O comprometimento das estruturas de concreto armado reduz a vida útil e põe em risco o estado funcional. Tendo em vista o grau de importância de uma ponte para a sociedade, deve-se realizar inspeções constantes, com base em normas e procedimentos técnicos, identificando manifestações patológicas, compreendendo as causas e os principais riscos que estas patologias podem oferecer. O ideal é que as intervenções de conservação sejam feitas o mais cedo possível para que os problemas não se tornem mais graves.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Ciências e Empreendedorismo pelo apoio e incentivo fornecido ao desenvolvimento do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). *NBR 6118: Norma Brasileira para Projeto de Estruturas de Concreto Armado*, Rio de Janeiro.
- Aguiar, J. E. de. (2006). “*Avaliação Dos Ensaio De Durabilidade Do Concreto Armado A Partir De Estruturas Duráveis*”, Dissertação, Mestrado em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Brasil. (1994) *Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Manual de inspeção de obras-de-arte especiais*. Rio de Janeiro, p. 48.
- Bristot, V. M. (2012). “*Estudo para Implementação de Sistemas de gestão de Manutenção em indústrias de Conformação de Revestimentos Cerâmicos*”. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Cascudo, O. (1997). “*O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e técnicas eletroquímicas*”. São Paulo: PINI.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2004). *Manual de inspeção de pontes rodoviárias*. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2010). *Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários*. 1. ed. Rio de Janeiro: DNIT.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006). “*Patologias do concreto – Especificação de serviço*”. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT090_2006_ES.pdf>. Acesso em: 27 out. 2020.
- Giammusso, S. E. (1992). “*Manual do concreto*”. PINI, São Paulo.
- Gomide, A. J. (2012). “*Prova Pericial no Direito Imobiliário*”. PINI, São Paulo.
- Helene, P. (1986). “*Corrosão em armaduras para concreto armado*”. PINI. São Paulo.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Limites territoriais municipais*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- Laner, F. J. (2001). “*Manifestações Patológicas nos Viadutos, Pontes e Passarelas do Município de Porto Alegre*”. Porto Alegre.
- Lencioni, J. W. (2005). “*Proposta de manual para inspeção de pontes e viadutos em concreto armado: discussão sobre a influência dos fatores ambientais na degradação de obras-de-arte especiais*”. Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- Mazer, W. (2008). “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*”, Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Ministério da Infraestrutura. *Síntese-Setor Rodoviário*. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/dados-de-transportes/sintese-rodoviario>. Acesso em: 27. abr. 2021.
- Pfeil, W. (1983). *Pontes em concreto armado*. 3 ed., LCT, Rio de Janeiro.

- Pintan, M. N. (2013) “*Manifestações Patológicas e estudos da corrosão presente em pontes do Recife. Dissertação de mestrado*”, Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Pernambuco.
- Puim, P. G. A. C. (2010). “*Controlo e reparação de anomalias devidas à presença de sais solúveis em edifícios antigos*”, Dissertação, Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, p. 95.
- Souza, V. C. M.; Ripper, T. (1998). “*Patologia, Recuperação e Reforma de Estruturas*”. 1. ed. Pini, São Paulo.
- Vitório, A. (2003). *Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia. Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia*. Recife.
- Vitório, J. A. P. (2006a). “*Pontes Rodoviárias – Fundamentos, Conservação e Gestão*”. Livro editado pelo Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Pernambuco, Recife.
- Vitório, J. A. P. (2007). “*Acidentes estruturais em pontes rodoviárias: Causas, diagnósticos e soluções*”. In: II Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. ABPE, Rio de Janeiro.
- Vitório, J. A. P. (2015). “*Fundamentos da erosão nas fundações de pontes e nos aterros de acesso*”. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife.
- Vitório, J. A. P. (2006b) “*Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto*”. In: Congresso Nacional do Concreto”, 48, Anais IBRACON, Rio de Janeiro.

Vida útil à fadiga do concreto: Estudo experimental da influência das condições de carregamento e da resistência do material

E. F. Felix^{1*}, R. Carrazedo¹, E. Possan²

*Autor de Contacto: emerson.felipe.felix@gmail.com

¹ Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP), São Carlos, Brasil

² Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma investigação experimental com objetivo de avaliar a influência da frequência de carregamento, intensidade da carga e resistência à compressão do material, no comportamento à fadiga do concreto. Ensaios foram realizados considerando três frequências de carregamento (0,125, 0,25 e 0,5 Hz), dois níveis de tensão máxima (50% e 70% da resistência à compressão) e concretos com três classes de resistência (30, 50 e 70 MPa). Os resultados encontrados apontam que à medida que a frequência de carregamento é aumentada, a vida útil à fadiga cresce exponencialmente. No entanto, observou-se que a vida útil à fadiga é menor em concretos de alta resistência e que a VUF apresentou uma relação inversa com a resistência à compressão.

Palavras-chave: Concreto; Compressão cíclica; Fadiga; Fadiga de baixo ciclo; Vida útil à fadiga.

ABSTRACT

This work presents an experimental investigation aiming to evaluate the influence on the concrete fatigue behavior regarding the loading frequency, load intensity and the material's compressive

strength. Tests were carried out considering three loading frequencies (0.125, 0.25 and 0.5 Hz), two levels of maximum stress (50% and 70% of the compressive strength) and concretes made with three different compressive strength (30, 50 and 70 MPa). The results point out that as the loading frequency is increased, the fatigue life increases exponentially. However, it was observed that the fatigue life is shorter in high-strength concretes, i.e., the fatigue life presented an inverse relationship with the compressive strength.

Keywords: Concrete; Cyclic compression; Fatigue; Low cycle fatigue; Fatigue life.

RESUMEN

El presente trabajo presenta una investigación experimental con objetivo de evaluar la influencia de la frecuencia de los esfuerzos, el nivel de tensión aplicada y la resistencia a la compresión del material sobre el comportamiento a fatiga del hormigón. Los ensayos se realizaron considerando tres frecuencias de carga (0,125, 0,25 y 0,5 Hz), dos niveles de tensión máxima (50% y 70% de la resistencia a la compresión) y hormigones con tres clases de resistencia (30, 50 y 70 MPa). Los resultados encontrados indican que a medida que aumenta la frecuencia de carga, la vida a fatiga aumenta exponencialmente. Sin embargo, se observó que la vida a fatiga es menor en los hormigones de alta resistencia, y que la vida de fatiga presentó una relación inversa con la resistencia a la compresión del material.

Palabras clave: Hormigón; Compresión cíclica; Fatiga; Fatiga de bajo ciclo; Vida de fatiga.

1. INTRODUÇÃO

No decorrer de sua vida útil, estruturas de concreto a exemplo de pontes, torres eólicas, estruturas offshore e pavimentos de aeroportos e rodovias, estão sob ação das mais variadas condições de solicitações, apresentando na maioria dos casos um espectro de carregamento variável e cíclico, responsável pela deterioração do material por fadiga.

A fadiga se refere a deterioração ou ruptura de um sólido quando submetido à repetidas cargas e descargas, e ocorre devido à degradação permanente e progressiva na microestrutura do material, para solicitações cíclicas de magnitude inferior à sua resistência (Lü et al., 2004; Saini e Singh, 2020). Assim, a fadiga é um fenômeno que deve ser considerado no projeto de elementos que trabalham sob ação de cargas cíclicas, a fim de que os danos permanentes que comprometem a integridade estrutural sejam minimizados.

A deterioração do concreto quando analisado por ensaios dinâmicos, ocorre de forma análoga aos ensaios estáticos, entretanto, o modo de propagação de fissuras, a velocidade de propagação e o dano podem ser diferentes em função do nível e da taxa de carregamento ao qual o material é submetido (Dowling, 2012).

De modo geral, o nível de tensão S , que age no material, é de suma importância na análise e determinação da resistência à fadiga, ou vida útil (número de ciclos N , resistido antes da ruptura). O número N , pode ser descrito através da curva de Wöhler, ou curva $S \times N$ “Stress vs. Number”, que relaciona o nível de tensão aplicado ao número de ciclos que causam a ruptura no material. Para a maioria dos materiais, a curva de Wöhler mostra a existência de uma tendência na redução do número de ciclos à medida em que aumenta o nível de tensão (Dowling, 2012).

Atualmente, apenas os materiais dúcteis, como os aços e as ligas, apresentam ábacos e curvas de Wöhler bem definidas. Para o concreto e outros materiais frágeis e quase-frágeis, ainda não existem curvas definidas para todas as classes e tipos, uma vez que o desenvolvimento de pesquisas

relacionadas à fadiga só ganhou destaque no decorrer das duas últimas décadas, ao passo em que os estudos correlatos às áreas de durabilidade, mecânica da fratura e mecânica do dano tiveram substancial avanço.

No que diz respeito ao desempenho do concreto quando submetido a cargas cíclicas, trabalhos vêm sendo desenvolvidos por estudos teóricos, experimentais e/ou numéricos, e divididos quanto ao tipo de fadiga analisada, fadiga por tração (Subramaniam e Shah, 2003; Chen, et al., 2017), tração-compressão (Lü et al., 2004), compressão (Xiao et al., 2013; Lantsoght et al., 2016; Jiang et al., 2017) e flexão (Kim et al., 2013; Arora e Singh, 2016; Kasu et al., 2019; Saiani e Sinsh, 2020). A maioria das pesquisas encontradas na literatura têm como objetivo a avaliação da fadiga à flexão, onde as tensões de tração são preponderantes.

No Brasil, por exemplo, as pesquisas são prioritariamente relacionadas à fadiga por flexão em vigas ou compressão e flexão em pavimentos de concreto, sendo a maioria de cunho numérico ou teórico-numérico (Baroni, 2010; Junges, 2017; Mascarenhas e Carvalho, 2019).

A principal dificuldade encontrada para o estudo experimental do comportamento do concreto à fadiga, no Brasil, remete-se à incipiência de equipamentos capazes de realizar ensaios cíclicos com alta velocidade de carregamento. Medeiros (2012), por exemplo, realizou parte de sua pesquisa no exterior, devido a indisponibilidade, na época, de máquinas e equipamentos de laboratório para ensaios de fadiga à compressão. O autor analisou experimentalmente o ganho de resistência à fadiga devido a incorporação de fibras na matriz cimentante do concreto, verificando ainda, a influência de distintas frequências de carregamento.

Diante do exposto, este trabalho apresenta uma análise experimental do comportamento à fadiga do concreto, a fim de analisar a vida útil à fadiga (VUF) de concretos de baixa (30 MPa), e alta (50 e 70 MPa) resistência à compressão, submetidos à diferentes condições de carregamento. Os ensaios foram realizados considerando três frequências de carregamento (0,125, 0,25 e 0,5 Hz) e dois níveis de tensão máxima (50% e 70% da resistência à compressão).

2. FADIGA NO CONCRETO

2.1 Degradação do material devido a cargas cíclicas

Em um sólido submetido a cargas cíclicas, nucleações em nível microscópico são originadas com um baixo número de repetições devido ao efeito da fadiga no material. A progressão das fissuras até a sua observação em nível macroscópico é lenta, se considerada a vida útil à fadiga do sólido, usualmente expressa pelo número de ciclos necessário para causar a falha do material (N_f).

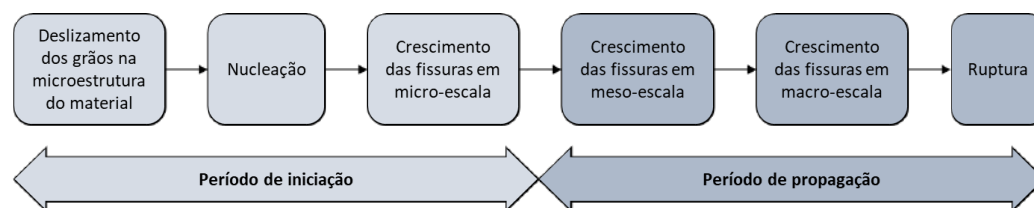


Figura 1. Fases da VUF associadas à fissuração do concreto.

A vida útil à fadiga é geralmente classificada em dois estágios: um referente ao surgimento das nucleações no material e outro à propagação das fissuras. No período de iniciação também é observado o crescimento microestrutural de fissuras, porém em dimensões tão insignificantes que não são consideradas na representação ou quantificação do nível de danificação do material. O período de propagação é geralmente caracterizado pelo instante em que o crescimento das fissuras é observado em nível mesoscópico. Na Figura 1 são apresentadas as diferentes fases representativas da vida útil à fadiga, considerando aspectos relacionados à fissuração dos materiais.

De modo geral, do surgimento da primeira microfissura até a ruptura do material, o dano por fadiga no concreto pode ser caracterizado por três estágios, de acordo com os níveis de deformação (Figura 2): (i) origem da fissura, que é quando as microfissuras surgem devido à alta concentração de tensões em pontos de descontinuidades na estrutura cristalina ou, em regiões com descontinuidades pré-existentes no material; (ii) propagação da fissura, devido ao acúmulo de energia nas extremidades das fissuras existentes; e (iii) ruptura do material, que ocorre de maneira abrupta, devido à natureza quase-frágil do material.

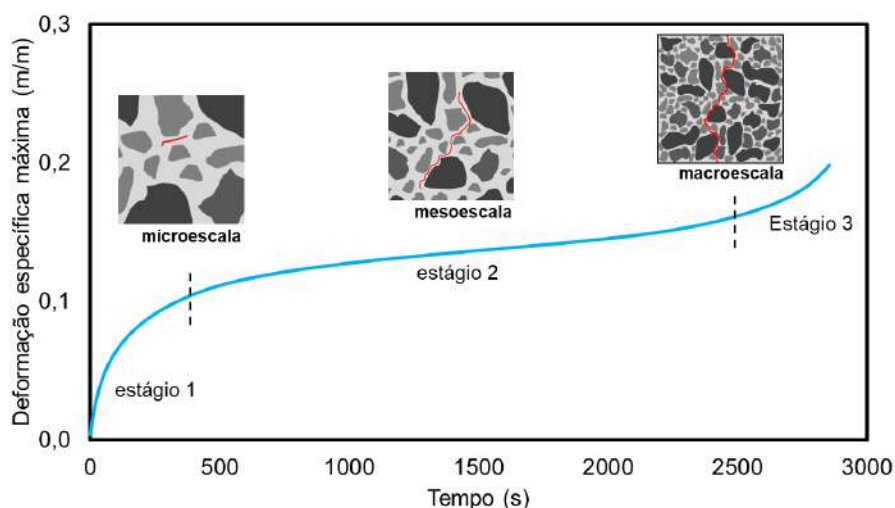


Figura 2. Avanço de fissuras no concreto em função da deformação máxima e tempo de ensaio em corpos de prova submetidos à fadiga.

A fim de prever ou monitorar a vida útil de um elemento de concreto quando sujeito à fadiga, faz-se necessário conhecer o comportamento mecânico do material quando submetido à ciclos de carga e descarga. As propriedades do concreto referentes à fadiga são determinadas a partir de ensaios laboratoriais, onde os dados obtidos são geralmente apresentados por meio do gráfico de tensão ou de deformação específica em função do número de ciclos até a ruptura, curva S-N e ϵ -N, respectivamente.

Existem na literatura diversos modelos de previsão da vida útil do concreto quando submetido à fadiga, conforme apresentado nas Equações (1)-(4). Entretanto, boa parte dos modelos possuem como diretriz as curvas S-N ou ϵ -N, obtidas em campanhas experimentais, às quais só atendem a um pequeno número de casos, o que inviabiliza o seu emprego de forma generalizada.

$$\frac{S_{max}}{f_{t,f}} = d + e \log(n) \quad (1)$$

$$\log(N) = 13,275 - 11,39 \left(\frac{S_{max}}{f_{ck}} \right) \quad (2)$$

$$\frac{S_{max}}{f_{est}} = 1 - 0,0685(1 - R) \log(N) \quad (3)$$

$$\log(N) = -2,66 - 0,94 \log(\dot{\epsilon}_{sec}) \quad (4)$$

onde S_{max} é a tensão máxima aplicada, $f_{t,f}$ é a resistência à tração na flexão estática do concreto, N é o número de ciclos para o colapso do material, d e e são parâmetros do material obtido por regressão dos dados, R é a razão entre a tensão mínima e máxima, f_{est} é a resistência característica

do concreto, f_{est} é a resistência em análise (tração, compressão ou flexão) ou tração estática do concreto, $\dot{\epsilon}_{sec}$ é a taxa de deformação específica secundária, ou ainda taxa de fluência secundária. De acordo com Lee e Barr (2004), são muitos os motivos que inviabilizam o uso da curva de Wöhler, Equação (1), de forma generalizada, sendo a principal, a determinação dos parâmetros por meio da regressão de dados, uma vez que existe uma dispersão considerável nos resultados de ensaios de fadiga no concreto, considerando corpos de prova do mesmo lote de ensaiados sob o mesmo nível de tensão.

Ortega et al. (2018) relatam que a grande dispersão nos resultados é decorrente da sensibilidade da resistência à fadiga a uma variedade de parâmetros relacionados ao ensaio e ao material, que são quase impossíveis de serem controlados de maneira precisa, como as condições de moldagem, o alinhamento do corpo de prova no equipamento de ensaio, a imposição das tensões máximas e mínimas, a frequência de carregamento e o posicionamento dos extensômetros ou Strain Gauges.

2.2 Fatores intervenientes na vida útil à fadiga

O estudo da fadiga no concreto, teve suas primeiras publicações em meados da década de 1920, com o trabalho de Clemmer (1922), onde foi observado que o concreto possui um comportamento distinto ao do aço, quando submetido a carregamento cíclico, observando que este mecanismo de degradação estava correlacionado aos princípios da mecânica da fratura.

Ao longo dos últimos cem anos, após a publicação dos primeiros trabalhos, muitos estudos de fadiga no concreto foram desenvolvidos, sendo a maioria (até a década de 90) referentes à determinação de um modelo geral, que considerasse os distintos tipos de ensaios à fadiga: tração direta, tração na flexão, tração por compressão, compressão e tração-compressão alternada.

De acordo com Medeiros (2012), o modo de carregamento influencia o comportamento do concreto à fadiga, uma vez que são distintos os fatores que governam o mecanismo de ruptura do concreto na compressão, tração ou flexão. Ademais, sabe-se que outros parâmetros podem influenciar na resistência à fadiga e vida útil, como os materiais constituintes, condições de umidade, relação entre tensões mínima e máxima (R), frequência de carregamento, entre outras.

Raithby e Galloway (1974) analisaram a influência das condições de umidade na determinação do número de ciclos até a ruptura do concreto convencional. Os autores analisaram as condições do concreto saturado, concreto seco ao ar por uma semana (Equação (2)) e concreto seco em forno por uma semana. Os resultados encontrados foram coincidentes com os observados por Cornelissen e Lewis (1986), onde o concreto saturado apresenta vida útil inferior ao do concreto seco ao ar, mas praticamente a mesma que o concreto seco em forno.

Tepfers e Kutti (1979) propuseram modelos para a determinação da vida útil de concretos submetidos à fadiga por compressão, tração e flexão, verificando por meio de análises estatísticas, que a Equação (3) atende aos diferentes tipos de carregamento. Entretanto, Cornelissen (1984) apresentou um estudo demonstrando que o modo de carregamento tem influência no comportamento do concreto à fadiga, indicando que um único modelo não representaria adequadamente o fenômeno para os diferentes tipos de carregamentos. Ademais, Cornelissen (1984) e Zhang et al. (1996) verificaram que os ensaios alternados causam maior redução na resistência à fadiga do que aqueles puramente em tração na flexão.

No que se refere aos materiais constituintes, ainda não se chegou a um consenso quanto a influência da relação água/cimento (a/c) e do consumo de cimento, os estudos de Tepfers e Kutti (1979) e Zhang et al. (1997) mostram que estes parâmetros são indiferentes ao comportamento do concreto submetido à fadiga por tração ou flexão, afetando apenas a resistência estática do material.

Quanto ao tipo de agregado empregado, Sparks (1982) mostrou que existe uma forte correlação entre a taxa de deformação secundária e o número de ciclos até a ruptura do concreto, fazendo com que concretos produzidos com agregado leve tenham uma menor vida útil, quando comparados aos concretos com agregado convencional (agregados de origem basáltica ou granítica). A Equação (4)

apresenta a formulação desenvolvida pelo autor, para a vida útil de concretos contendo agregado graúdo convencional, submetidos a carregamento cíclico por compressão.

Por fim, sabe-se que frequência de carregamento (f) pode exercer grande influência no comportamento à fadiga do concreto, e mais, que ao se elevar a frequência, a vida útil à fadiga aumenta. Porém, a maioria dos trabalhos existentes na literatura, que corroboram com essa afirmação, foram desenvolvidos para altas frequências ($f > 1,0$) e para tensões máximas variando entre 75% e 95% da resistência estática (Zhang et al., 1996). Jansen (1996) observou que para tensão máxima menor que 75% da resistência estática do concreto, as frequências entre 1 e 15 Hz apresentam pequena influência na resistência à fadiga, e mais, que uma redução de 100 vezes na frequência resulta numa redução de 10 a 30 vezes no número de ciclos.

3. CAMPANHA EXPERIMENTAL

A metodologia utilizada neste trabalho constitui-se de cinco etapas, conforme apresentado na Figura 3, sendo estas: i) seleção e caracterização dos materiais; ii) dosagem e moldagem dos concretos; iii) ensaios para definição de propriedades mecânicas do material; iv) ensaio de fadiga à compressão; e (v) análise dos resultados obtidos.

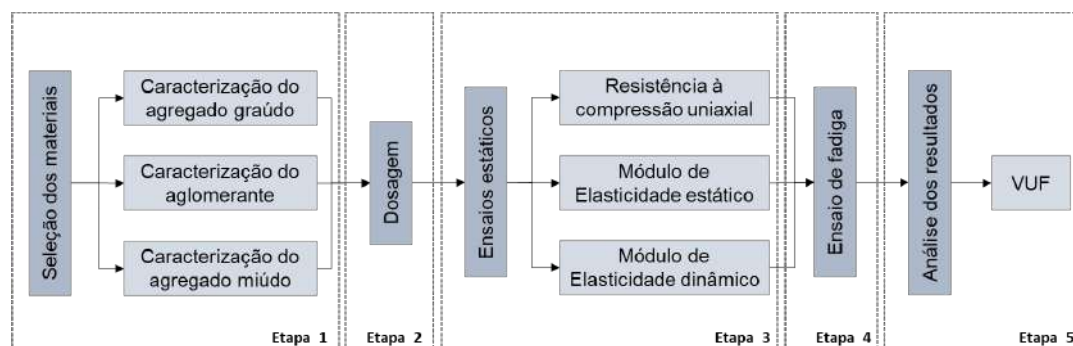


Figura 3. Metodologia do trabalho.

3.1 Seleção e caracterização dos materiais

Neste estudo, para a produção dos concretos, empregou-se como aglomerante o cimento Portland CP II Z 32, composto com pozolana e com 32 MPa de resistência à compressão. A massa específica (3,06 g/cm³) e a área superficial específica (3965,00 cm²/g) deste cimento foram determinadas de acordo com a NBR NM 23:2001 (ABNT, 2001) e com a NBR 16372:2015 (ABNT, 2015), respectivamente.

Tabela 1. Caracterização física dos agregados.

Propriedades	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Normas utilizadas
Massa unitária (kg/m ³)	1390,00	1401,00	(NBR NM 45: 2006)
Massa específica (kg/m ³)	2520,00	2590,00	(NBR NM 53: 2003)
Absorção (%)	0,22	1,45	(NBR NM 53, 2003)
Módulo de finura	1,46	-	(NBR NM 248 2003)

Areia quartzosa e brita 0 de origem basáltica foram empregadas como agregados miúdo e graúdo, respectivamente. Para a caracterização dos agregados (Tabela 1), foram realizados os ensaios de composição granulométrica, massa específica, massa unitária, absorção de água e módulo de finura.

Quanto à composição granulométrica do agregado miúdo, verificou-se que os dois lotes analisados se encaixam dentro dos limites granulométricos recomendados pela NBR 7211 (ABNT, 2009) para areia fina. Em relação aos agregados graúdos, os resultados comprovaram a dimensão máxima característica de 9,5 mm, correspondente a brita 0.

Para os concretos de classe C50 e C70, foram necessários empregar aditivos superplastificantes, que são compostos de polímeros orgânicos, comumente empregados como redutores de água, que possibilitam a redução do fator água/cimento e para dispersar partículas de cimento, melhorando assim a fluidez dos traços.

Por fim, relata-se que em todas as concretagens foi utilizada água potável proveniente da rede de abastecimento local, sendo dispensável o controle de sua aceitação.

3.2 Dosagem e produção dos concretos

Na presente pesquisa foram produzidos concretos considerando três traços, sendo um para o concreto convencional, com resistência característica à compressão igual a 30 MPa (C30) e dois para concretos de alta resistência, com 50 (C50) e 70 MPa (C70). Para a dosagem, fez-se o uso do método da ABCP (Rodrigues, 1984) com abatimento fixado em (120 ± 20) mm. Na Tabela 2 são apresentados os consumos de materiais para cada um dos traços produzidos.

Tabela 2. Consumo de materiais.

Material	Consumo de material em kg/m ³		
	C30	C50	C70
Cimento (CP II Z 32)	353,96	395,55	553,43
Agregado miúdo	800,44	1000,76	853,92
Agregado graúdo	1023,68	819,96	826,75
Água	184,19	166,37	168,92
Aditivo	-	2,38	4,41
Relação água/cimento	0,52	0,42	0,30

Ao todo, foram produzidos 126 corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, sendo 42 corpos de prova para cada um dos três lotes. Os concretos foram moldados em mesa vibratória e submetidos à cura com temperatura e umidade controladas até o instante de realização dos ensaios.

3.3 Ensaios com carregamentos estáticos

Para os ensaios de caracterização dos concretos com carregamento estático, foram utilizados dezoito corpos de prova, sendo seis empregados nos ensaios de resistência à compressão aos 7 dias, seis aos 28 dias, seis para análise da resistência aos 90 dias (período em que se dará início aos ensaios de fadiga) e determinação do módulo de elasticidade estático e dinâmico. Os ensaios foram conduzidos de acordo com as normas NBR 5739 (ABNT, 2007), NBR 8522 (ABNT, 2017) e ASTM E1876 (2015).

O módulo de elasticidade dinâmico foi considerado neste trabalho, por ser uma propriedade que representa melhor o comportamento a fadiga do concreto. Os ensaios do módulo de elasticidade dinâmico foram realizados por meio da técnica de excitação por impulso (TEI), uma técnica não destrutiva, a qual permite que o corpo de prova seja empregado em outro ensaio. Este ensaio foi realizado com o propósito de determinar a variação do módulo de elasticidade e o dano correspondente, avaliado durante a realização do ensaio de fadiga.

O módulo de elasticidade dinâmico e seu respectivo módulo estático, obtido via formulação de Popovics (2008) (Equação (5)), foi obtido em seis corpos de prova antes do início dos ensaios de resistência à compressão aos 90 dias.

$$E_c = 0,107E_d^{1,4}\rho^{-1} \quad (5)$$

onde E_c é o módulo de elasticidade estático (em Pa), ρ é a densidade do concreto (em kg/m^3), E_d é o módulo de elasticidade dinâmico (em Pa).

3.4 Ensaio de fadiga

Para a realização dos ensaios de fadiga, foram utilizados corpos de prova cilíndricos de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro, submetidos à compressão cíclica em uma máquina servo hidráulica Instron 8805 de capacidade máxima de ± 1500 kN. A escolha dos corpos de prova foi realizada buscando uma dimensão com que a velocidade máxima de carregamento usada nos ensaios fosse inferior à velocidade máxima suportada pela máquina (80 kN/s) e que ainda representasse adequadamente o comportamento do material. Como justificativa para a dimensão do corpo de prova, indica-se o estudo experimental realizado por Saini et. al. (2015), onde foi observado que para a fadiga à compressão, o diâmetro do corpo de prova possui influência superior à relação altura/diâmetro do corpo de prova e que um diâmetro igual ou superior a 5 cm é suficiente para avaliar e/ou ensaiar corpos de prova de concreto sob compressão cíclica. Saini et. al. (2015) relatam ainda, que deve ser utilizado um corpo de prova que apresente uma relação entre diâmetro do corpo de prova e diâmetro máximo do agregado superior à 5,00.

A máquina servo-hidráulica utilizada possui controle eletrônico que recebe sinais analógicos de até seis canais diferentes, seja carga, deslocamento ou leitura proveniente de um extensômetro qualquer. A Figura 4.a mostra uma visão geral da posição dos dois extensômetros do tipo roseta dupla (com direções variando em 90°) e dois LVDT, utilizados nos corpos de prova. Já na Figura 4.b é apresentado o esquema de carregamento cíclico empregado.

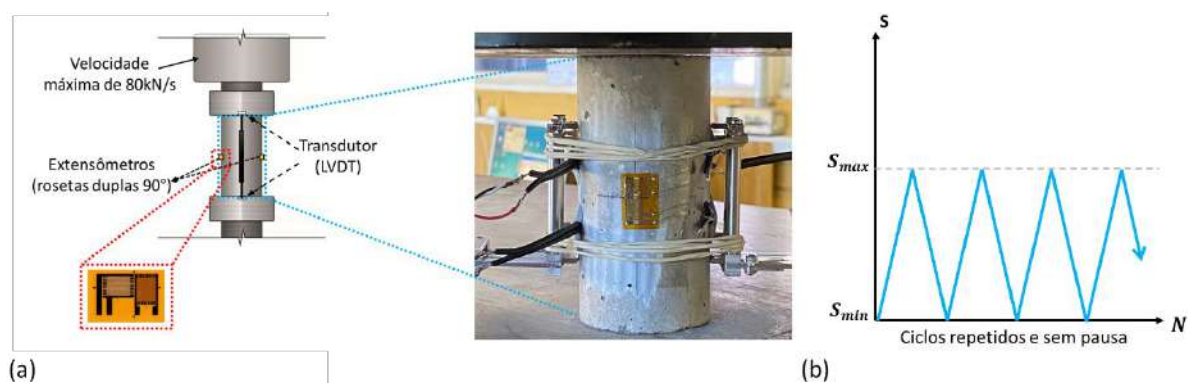


Figura 4. Esquema (a) de instrumentação e (b) do carregamento cíclico.

Os ensaios de fadiga foram configurados por meio do controle de carga. Como apresentado na Figura 4.b, a definição das cargas máximas e mínimas foi realizada considerando duas configurações distintas, uma para a carga máxima de 50% da resistência à compressão (f_c) e outra para 70% de f_c , considerando nos dois casos, uma carga mínima de 0 kN, o que configura relações entre tensões mínima e máxima (R) de 0,00 para os dois casos.

Ao todo foram analisados quatro corpos de prova para a determinação do número de ciclos médio, necessário para a ruptura por fadiga na compressão, para os dezoito casos estudados. Os dezoito casos se referem à combinação das três frequências de carregamento (0,125, 0,25 e 0,5 Hz), dos dois níveis de tensão máxima (50% e 70% de f_c) e das três classes de resistência à compressão (30, 50 e 70 MPa). A fim de resumir todos os cenários investigados experimentalmente, na Figura 5 são

apresentados todos os grupos de amostras configurados com os três lotes de concretos (C30, C50 e C70), considerando as diferentes configurações de carregamento investigadas.

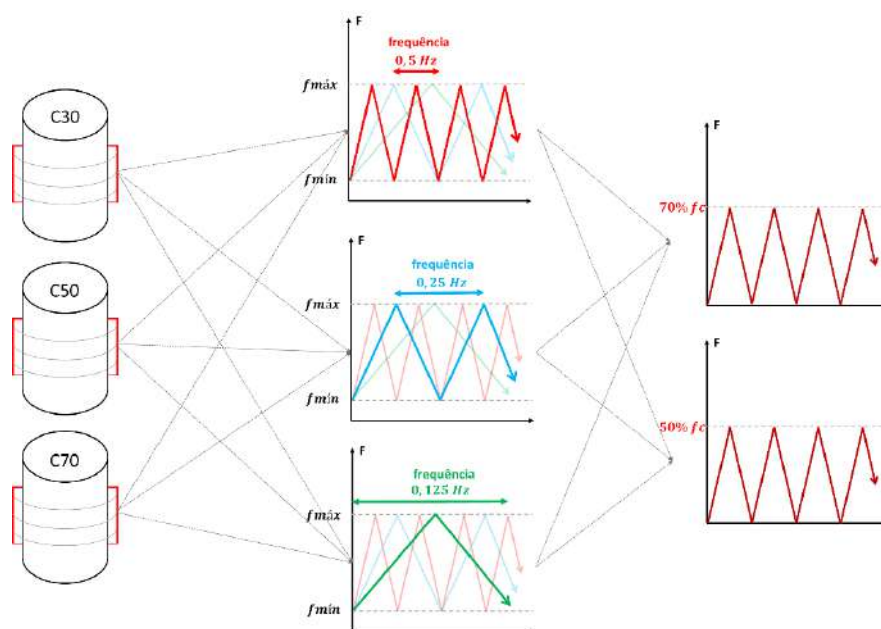


Figura 5. Cenários analisados experimentalmente.

Para facilitar a leitura dos resultados, utilizou-se a nomenclatura C#S#F#, onde C# remete à classe de resistência do concreto (30, 50 ou 70 MPa), S# refere-se à tensão máxima adotada (S5 para 50% e S7 para 70%) e F# descreve a frequência do carregamento (F125 para 0,125 Hz, F25 para 0,25 Hz e F5 para 0,5 Hz).

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização

A caracterização das propriedades mecânicas dos concretos empregados no estudo experimental foi conduzida por meio de ensaios de resistência à compressão do concreto (f_c), módulo de elasticidade estático (E_c) e módulo de elasticidade dinâmico (E_d).

No que se refere à determinação da resistência à compressão dos concretos, ensaios de compressão estática foram conduzidos em seis corpos de prova em cada um dos traços (C30, C50 e C70). Os ensaios foram conduzidos aos 7, 28 e 90 dias, onde os concretos permaneceram em cura com temperatura e umidade controladas em 25°C e 75%, respectivamente. Na Figura 6.a são apresentadas as médias das resistências à compressão dos concretos, considerando os três instantes de tempo avaliados. As áreas sombreadas no gráfico representam a faixa de valores referentes à média \pm o desvio padrão amostral.

Da Figura 6.a é possível inferir que os concretos produzidos apresentam níveis de resistências adequadas às classes aos quais foram dosados, e que as amostras apresentam baixos desvios padrão. Estes resultados apontam a existência de uma baixa variabilidade na propriedade mecânica avaliada, característica que pode vir a contribuir para uma baixa variabilidade na vida útil à fadiga. Dando continuidade à fase de caracterização dos concretos, as demais propriedades mecânicas foram determinadas no mesmo período em que cada um dos lotes de concreto foi submetido aos testes de fadiga (90 dias).

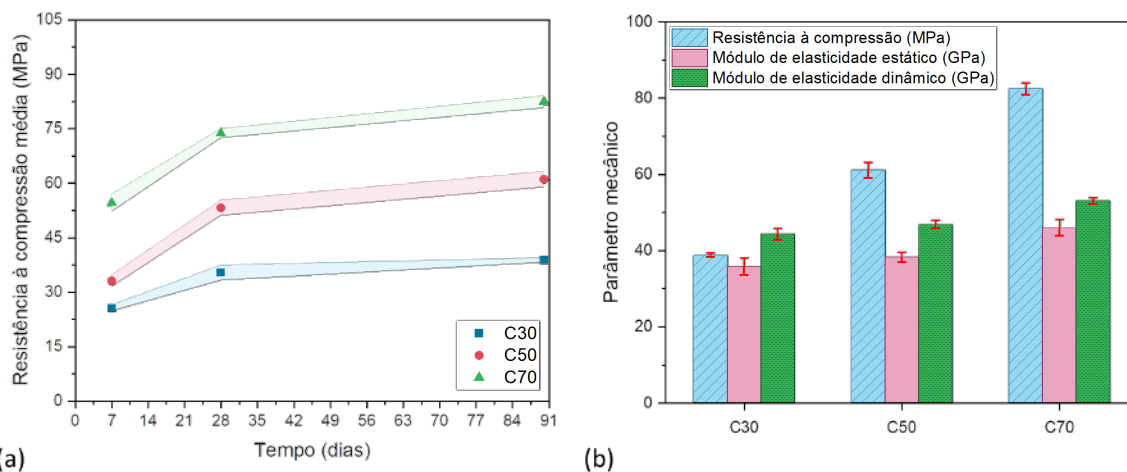


Figura 6. Médias e desvios da (a) resistência à compressão aos 7, 28 e 90 dias, e (b) da resistência à compressão, módulos de elasticidade estático e dinâmico aos 90 dias.

Na Figura 6.b são apresentadas as médias dos resultados obtidos para todas as propriedades mecânicas avaliadas aos 90 dias nos concretos de lote C30, C50 e C70. Os dados foram dispostos de modo a indicar a resistência à compressão, o módulo de elasticidade estático e o módulo de elasticidade dinâmico. Além disso, são apresentados os desvios padrão das propriedades avaliadas. Resumidamente, os resultados apresentados nesta seção apontam que os concretos dosados apresentam resistência à compressão média, aos 28 dias, adequada à classe de resistência para o qual foram dosados, sendo as resistências médias de 35,35 MPa para o traço C30, 53,21 MPa para o traço C50 e 73,74 MPa para o traço C70.

4.2 Vida útil à fadiga

Diante dos diferentes cenários apresentados na Figura 5, considerando as propriedades mecânicas aferidas e dispostas nas Figuras 6.a e 6.b, nas Figuras 7-9 são apresentados os números de ciclos (VUF) que cada uma das quatro amostras ensaiadas por compressão cíclica, resistiram antes de ocorrer a ruptura.

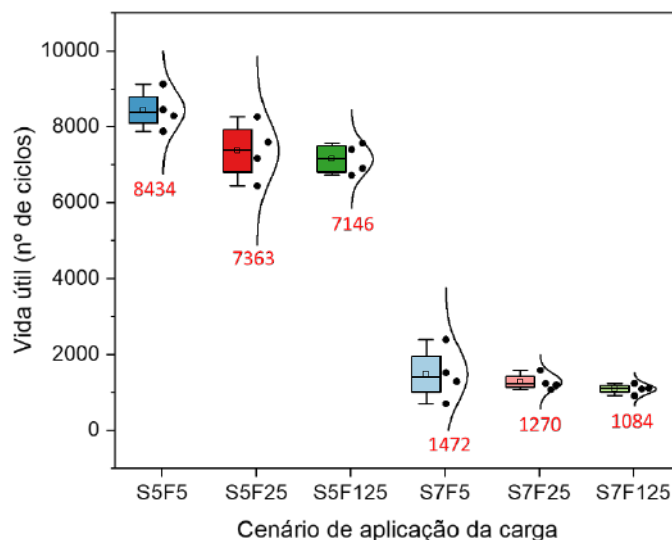


Figura 7. Vida útil à fadiga dos concretos C30.

Os resultados foram dispostos de modo a apresentar o número de ciclos necessários para causar a falha de cada um dos quatro corpos de prova, o valor médio da amostra (destacado em vermelho)

e a função de distribuição da vida útil à fadiga. Nos gráficos também são representados boxes contendo as seguintes informações: primeiro e terceiro percentis, mediana e os valores máximo e mínimo de cada cenário amostrado.

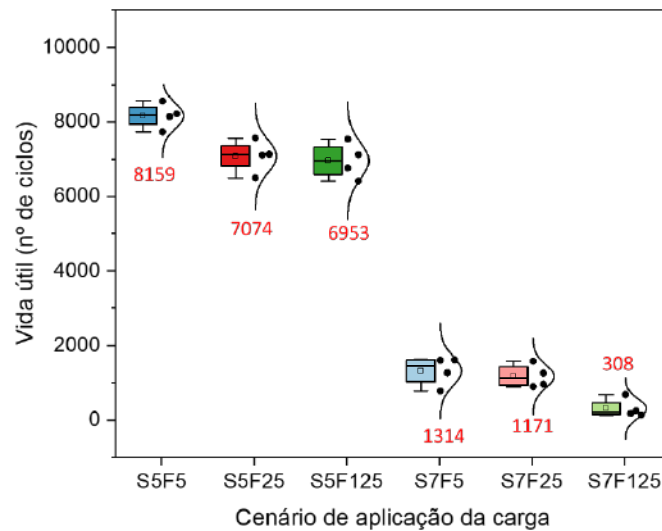


Figura 8. Vida útil à fadiga dos concretos C50.

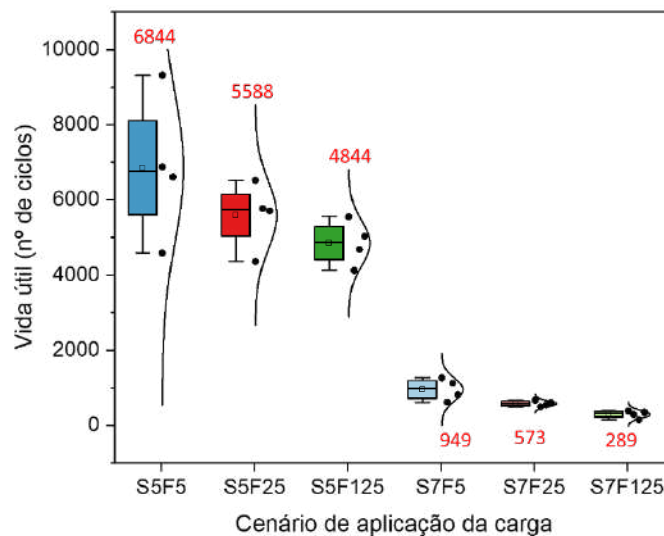


Figura 9. Vida útil à fadiga dos concretos C70.

Inicialmente, ao avaliar as Figura 7-9, é possível observar que mesmo para baixas frequências ($f < 1,0$), o número de ciclos necessário para levar as amostras à ruptura, decresce à medida em que diminui a frequência de carregamento, comportamento observado também nos trabalhos de Zhang et al. (1996) e Medeiros (2012). Ademais, observa-se que este comportamento se apresenta independentemente do nível de tensão máxima aplicada (50% ou 70% de f_c), diferente do observado por Jansen (1996), onde o autor relata uma pequena ou quase inexistente influência da frequência na vida útil à fadiga de concretos com tensões máximas inferiores à 75% da resistência à compressão.

Corroborando com os resultados encontrados neste trabalho, o estudo experimental conduzido por Kim e Kim (1996), aponta que a vida útil à fadiga do concreto diminui na medida em que aumenta a tensão máxima aplicada e que essa característica possui maior evidência em concretos de alta resistência.

Com o propósito de avaliar a influência da resistência à compressão do concreto conjuntamente com a frequência do carregamento e o nível de tensão máxima na resistência à fadiga do material, na Figura 10 é apresentado um gráfico contendo a diminuição percentual da vida útil à fadiga (VUF) dos concretos de lote C50 e C70, em relação à VUF aferida nos concretos de lote C30.

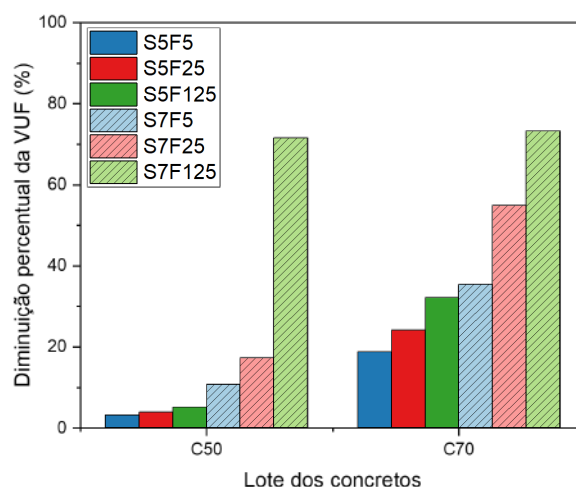


Figura 10. Variação da vida útil à fadiga dos concretos C50 e C70 em relação ao C30.

Ao analisar os resultados dispostos nas Figuras 7-10, infere-se uma relação positiva entre a resistência à compressão do concreto e a vida útil à fadiga, sendo essa relação mais evidente quando da avaliação de concretos com resistência superior a 50 MPa (concretos de alta resistência). A influência da resistência à compressão na vida útil à fadiga foi investigada nos trabalhos de Al-Gadhib et al. (2000) e Kessler-Kramer et al. (2003), onde os autores indicam que a fragilidade que o material adquire ao ganhar resistência pode ser diretamente atrelada ao seu comportamento à fadiga, uma vez que a fadiga é definida pela degradação do material ao ser submetido a um carregamento cíclico.

Considerando os resultados dispostos na Figura 10 e sabendo que os concretos dos lotes C50 e C70 apresentam, respectivamente, resistências médias superiores a 57,37% e 112,33%, infere-se que a redução da VUF é maior para os concretos submetidos ao maior nível de tensão máxima aplicado (70% de f_c), independente da resistência do material. Ademais, observa-se que as reduções na VUF aumentam com a diminuição da frequência do carregamento adotado.

Assim, considerando os resultados apresentados na Figura 10, é possível observar a existência de uma redução da vida útil à fadiga na medida em que diminui a frequência de carregamento aplicada no concreto, e que, essa diminuição ocorre independentemente do nível de tensão máxima adotada no ensaio (50% ou 70% de f_c), diferente do observado por Jansen (1996), onde o autor relata a existência de uma pequena ou quase inexistente influência da frequência de carregamento na resistência à fadiga de concretos submetidos à tensões máximas inferiores a 75% da resistência à compressão.

5. CONCLUSÕES

O comportamento mecânico do concreto submetido à fadiga por compressão, foi investigado neste trabalho por meio da avaliação da vida útil à fadiga, considerando concretos de distintas classes de resistência e sujeitos a carregamentos com a variação dos níveis de tensão e frequência. Os resultados obtidos possibilitaram as seguintes considerações:

- A vida útil à fadiga cresce na medida em que aumenta a frequência de carregamento aplicada, desde que mantido o nível de tensão máxima aplicado. Uma plausível razão para

este fenômeno se deve ao fato de que para maiores frequências de carregamento, o material passa a ter seu comportamento mecânico governado pelas propriedades dinâmicas, sendo estas em geral superiores às obtidas em ensaios com cargas estáticas;

- Verificou-se que diminuiu o número de ciclos necessário para levar a amostra à ruptura ao aumentar o nível de tensão de 50 para 70% de f_c , sendo este fato acompanhado do aumento do nível de dano causado no material, fato também observado no ensaio de compressão estática;
- Existe uma relação inversa entre a resistência à compressão do concreto e a vida útil à fadiga, sendo essa relação mais evidente quando da avaliação de concretos com resistência superior a 50 MPa (concretos de alta resistência);
- Por fim, ao considerar a variabilidade do número de ciclos necessário para gerar a ruptura do material (Figuras 7-9), observou-se que a dispersão dos dados em torno da média, decresce na medida em que diminui a frequência de carregamento, independentemente do nível de tensão máxima empregado. Tal fato indica que o grau de confiabilidade de modelos de estimativa da vida útil de componentes estruturais de concreto sujeitos à fadiga, deve ser dado em função da frequência de carregamento.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (CNPq 141078/2018 e CNPq 310564/2018-2) e, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES código 001) pelo fomento fornecido à pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). *NBR NM 23: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). *NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). *NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007). *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). *NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008). *NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). *NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). *NBR 16372: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)*. Rio de Janeiro.

Al-Gadhib, A. H., Baluch, M., Shaalan, A., Khan, A. (2000), Damage model for monotonic and fatigue response of high strength concrete. *International Journal of Damage Mechanics*, v. 9, n. 1, p. 57-78.

- Arora, S., Singh, S. P. (2016), Analysis of flexural fatigue failure of concrete made with 100% Coarse Recycled Concrete Aggregates. *Construction and Building Materials*, v. 102, n. 1, p. 782-791.
- ASTM International (2015), *ASTM E1876: Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration*.
- Baroni, H. J. M. (2010), “*Simulação da vida útil de fadiga do concreto em vigas de tabuleiro de pontes em função do fluxo de veículos pesados*”. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Chen, X., BU, J., Fan, X., Lu, J., Xu, L. (2017), Effect of loading frequency and stress level on low cycle fatigue behavior of plain concrete in direct tension. *Construction and Building Materials*, v. 133, p. 367-375.
- Clemmer, H. F. (1922), Fatigue of concrete. *Proceedings, American Society for Testing and Materials*. v. 22, n. 2, p. 408-419.
- Cornellissen, H. A. W. (1984), *Fatigue failure of concrete in tension*. Heron, v. 29, n. 4, p. 2-67.
- Cornelissen, H. A. W., Leewis, M. (1986) “*Fatigue experiments for the design of plain concrete pavements*” in: Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements, CROW-PIARC-CEMBUREAU, Report 1, Holanda.
- Dowling, N. E. (2012), “*Mechanical behavior of materials: Engineering methods for deformation, fracture, and fatigue*”. Practice Hall, 4th edition, United States.
- Jansen A. (1996), “*Research to fatigue behaviour of topping on prefabricated concrete girders*”. Thesis (Master). Delft University of Technology. Holanda.
- Jiang, C., Xianglin, G., Huang, Q., Zhang, W. (2017), Deformation of concrete under high-cycle fatigue loads in uniaxial and eccentric compression. *Construction and Building Materials*, v. 141, p. 379-392.
- Junges, P. (2017), “*Análise de fadiga em pontes curtas de concreto armado a partir de dados de sistemas B-WIM*”. Tese (Doutorado). Centro Tecnológico: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Kasu, S. R., Deb, S., Mitra, N., Muppireddy, A. R., Kusam, S. R. (2019), Influence of aggregate size on flexural fatigue response of concrete. *Construction and Building Materials*, v. 229, p. 1-9.
- Kessler-Kramer, C., Mechtcherine, V., Mueller, H. S. (2003), “*Failure of normal and high strength concrete under monotonic and cyclic tensile loading*” in: Brittle Matrix Composites 7. Woodhead Publishing. p. 277-286.
- Kim, J. K., Kim, Y. Y. (1996), Experimental study of the fatigue behavior of high strength concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 26, n. 10, p. 1513-1523.
- Kim, J., Yi, C., Lee, S. J., Zi, G. (2013), Flexural fatigue behaviour of concrete under uniaxial and biaxial stress. *Magazine of Concrete Research*, v. 65, n. 12, p. 757-764.
- Lantsoght, E. O. L., Van Der Veen, C., Boer, A. (2016), Proposal for the fatigue strength of concrete under cycles of compression. *Construction and Building Materials*, v. 107, p. 138-156.
- Lee, M. K., Barr, B. I. G. (2004), An overview of the fatigue behavior of plain and fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*. v. 26, p. 299-305.
- Lü, P., Li, Q., Song, Y. (2004), Damage constitutive of concrete under uniaxial alternate tension-compression fatigue loading based on double bounding surfaces. *International Journal of Solids and Structures*, v. 41, p. 3151-3166.

- Mascarenhas, F. Jr. R., Carvalho, R. C. (2019), Vida útil à fadiga da armadura longitudinal de vigas de pontes de concreto armado frente ao tráfego real de veículos pesados. *Revista AICONPAT*, v. 9, n. 3, p. 303-319.
- Medeiros, A. (2012), “*Estudo do comportamento à fadiga em compressão do concreto com fibras*”. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Civil: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Ortega, J. J., Ruiz, G., Yu, R. C., Afanador-García, N., Tarifa, M., Poveda, E., Zhang, X., Evangelista JR., F. (2018), Number of tests and corresponding error in concrete fatigue. *International journal of fatigue*, v. 116, p. 210-219.
- Popovics, J. S. (2008) “*A study of static and dynamic modulus of elasticity of concrete*”. University of Illinois, Urbana, IL. ACI-CRC Final Reports.
- Raithby, K. D., Galloway, J. W. (1974), “*Effects of moisture condition, age, and rate of loading on fatigue of plain concrete*” in: ABELES Symposium: Fatigue of Concrete. ACI Publication, v. 41, p. 15-34.
- Rodrigues, P. P. F. (1984), “*Parâmetros de dosagem do concreto*.” São Paulo: ABCP, 1984.
- Saini, B. S., Singh, S. P. (2020), Flexural fatigue life analysis of self-compacting concrete containing 100% coarse recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, v. 253, p. 1-13.
- Sparks, P. R. (1982), Influence of rate of loading and material variability on the fatigue characteristics of concrete. *ACI Journal*, v. 75, n. 16, p. 331-342.
- Subramaniam, K. V., Shah, S. P. (2003), Biaxial tension fatigue response of concrete. *Cement and Concrete Composites*, v. 25, n. 6, p. 617-623.
- Tepfers, R., Kutti, T. (1979), Fatigue strength of plain, ordinary and lightweight concrete. *ACI Journal*, v. 76, n. 29, p. 635-652.
- Xiao, J., Li, H., Yang, Z. (2013), Fatigue behavior of recycled aggregate concrete under compression and bending cyclic loadings. *Construction and Building Materials*, v. 38, p. 681-688.
- Zhang, B., Phillips, D. V., Wu, K. (1996), Effect of loading frequency and stress reversal of fatigue life of plain concrete. *Magazine of Concrete Research*, v. 48, n. 177, p. 361-375.
- Zhang, B., Phillips, D. V., Wu, K. (1997), Further research on fatigue properties of plain concrete. *Magazine of Concrete Research*, v. 49, n. 78, p. 241-252.

Avaliação da tensão de aderência em sistema de reforço externamente aderido após exposição a protocolo de degradação acelerado

G.M. Dalfré^{1*}, G. A. Parsekian¹, L. A. Sarti Júnior¹, C. J. R. V. Araújo²

*Autor de Contato: glauca.dalfre@ufscar.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil

² Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Brasil

RESUMO

O presente trabalho emprega o protocolo de acondicionamento acelerado proposto pelo código americano ACI 440.9R (ACI, 2015) para avaliação da durabilidade de sistemas de reforço, sem proteção, aplicados em vigas de concreto armado. Vigas de concreto armado foram reforçadas e mantidas por 1000 horas em ambiente laboratorial ou expostas a um protocolo de degradação acelerada. Posteriormente foram realizados ensaios de arrancamento para verificação da tensão de aderência entre o material de reforço e o substrato de concreto. Os resultados demonstraram que após o período de 1000 horas obteve-se um decréscimo na tensão de aderência de 5 % e 39 % para as vigas mantidas em ambiente laboratorial ou expostas a degradação acelerada, respectivamente, quando os dados obtidos são comparados aos das amostras de referência.

Palavras-chave: sistemas de reforço, concreto, CFRP, durabilidade, degradação acelerada.

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos polímeros reforçados, ou estruturados, com fibras (FRP, *Fiber Reinforced Polymer*, em língua inglesa) se justifica em aplicações de reforço estrutural devido às vantagens como elevada resistência à corrosão, redução do peso da estrutura reforçada, baixa densidade, alta resistência à tração e para alguns casos, como vistos nas fibras de carbono, e elevado módulo de elasticidade.

Apesar das inúmeras vantagens e crescente implantação de sistemas de reforço em FRP aplicados por meio da técnica EBR, a ampliação do estudo torna-se indispensável devido ao contato direto e exposição do material com o ambiente externo, podendo tornar o sistema vulnerável quando submetidos às condições ambientais agressivas tais como locais com elevado teor de umidade, altas temperaturas, desgastes mecânicos e ambientes com alta concentração de agentes químicos. Para além disso, soma-se a escassez de trabalhos, com produtos disponíveis no mercado nacional, que abordem o tema durabilidade de sistemas de reforço com FRP.

Considerando a variabilidade de condições em que o sistema de reforço, juntamente com o elemento de concreto armado, pode estar exposto, o presente estudo tem por finalidade avaliar o comportamento de sistemas de reforço EBR CFRP submetidos a um ambiente com alta umidade e temperatura controlada, analisando a possível ocorrência de degradação que este meio pode ocasionar o longo do tempo.

O estudo da verificação da degradação de um determinado material compósito pode durar anos pois tal processo está diretamente ligado ao ambiente degradante onde estão inseridos. Assim, dependendo do ambiente de exposição, as propriedades mecânicas dos materiais compósitos podem ser afetadas de forma amena (quando expostos a ambientes internos e protegidos) ou de forma mais severa (quando expostos a ambientes externos e meios agressivos), podendo resultar em alterações significativas em seu comportamento.

Silva (2014) observou que a utilização de ensaios acelerados é uma alternativa viável para verificação da durabilidade de materiais compósitos nos casos em que a falha está associada a degradação do material. Portanto, quando a degradação de um determinado material ou elemento é muito lenta ou desconhecida, incorporam-se variáveis (constantes ou alternadas, tais como temperatura elevada, umidade, voltagem, intemperismo, pressão, reagentes químicos, dentre outras), com o intuito de acelerar o processo e, conseqüentemente, induzir sua falha, levando a um conhecimento mais profundo sobre o comportamento do objeto de estudo (BRUNO, 2018).

1.1 Protocolo de degradação acelerada – ACI 440.9R (ACI, 2015)

O código americano ACI 440.9R (ACI, 2015), utilizado nesta pesquisa, recomenda o uso de ACPs (*Accelerated Conditioning Protocols*, na língua inglesa) para a avaliação da durabilidade de materiais compósitos. Os ambientes de exposição recomendados são:

- *Standart laboratory conditions*: ambiente laboratorial de referência, o qual é caracterizado pelo uso de temperatura e umidade relativa de $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ e $50\% \pm 10\%$, respectivamente;
- *Continuous immersion in water*: imersão contínua em água potável com temperatura controlada de $50\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$;
- *Continuous exposure to humidity*: exposição contínua a umidade de 100% com temperatura controlada de $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$; e
- *Continuous immersion in alkaline solution*: imersão contínua em solução alcalina com temperatura controlada de $50\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$.

Para tal, o código ACI 440.9R (ACI, 2015) recomenda no caso de uso de sistemas de reforço, que sua aplicação seja feita seguindo as diretrizes propostas pelo código ACI 440.2R (ACI, 2017). Assim, após o período de cura, o elemento reforçado deve ser inserido em um tanque, com geometria definida de modo a atender a demanda de ensaios a serem realizados, com a presença de água potável, solução alcalina ou umidade constante, de acordo com o método de aceleração da degradação selecionado. A Figura 1 apresenta o esquema de ensaio proposto pelo código americano ACI 440.9R (ACI, 2015) para realização do protocolo de acondicionamento.

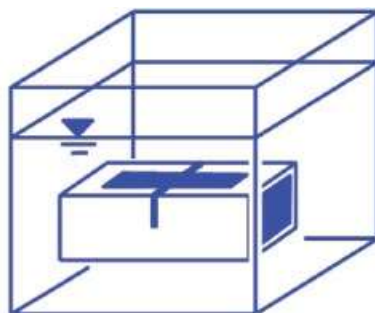


Figura 1. Arranjo de ensaio proposto para exposição à degradação acelerada.

Fonte: Adaptado de ACI 440.9R (ACI, 2015)

De acordo com o protocolo ACP, a temperatura da água potável ou solução alcalina deve ser mantida ente $50\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. Porém, não é definida pelo código ACI 440.9R (ACI, 2015) a forma de

aquecimento do líquido. Assim, o pesquisador deve escolher a fonte de aquecimento e o mecanismo de controle da temperatura que melhor atenda os objetivos de sua pesquisa.

O período de duração dos ACPs pode ser definido igual a 1000 ou 10000 horas. Porém, um período intermediário de 3000 horas de exposição é proposto pelo código ACI 440.9R (ACI, 2015). Assim, testes com períodos diferentes do proposto pelo código podem ser realizados, ficando a cargo do pesquisador a sua definição.

Os ensaios mecânicos para verificação do comportamento do elemento reforçado pós-acondicionamento devem ser conduzidos, após o término do período de exposição, dentro de um intervalo de 2 a 5 horas. Recomenda-se, também, a realização de ensaios do tipo “pull off” para avaliação da aderência entre o sistema de reforço e o substrato de concreto. Tais ensaios podem ser realizados em regiões estratégicas nas faces do elemento reforçado de acordo com a norma ASTM D7522 (ASTM, 2015) onde, por meio do arrancamento de pastilhas cilíndricas aplicadas nas regiões livres de interferências, obtêm-se a tensão de aderência. A Figura 2 ilustra o procedimento de ensaio de aderência, o qual será utilizado no presente trabalho.

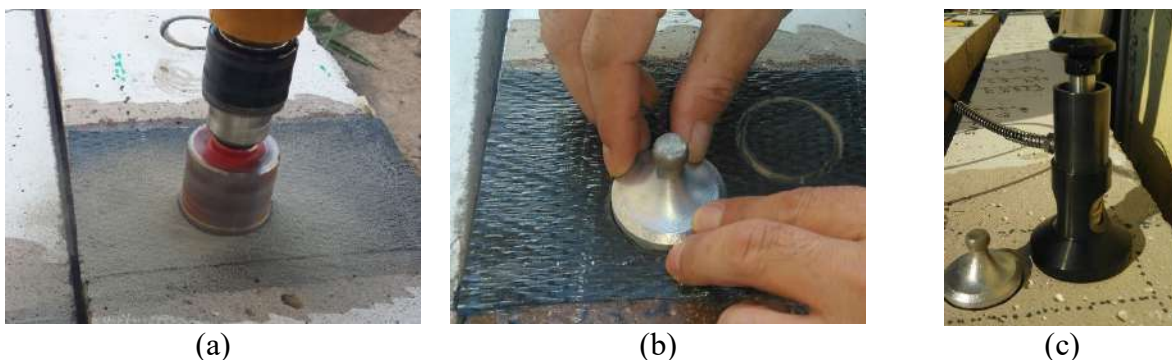


Figura 2. Ensaio de aderência: (a) execução do corte da área de ensaio, (b) colagem das pastilhas e (c) aparato posicionado sobre a pastilha.

Fonte: Adaptado de Ferreira (2019)

2. METODOLOGIA

O comportamento de elementos de concreto armado reforçados com FRPs é influenciado por uma série de fatores tais como: a geometria do elemento reforçado, a resistência à compressão do concreto, a taxa de armadura, a taxa e o tipo de fibras utilizadas no compósito de FRP, a matriz polimérica utilizada, a configuração do sistema de reforço, a técnica de reforço utilizada e o ambiente ao qual a estrutura está exposta.

Nesse sentido, este trabalho buscou avaliar o comportamento do sistema de reforço com mantas de CFRP aplicadas segundo a técnica EBR quando exposto a degradação acelerada de acordo com o protocolo ACP, proposto pelo código americano ACI 440.9R (ACI, 2015), cujo método de aceleração de degradação escolhido é baseado na exposição de vigas de concreto armado, sem reforço e reforçadas, à umidade constante com temperatura controlada de $50\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$.

Para isso, vigas de concreto armada reforçadas segundo a técnica EBR e os materiais intervenientes (resinas epoxídicas e compósitos de CFRP) foram acondicionados em dois locais distintos:

- Ambiente laboratorial (interno e protegido), e
- Ambiente com umidade constante obtida por meio de imersão do sistema de reforço em água potável, obtida da rede pública de abastecimento, com temperatura controlada, seguindo as recomendações do código ACI 440.9R (ACI, 2015).

O principal aspecto analisado neste trabalho foi o incremento ou decréscimo da tensão de aderência entre o sistema de reforço e o substrato de concreto das vigas reforçadas após exposição aos ambientes anteriormente apresentados nas idades de 14 e 87 dias (1000h).

O programa experimental é composto por vinte e oito vigas biapoiadas com dimensões de 120mm × 200mm × 250mm, tal como apresentado na Figura 3, as quais possuem concreto com resistência à compressão média (f_{cm}) de 32 MPa e armadura de flexão positiva composta por duas barras de aço CA-50 com diâmetro de 10 mm (taxa de armadura longitudinal de 0,75 %). Para se evitar a ruptura por cisalhamento, estribos de aço CA-60, com diâmetro de 5 mm e espaçamento de 10 cm, foram utilizados (Figura 3).

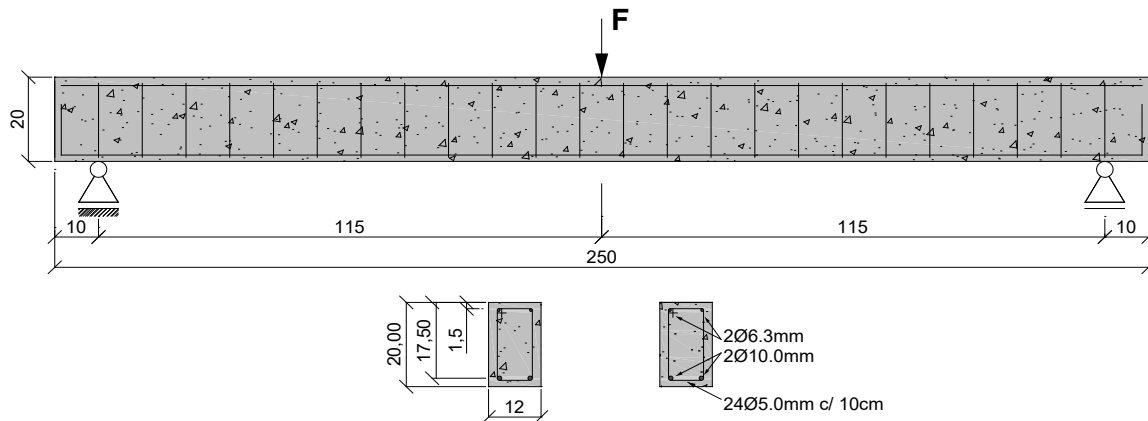


Figura 3. Característica das vigas de concreto armado. Unidades em cm.

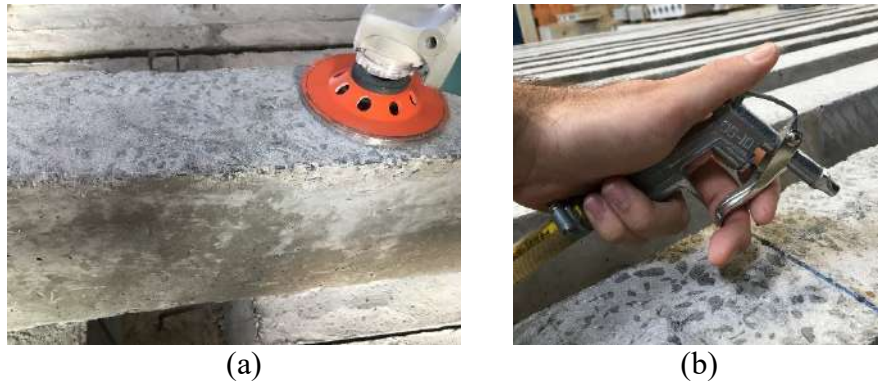
Fonte: Ferreira (2019)

O sistema de reforço utilizado utiliza mantas de fibras de carbono aplicadas diretamente no substrato de concreto segundo a técnica EBR, nas faces inferiores das vigas (zona tracionada).

Dentre os diversos tipos de fibras disponíveis no mercado e dando continuidade aos trabalhos realizados por Ferreira (2019), optou-se por utilizar o sistema de reforço composto por mantas do tipo *C-Sheet 240*. Como matriz polimérica do sistema de reforço foram utilizados dois tipos de resinas epoxídicas: a resina A (primer) e a resina B (saturação).

Para a aplicação do sistema de reforço foi previamente realizado o tratamento da superfície de concreto, onde o mesmo seria aderido com o intuito de garantir a aderência perfeita entre o substrato de concreto e o compósito de CFRP. Para tal, realizou-se o desbaste da camada superficial, com remoção da nata de cimento e exposição dos agregados, utilizando-se um disco de desbaste diamantado acoplado a uma esmerilhadeira (Figura 4a). Na sequência, aplicou-se ar comprimido em toda a superfície para limpeza e remoção das partículas sólidas uma vez que é fundamental que a superfície de concreto esteja livre de sujidades e contaminações ocasionadas pelo contato de óleos, graxas ou desmoldantes (Figura 4b).

Ao término do tratamento da superfície foi aplicado uma fina camada da resina A (*primer*) com o objetivo de regularizar a superfície e tamponar os poros presentes na superfície de concreto, assim, proporcionando melhor aderência entre o CFRP e o substrato de concreto.



(a) (b)
 Figura 4. Preparação da superfície de concreto.
 Fonte: Sarti Júnior (2020)

O posicionamento da manta no substrato de concreto iniciou-se após 40 minutos da aplicação da resina *primer*. Neste intervalo realizou-se a impregnação da manta, previamente cortada e limpa, com a resina B. Em seguida procedeu-se o posicionamento e colagem das mantas de fibra de carbono, utilizando-se também a resina de saturação. Após o posicionamento e alinhamento da manta na superfície, um rolo de borracha foi utilizado para remover o excesso de resinas e possíveis bolhas que possam ter sido formadas no tardo da manta. O preparo das resinas *primer* e saturação seguiu as recomendações do fabricante, o qual indica a agitação dos produtos, pesagem dos componentes A e B na proporção de 2 partes do componente A (monômero) para 1 parte do componente B (catalisador), seguido da mistura mecânica, por um período de 3 minutos, realizada com o uso de um misturador metálico acoplado a uma furadeira.

De acordo com o fabricante, para que aplicação do sistema de reforço possa ser realizada, a temperatura da superfície de concreto deve apresentar temperaturas de, no mínimo, 8° C, e também deve estar 3° C acima da temperatura do ponto de orvalho. Neste sentido, no ato da aplicação do sistema de reforço, a umidade ambiente de 48 % e as temperaturas ambiente, do substrato de concreto e do ponto de orvalho de 26° C, 21° C e 15,4° C, respectivamente, foram aferidas.

Para avaliar o comportamento e durabilidade das vigas, dois ambientes de exposição foram adotados nesta pesquisa, os quais são apresentados a seguir:

- Ambiente laboratorial (LAB): interno, protegido, o qual serviu como referência aos demais ensaios (Figura 5a-b). O ambiente adotado como laboratorial é o Laboratório NETPRE (Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), o qual é coberto e protegido de intempéries, e
- Tanques de acondicionamento para avaliação da durabilidade (ACP): com imersão do sistema de reforço em água potável, obtida da rede pública de abastecimento, com temperatura constante de 50 °C ± 3 °C, Figura 5(c-f).

Tendo em vista tais ambientes, a designação utilizada para identificação de cada viga foi V_{x_y_w-z}, onde “x” é o número do elemento ensaiado (1 ou 2), “y” corresponde aos elementos mantidos em ambiente laboratorial (LAB, de *Laboratory*) ou expostos ao protocolo de acondicionamento acelerado (ACP, de *Acelerated Conditioning Protocol*), “w” devido a utilização ou não de material de reforço (0 ou CFRP) e “z” corresponde a data de realização do ensaio (14 dias ou 1000 horas (87 dias) após a aplicação do sistema de reforço). Um resumo do programa experimental é apresentado na Tabela 1. Note-se que as vigas foram posicionadas no tanque de degradação quando o sistema de reforço atingiu a idade de 14 dias.

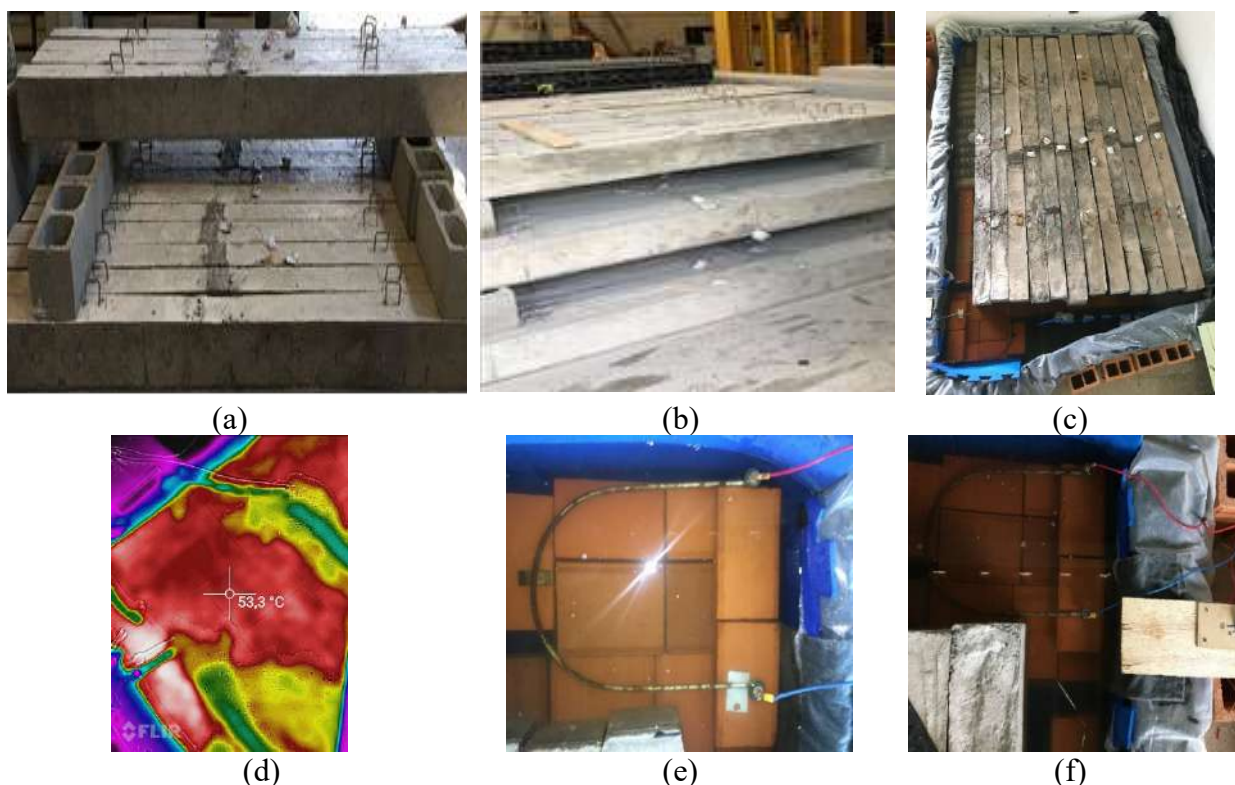


Figura 5. Locais de execução da campanha experimental de exposição dos elementos a degradação acelerada: (a-b) ambiente laboratorial, (c) tanque de umidade constante, (d) imagem termográfica, (e) resistência elétrica e (f) termostato e resistencia.

Fonte: Sarti Júnior (2020)

Tabela 1. Resumo do programa experimental

Idade do ensaio	Ambiente de exposição	Identificação	Total
45 dias (ou 14 dias após aplicação do sistema de reforço)	Ambiente laboratorial (Referência)	V1_LAB_0_14d V2_LAB_0_14d	2
		V1_LAB_CFRP_14d V2_LAB_CFRP_14d	2
1000 horas (87 dias) após aplicação do sistema de reforço	Ambiente laboratorial	V1_LAB_0_1000h V2_LAB_0_1000h	2
		V1_LAB_CFRP_1000h V2_LAB_CFRP_1000h	2
	Tanques de acondicionamento com temperatura controlada	V1_ACP_0_1000h V2_ACP_0_1000h	2
		V1_ACP_CFRP_1000h V2_ACP_CFRP_1000h	2

Fonte: Sarti Júnior (2020)

Atualmente, utilizam-se os ensaios de aderência, conhecidos como *pull-off* como forma de controle tecnológico nas obras de engenharia civil. Neste sentido, a tensão de aderência no substrato de concreto das vigas de concreto armado e a aderência entre o compósito de CFRP com o substrato de concreto foram avaliadas no presente trabalho. Os ensaios de *pull-off* foram conduzidos após 14 dias de cura do sistema de reforço e, também, após o período de 1000 horas.

O código americano ACI 440.9R (ACI, 2015) recomenda que o ensaio seja realizado nas extremidades da viga de concreto armado. Entretanto, devido à geometria da viga de concreto armado, não foi possível atender a tal recomendação devido a presença dos ganchos, da armadura de ancoragem, nesta região, o que poderiam interferir nos resultados obtidos. Neste sentido, os ensaios foram conduzidos nas faces laterais das vigas de concreto armado, em uma região onde não havia presença de armadura e sem padrão fissuratório visível após a realização dos ensaios mecânicos de flexão (Figura 6). Apresenta-se na Figura 7 o processo de aplicação do sistema de reforço para os ensaios de aderência.

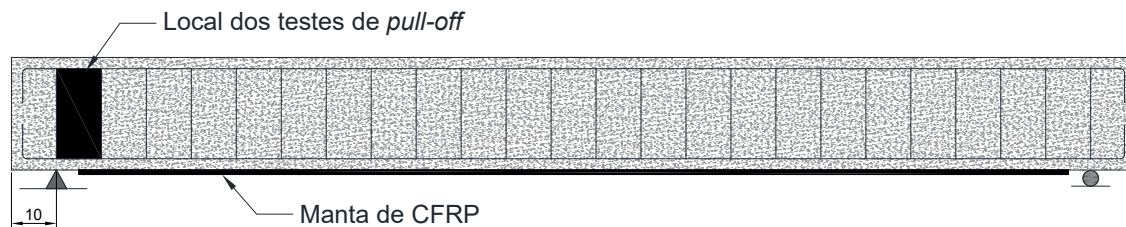


Figura 6. Região de aplicação do CFRP nas vigas de concreto armado reforçadas.

Fonte: Sarti Júnior (2020)

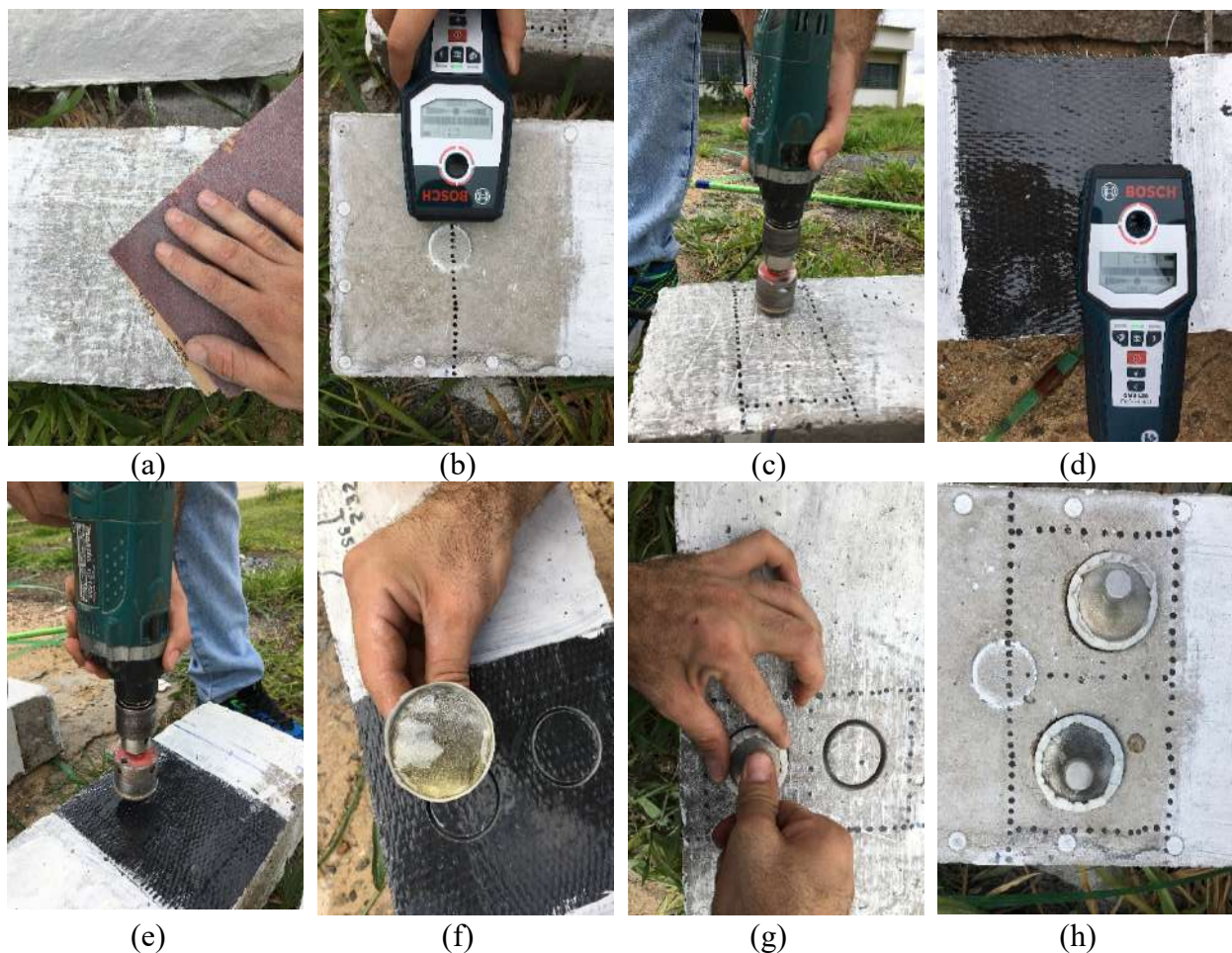


Figura 7. Procedimento de aplicação das pastilhas: (a) limpeza da superfície da viga; (b) pacometria na região pré-definida; (c) cortes nas áreas demarcadas; (d) pacometria sobre o sistema de reforço; (e) cortes sobre o CFRP; (f) aplicação de resina na pastilha; (g) aplicação da pastilha e (h) aspecto final das pastilhas aplicadas.

Fonte: Sarti Júnior (2020)

O ensaio foi precedido da pacometria da viga com o intuito de conhecer o real posicionamento da armadura e, posteriormente, pela definição da área sem quaisquer tipos de interferência. Após a delimitação da região de ensaio fez-se o tratamento da superfície com o auxílio de uma lixa, a qual removeu a camada de tinta anteriormente aplicada. Em seguida, aplicou-se ar comprimido para limpeza e remoção de possíveis sujidades.

Nas vigas de concreto armado reforçadas, aplicou-se uma camada do sistema de reforço, o mesmo utilizado na face tracionada, na mesma região previamente definida e tratada para as vigas sem reforço. Para tal, após a execução dos ensaios mecânicos de flexão nas vigas de concreto armado, realizaram-se cortes circulares, com uma profundidade média de 2 cm, utilizando-se furadeira e serra copo com diâmetro de 50 mm. Em seguida efetuou-se a colagem das pastilhas de alumínio, com diâmetro de 50 mm, no substrato de concreto e na manta de CFRP, conforme recomendado na norma ASTM D7522 (ASTM, 2015). Apresenta-se na Figura 8 o passo a passo realizado para aplicação das pastilhas.

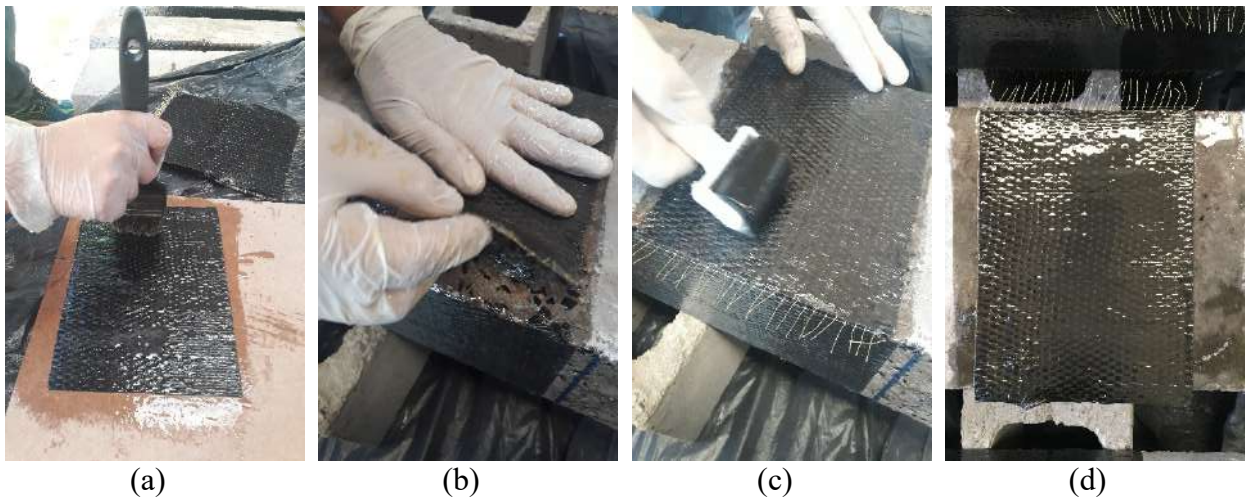


Figura 8. Processo de aplicação do CFRP para os ensaios de aderência: (a) impregnação da manta de fibra de carbono; (b) posicionamento do CFRP; (c) regularização com o rolo de borracha e (d) aparência final do CFRP aplicado.

Fonte: Sarti Júnior (2020)

Note-se que a resina epoxídica de saturação foi utilizada para a colagem das pastilhas nas áreas de ensaio e em cada viga foram coladas 2 pastilhas. O período de cura seguiu os mesmos definidos para o sistema de reforço principal, 14 dias após a aplicação.

Os ensaios foram conduzidos seguindo as recomendações da norma ASTM D7522 (ASTM, 2015). Para isso, utilizou-se o equipamento de arrancamento manual da marca *DeFelsko*, modelo ATM50, o qual possui campo de leitura de 0,4 a 3,3 MPa, com precisão na casa de 0,01 MPa, para a pastilhas com diâmetro de 50 mm. A Figura 9 apresenta a metodologia aplicada na execução dos ensaios de *pull-off* tanto nas vigas de concreto armado sem reforço como nas vigas reforçadas.

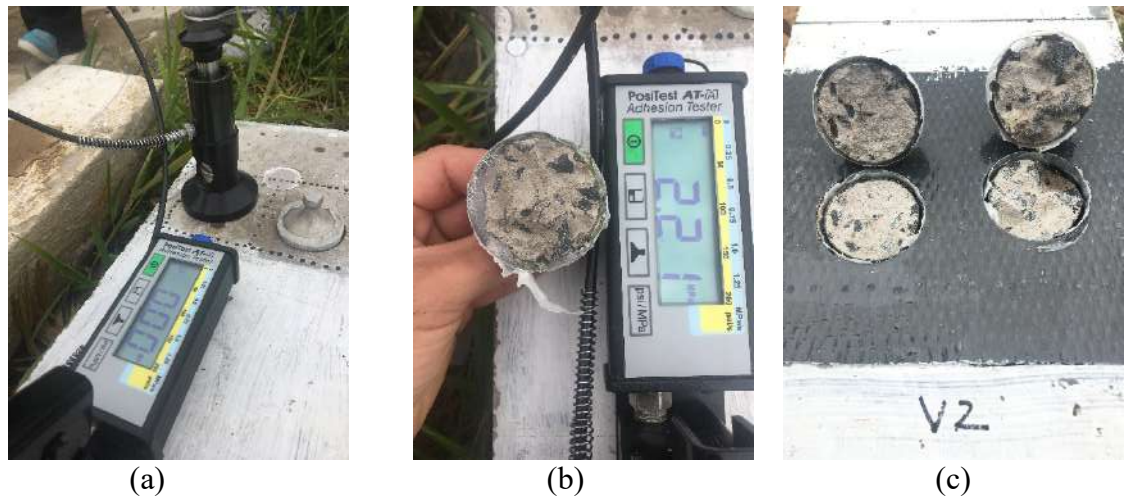


Figura 9. Metodologia utilizada no ensaio de aderência pull-off: (a) posicionamento do equipamento, (b) leitura do resultado após tração e (c) aspecto final das pastilhas após o ensaio.

Fonte: Sarti Júnior (2020)

3. RESULTADOS

Após a cura do adesivo estrutural utilizado (considerado como sendo 14 dias), foram conduzidos os ensaios de aderência por meio da fixação da pastilha de alumínio ao equipamento mecânico de *pull-off*, e então, gradativamente, iniciou-se a aplicação da força de tração até a ruptura da pastilha colada na superfície de concreto ou CFRP.

Apresentam-se na Tabela 2 os resultados obtidos nos ensaios de aderência realizados nas vigas de concreto armado sem reforço e reforçadas. Nesta, estão contemplados os resultados obtidos nos ensaios de referência bem como os ensaios após 1000 horas de exposição aos ambientes laboratorial e protocolo de acondicionamento acelerado.

Tabela 2. Resultados médios para os ensaios de aderência realizados nas vigas de concreto armado sem reforço e reforçadas.

Ambiente de exposição	Vigas	Idade do ensaio (dias)	Tensão de aderência (MPa)	Modo de ruptura
Referência	V_LAB_0_14dias	28 após a concretagem	2,0 (14,4) *	S
	V_LAB_CFRP_14dias	14 após a aplicação do sistema de reforço	2,8 (12,6) *	S
Laboratorial (1000 horas)	V_LAB_0_1000h	87	2,1 (2,1) *	S
	V_LAB_CFRP_1000h		2,1 (5,1) *	S
Degradação acelerada (1000 horas)	V_ACP_0_1000h	87	1,9 (4,2)	S
	V_ACP_CFRP_1000h		1,7 (6,1) *	S

* (valor) Coeficiente de Variação (COV) = (Desvio-padrão/Média) × 100; S = Substrato do concreto e I = Interface adesivo/concreto.

Fonte: Sarti Júnior (2020)

Após o ensaio de aderência observou-se que algumas pastilhas não aderiram totalmente nas superfícies de colagem. Com isso, para o cálculo da tensão de aderência, utilizou-se os valores da

área efetiva da pastilha, ou seja, considerou-se para tal somente a área aderida no substrato de concreto. Assim, com base nos fragmentos de concreto aderidos as pastilhas, foram realizados levantamentos das áreas efetivas, as quais foram fotografadas e analisados em software do tipo CAD para verificação da área de colagem efetiva. Na Figura 10 apresentam-se as imagens de algumas pastilhas pós-ensaio de *pull-off* e o modo de ruptura obtido.

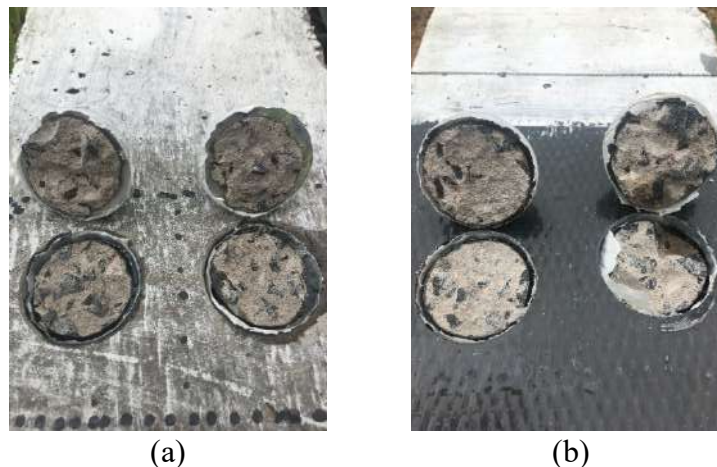


Figura 10. Pastilhas pós-ensaio de aderência *pull-off*: (a) viga de concreto armado e (b) sistema de reforço.

Fonte: Sarti Júnior (2020)

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de aderência *pull-off*, observa-se que todas as vigas, com e sem reforço, apresentaram o mesmo modo de ruptura. Neste sentido, verificou-se que, tanto para os ensaios realizados nas vigas de referência quanto os realizados nas vigas mantidas em ambiente laboratorial e expostas ao protocolo de degradação acelerado, o modo de ruptura ocorreu no substrato de concreto e não na interface concreto/adesivo/CFRP.

Ainda que tenha sido observada uma tendência na redução da carga de *pull-off*, a partir da análise dos resultados e modo de ruptura verifica-se um indicativo que a aderência entre o concreto/adesivo/CFRP é superior a resistência do concreto, mesmo após exposição aos ambientes degradantes. Além disso, tais valores são superiores aos indicados na ACI 440.2R (ACI, 2015), a qual preconiza que a tensão de aderência deve ser de, pelo menos, 1,4 MPa.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta um programa experimental que visa avaliar o comportamento a longo prazo de sistemas de reforço EBR CFRP. Para isso, dois ambientes de exposição foram adotados nesta pesquisa: laboratorial, o qual serviu de referência para as demais análises, e degradação acelerada do sistema de reforço baseado no protocolo de acondicionamento, visando a possível degradação dos FRPs, recomendado pelo código americano ACI 440.9R (ACI, 2015). Os resultados obtidos nos ensaios de aderência (*pull-off*) foram baseados na ruptura do concreto de substrato. Ainda que tenha sido observada uma tendência na redução da carga de *pull-off*, a partir da análise dos resultados e modo de ruptura verifica-se um indicativo que a aderência entre o concreto/adesivo/CFRP é superior a resistência do concreto, mesmo após exposição aos ambientes degradantes.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Metrodular, de Piracicaba, SP, pelo fornecimento das formas poliméricas utilizadas na concretagem das vigas, e ao Laboratório de Polímeros do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) e ao Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), pela realização dos ensaios desta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI COMMITTEE 440.2R**. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. American Concrete Institute, ACI Committee 440, 2017.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI COMMITTEE 440.9R**. Guide to Accelerated Conditioning Protocols for Durability Assessment of Internal and External Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement. ACI Committee 440, 10p. 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D7522**: Standard test method for pull-off strength for FRP laminate systems bonded to concrete substrate. West Conshohocken, Pensilvânia, EUA, 2015.

BRUNO, G. U. **Avaliação da degradação natural e acelerada de revestimentos orgânicos**. 2018. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia na área de Ciência e Tecnologia dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

FERREIRA, D. C. **Avaliação da degradação de vigas reforçadas com FRP quando expostas ao intemperismo**. 2019, 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2019.

SARTI JUNIOR, L. A. (2020). **Durabilidade de vigas de concreto armado reforçadas com mantas de CFRP submetidas a degradação acelerada**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12781> (Acessado: 30 de abril de 2021).

SILVA, S. C. B. **Estudo da degradação acelerada da argamassa em um sistema de revestimento cerâmico de fachadas**. 2014, 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2014.

Avaliação de manifestações patológicas em fachadas: Estudo de caso em edifícios residenciais em Salvador/BA.

COSTA, P. Z.¹; FREITAS, P. V. G.²; A. R. A. OMORE³, M. A. MACHADO^{3*}; V. A. COELHO⁴;
SILVA, F. G. S.⁵.

*Autor de contato: marina.machado@outlook.com

¹Pós-graduando em Engenharia de Avaliação e Perícia, Universidade Jorge Amado, Salvador, Brasil

²Área de Construção Civil, SENAI CIMATEC, Salvador, Brasil

³Graduado(a) em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁴PPEC, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁵Departamento de Construção e Estruturas, Universidade Federal da Bahia, Salvador- Ba, Brasil

RESUMO

Fachada é um dos principais sistemas de uma edificação que além da estética, visa protege-la das intempéries, aumentando seu desempenho e vida útil. Apesar de sua relevância, o revestimento de fachada tem sido executado sem os devidos cuidados técnicos, gerando grande número de anomalias. Este artigo tem por finalidade demonstrar variadas manifestações patológicas existentes em fachadas constituídas por revestimento cerâmicos e pintura sobre reboco em edifícios residenciais da cidade de Salvador. Para isto, a metodologia utilizada foi: a) Vistoria in loco; b) coleta de dados, c) Ensaio não destrutivos d) Catalogação de anomalias e e) Proposições de terapias. Essa pesquisa levou à conclusão de como essas anomalias interferem diretamente na estética da edificação e favorecem a deterioração do edifício mais rapidamente.

Palabras clave: Fachada, Manifestações patológicas; Revestimento.

|

ABSTRACT

Facade is one of the main systems of a building that, in addition to aesthetics, aims to protect it from the elements, increasing their performance and service life. Despite its relevance, the façade cladding has been carried out without due technical care, generating a large number of anomalies. The purpose of this article is to demonstrate various pathological manifestations existing in facades made up of ceramic coating and painting on plaster in residential buildings in the city of Salvador. For this, the methodology used was: a) On-site inspection; b) data collection, c) Non-destructive testing d) Cataloged of anomalies and e) Therapy proposals. This research led to the conclusion that these anomalies directly interfere in the building's aesthetics and favor the building's deterioration more quickly.

Keywords: Facade, pathological manifestations; Coating.

RESUMEN

La fachada es uno de los principales sistemas de un edificio que, además de la estética, tiene como objetivo protegerlo de los elementos, aumentando su rendimiento y vida útil. A pesar de su relevancia, el revestimiento de la fachada se ha realizado sin los debidos cuidados tecnicos, generando un gran número de anomalías. El propósito de este artículo es demostrar as manifestaciones patológicas en la fachadas existentes en revestimiento cerámico y pintura sobre yeso en edificios residenciales de la ciudad de Salvador. Para ello, la metodología utilizada fue: a) Inspección in situ; b) recogida de datos, c) Ensayos no destructivos d) Catalogación de anomalías y e) Propuestas terapéuticas. Esta investigación llevó a la conclusión de cómo estas anomalías interfieren directamente en la estética del edificio y favorecen el deterioro de esta con mayor rapidez.

Palabra Clave: Fachada, pathological manifestations; Revestimiento .

2. INTRODUÇÃO

A área de revestimento externo de uma edificação, a qual chamamos Fachada, apresenta importantes funções, dentre elas a de proteger os elementos de vedação dos edifícios da ação direta dos agentes agressivos como vento, intempéries, é o isolamento termo acústico, e serve também de substrato regular para recebimento de elementos de decoração tais como cerâmicas, rocha e pintura. Além disso, os revestimentos também cumprem a função estética, contribuindo significativamente para a valorização do imóvel. (GALLETTO; ANDRELLO, 2013).

As especificações de projeto para o preparo da base que receberá os revestimentos, assim como o controle dos materiais constituintes aliada a uma mão-de-obra bem treinada, devem ser observadas e controladas para que se evite futuramente o aparecimento de fissuras ou qualquer outra manifestação patológica na fachada. (SILVA, 2005).

As ocorrências das fissuras ou trincas podem ser causadas por retração, variação de temperatura, esforços mecânicos, recalques de fundação, movimentação higroscópica, dentre outras. No que tange a esta ocorrência:

As fissuras podem ser ocasionadas pela retração da argamassa ou concreto, ausência de cura, o uso de areia inadequada ou contaminada, tempo insuficiente de hidratação da cal, falta de juntas de dilatação ou, ainda, movimentações que absorvam a deformidade da estrutura (VERÇOZA, 1991, p. 53).

As manifestações patológicas, são comumente encontradas, com maior frequência, nas fachadas das edificações. Este revestimento externo exerce a função de proteger o edifício frente a ações do ambiente, deste modo, tal aspecto deve ter suas propriedades conservadas, ou no mínimo, existir a possibilidade de substituir ou manter mais facilmente, levando em conta o desempenho da vida útil da construção (SILVA, et al., 2011).

Em Salvador, o uso indiscriminado e sem estudo de traços adequados do agregado argilo-mineral comumente chamado de Arenoso, também pode ser a causa de fissuras por retração. Afinal, a presença de finos aumenta a retenção da água, aumentando a área total de contato das partículas com a água, além de reduzir espaços internos na mistura, dificultando a remoção da água. Dessa forma, quanto maior o teor de finos, mais lenta a perda de água com o tempo, maior a reatividade da água com os componentes, e menor água disponível para evaporação, resultando na retração. (PEREIRA,2007)

Em fachadas com revestimentos cerâmicos, a patologia geralmente se manifesta como descolamento da cerâmica, e isso pode estar relacionado a execução por mão de obra não treinada/qualificada; contaminação do substrato (reboco) ou do tardo da cerâmica; infiltrações nas alvenarias; uso de materiais e ferramentas sem qualidade; falta de juntas de movimentação, dentre outros.

Em geral as causas que levam ao aparecimento de manifestações patológicas, sem sempre são de fácil determinação e podem estar relacionada a mais de um fator causal. Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar as manifestações patológicas observadas em dois edifícios do localizados no bairro de São Marcos, na cidade de Salvador- BA.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi realizado visita ao Edifício 1 e Edifício 2, ambos no Bairro de São Marcos, Salvador–BA.

A metodologia deste trabalho consistiu em:

- a. Visita técnica às duas edificações;
- b. Realização de inspeção visual e levantamento fotográfico das manifestações patológicas encontradas;
- c. Realização de termografia infravermelho (máquina FLIR C2);
- d. Análise das manifestações patológicas;
- e. Proposição de soluções terapêuticas para correção das patologias encontradas.

Na vistoria foram verificadas e levantadas todas as ocorrências de manifestações patológicas nas fachadas. Foram identificadas a tipologia da estrutura, suas características, localização em relação à incidência solar, ventos e chuvas e o tipo de acabamento.

São edifícios residenciais que apresenta padrão popular, estado de conservação classificado “entre reparos simples e importantes”, composto por pavimento térreo e 03 pavimentos superiores, executado em alvenaria estrutural com lajes em concreto armado e cobertura com telhas de fibrocimento.

Os imóveis se encontram em região predominantemente residencial de baixo padrão construtivo, próximo à Avenida São Rafael, uma das principais vias da região, onde se encontram também empreendimentos comerciais, hospital e centros empresariais.

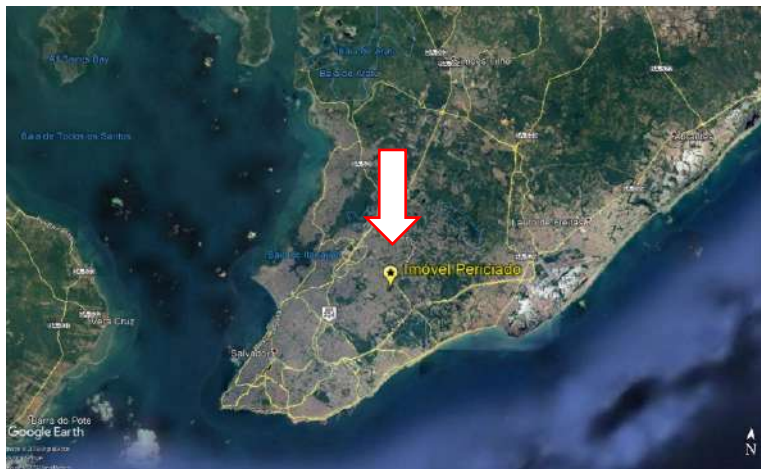
O registro fotográfico permitiu uma avaliação do estado de conservação geral de cada um dos edifícios e uma pré-análise das patologias existentes, assim como as anotações feitas em ficha de registro dos aspectos condição de vizinhança, orientação Solar, sentido das chuvas e também se foi percebido algum tipo de manutenção além da execução de revestimento cerâmico sobre área originalmente pintada.

4. ESTUDO DE CASO

Conforme anotações feitas e do levantamento das principais características das Edificações, notamos que se trata de edifícios de que foram construídos a mais de 25 anos, com finalidade residencial localizados em bairro popular de Salvador, próximo a Av. São Raphael.

3.1. Estudo de caso edificação – Situação 1

Na figura 1 está exposta a localização do Edifício 1, situado na cidade de Salvador-BA.



Fonte: Google Earth, 2019

Figura 1 - Localização do Edifício 1

O posicionamento das fachadas é de suma importância para a identificação e análise das ações advindas da natureza, entre elas estão: a orientação solar, a chuva e a incidência e pressão de ventos. Na figura 2 são apresentadas as orientações das fachadas do edifício em questão.



Figura 2. Orientação das Fachadas

Fonte: Google Earth, 2019.

3.1.1 Levantamento da Ocorrência de Patologias

As fachadas analisadas, caracterizadas como sendo leste, norte e sul, apresentam as seguintes patologias:

- a. Deslocamento do Revestimento Cerâmico; (Figura 3)
- b. Presença de Fissuras no Revestimento; (Figura 4)
- c. Reboco Pulverulento; (Figura 5)
- d. Manchas de carbonatação entre as cerâmicas. (Figura 6)



Figura 3 - Área de Deslocamento Cerâmico



Figura 4 - Área de Fissurações



Figura 5 - Reboco Pulverulento



Figura 6 - Carbonatação na área dos rejantes

3.1.2. Estado de Conservação do Edifício 1

a) Influência da condição de exposição das fachadas

Verificou-se que a Fachada Leste apresenta infiltrações ocasionadas por chuva dirigida pelo vento no sentido sudeste. A Fachada Norte apresenta um nível elevado de degradação, o que se deve ao fato de estar voltada para o sentido Noroeste, e, sofrer, portanto, a influência da

temperatura elevada gerada pela orientação solar. Verifica-se, além do descolamento e deslocamento do revestimento cerâmico, alto índice de retração do revestimento de argamassa.

A Fachada Sul, apesar de estar na zona de influência do vento sudeste, apresenta melhor estado de conservação em relação às demais, por conta da presença de árvores e coqueiros ao longo de sua extensão.

b) Condições de Vizinhança

Em três fachadas não há influência de edificações vizinhas. A fachada norte está distante aproximadamente 14,00m do edifício vizinho, que possui a mesma altura do edifício objeto da perícia. No entanto, a fachada sul possui o atenuante da presença de árvores de médio e grande porte na sua proximidade.

c) Condições de execução do sistema

I - Presença de inúmeras fissuras no reboco, por conta da retração da argamassa, provavelmente ocasionadas pela utilização de materiais argilo-minerais na sua composição;

II - Revestimento cerâmico aplicado sobre o reboco, sem a devida retirada do revestimento anterior (pintura), tendo sido este apenas apicoado precariamente, não havendo, portanto, aderência entre a argamassa colante e a argamassa de revestimento das 03 (três) fachadas analisadas;

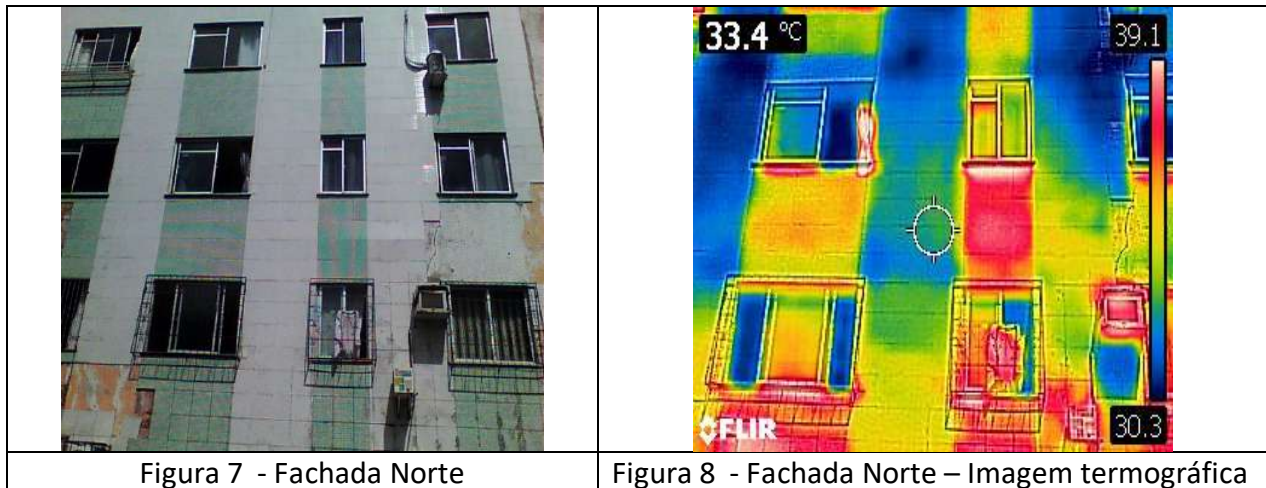
III - Falha executiva no assentamento da cerâmica, reduzindo a área de aderência da argamassa colante, visto que, verifica-se a existência dos “cordões” de argamassa no fundo das pedras;

IV - Ausência de juntas de movimentação no revestimento cerâmico, havendo o descolamento e deslocamento do revestimento em vários trechos das fachadas;

V - Sinais de Eflorescência entre as cerâmicas devido às falhas no rejuntamento, ocasionando infiltração de água das chuvas direcionadas com influência do vento sudeste, com maior incidência na Fachada Leste.

d) Influência Térmica

Os diversos elementos que compõem as construções estão expostos às variações de temperaturas sazonais e diárias que provocam movimentos de dilatação e contração que, associados às diversas restrições existentes à sua movimentação, como por exemplo a inexistência de juntas, resultam em tensões que segundo Duarte (1998), podem provocar fissuras, chamadas fissuras causadas por movimentação térmica. Como se pode notar no gradiente de temperatura variando mais de 6° C (Figuras 7 e 8).



3.2. Estudo de caso edificação – Situação 2

Na Figura 9 está exposta a localização do Edifício 2, situado no Conjunto Recanto das Ilhas na cidade de Salvador-BA.



Fonte: Google Earth, 2019

Figura 9 - Orientação das Fachadas

Trata-se de edificação com características semelhantes ao estudo do Edifício Ilha de Maracá. Estes imóveis se encontram dentro do mesmo Condomínio Conjunto Recanto das Ilhas, em região predominantemente residencial de baixo padrão construtivo, próximo à Avenida São Rafael. Estão distantes um do outro pelo menos setenta metros. Portanto com idades de construção semelhantes e patologias também.

3.2.1. Levantamento de ocorrência de patologias

As fachadas analisadas, caracterizadas como sendo leste, norte e sul, apresentam as seguintes patologias:

- Aplicação de Argamassa Colante sobre Pintura; (Figura 10)
- Fissuras; (Figura 11)
- Deslocamento do revestimento cerâmico aplicado; (Figura 12)



Figura 10 - Argamassa Colante Sobre Pintura

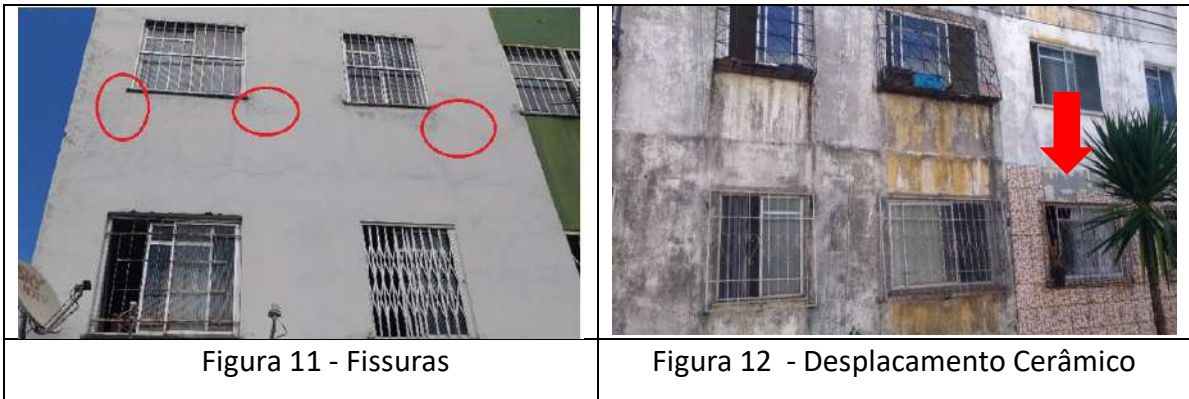


Figura 11 - Fissuras

Figura 12 - Deslocamento Cerâmico

3.3. Condições de vizinhança

A Fachada Sudoeste recebe sombreamento do prédio vizinho, bem como de árvores existentes no local, sendo, portanto, a fachada mais úmida, pois junto com a fachada nordeste são as que recebem maior incidência das chuvas.

3.4. Condições de execução do sistema

- a. Presença de inúmeras fissuras no reboco, por conta da retração da argamassa, provavelmente ocasionadas pela utilização de materiais argilo-minerais na sua composição;
- b. Revestimento cerâmico aplicado sobre o reboco, sem a devida retirada do revestimento anterior (pintura), tendo sido este apenas apicoado precariamente, não havendo, portanto, aderência entre a argamassa colante e a argamassa de revestimento onde foi aplicada a cerâmica;
- c. Falha executiva no assentamento na Fixação de Grades de Proteção e Aparelhos de Ar Condicionado, facilitando infiltrações, além de fissuras devido a ausência de vergas. (Figura 13).



Figura 13. Grades e Ar Condicionado nas Fachadas

3.5. Influência Térmica

A Fachada Noroeste é a que mais recebe a incidência dos raios solares e, portanto, encontra-se com a sua pintura desgastada e mais esmaecida que as demais.

3.6. Avaliação dos edifícios quanto a altitude, ventos, agressividade e distância das bordas marítimas na cidade de salvador

Ambos os prédios estão no mesmo Bairro e dentro do mesmo condomínio, portanto os índices apurados servem para relativizar os dois estudos de caso. Nos mapas apresentados a seguir teremos as seguintes informações:

3.6.1. Altitude



Fonte: Topographic-map, 2018

Figura 14 - Mapa topografico de Salvador

Com base no Mapa Topográfico de Salvador, verifica-se que o Edifício em questão se encontra em região à aproximadamente entre 63m e 65 m de altitude. À Oeste, entre a Orla da Baía de Todos os Santos e o edifício, tem-se uma topografia com níveis mais elevados, chegando à cerca de 109m de altitude, o que cria uma espécie de barreira física para os ventos advindos dessa Orla. No entanto, verifica-se que os ventos chegam da predominantemente Orla Atlântica.

3.6.2 Incidência de Ventos

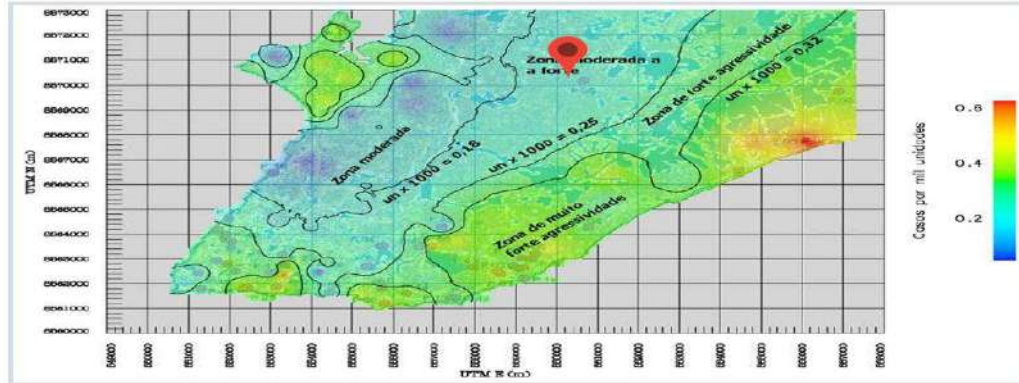


Fonte: Topographic-map, 2018

Figura 15 - Mapa de Incidência de Ventos de Salvador

Com base no Mapa de Incidência dos Ventos de Salvador, verifica-se que os ventos predominantes advindos da Orla Atlântica são os Ventos Sudestes.

3.6.3 – Agressividade

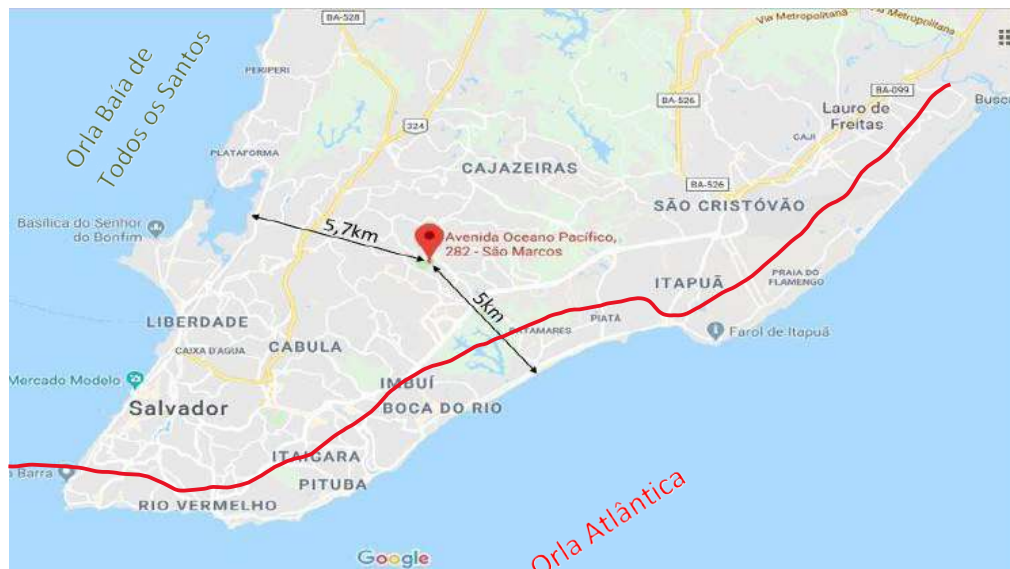


Fonte: Topographic-map, 2018.

Figura 16 - Mapa de Agressividade de Salvador

Segundo o Mapa de Agressividade, verifica-se que os edificios estão localizados na Zona Moderada a Forte.

3.6.4 - Distância das Bordas Marítimas de Salvador



Fonte: Topographic-map, 2018

Figura 17 – Mapa das Bordas Marítimas de Salvador

Ambas localizadas no Bairro São Marcos – Salvador/BA, essas edificações encontram-se à aproximadamente 5,0 km de distância da Orla Atlântica e à aproximadamente 5,7 km de distância da Orla da Baía de Todos os Santos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Presença de inúmeras fissuras no reboco, por conta da retração da argamassa, provavelmente ocasionadas pela utilização de materiais argilo-minerais na sua composição.

Revestimento cerâmico aplicado sobre o reboco, sem a devida retirada do revestimento anterior (pintura), tendo sido este apenas apicoado precariamente, não obtendo, portanto a ponte de aderência necessária para a resistência e durabilidade esperadas.

Falha executiva no assentamento da cerâmica, por mão de obra não treinada e uso incorreto dos das argamassas colantes, reduzindo a sua área de aderência, junto com a ausência de juntas de movimentação no revestimento cerâmico, contribuíram para o deslocamento do revestimento em vários trechos das fachadas.

Manchas de carbonatação entre as cerâmicas devido às falhas no rejuntamento, ocasionando infiltração de água das chuvas direcionadas, associado a adoção de cerâmica com tonalidades diferentes, uma mais clara que a outra, gerando uma diferença de temperatura de mais de 6° graus Celsius, conforme pode-se verificar nas imagens térmicas, pode ter contribuído para o aparecimento das patologias apontadas.

Deve-se relatar também a falha no uso das edificações, tais como, instalações de aparelhos de ar condicionado e gradis em janelas, de maneira a deixar drenos e furos na fachada, o que facilita as infiltrações de água decorrentes das chuvas.

Essas fachadas necessitam de reparos importantes por conta de suas patologias, ocasionadas pelas ações dos ventos, chuvas e incidência solar, bem como pela falta de manutenção adequada e mau uso, citados anteriormente.

Para a repintura das fachadas, para os trechos revestidos em argamassa, recomenda-se nas fachadas que apresentam maiores deteriorações, o uso de impermeabilizante acrílico sobre a fachada, formando nesta região uma proteção a mais que aumentará a vida útil. De modo geral, devem-se recuperar os trechos com reboco desgastados, assim como todos os pontos possíveis de infiltração provocados pela instalação inadequada de grades, antenas e Aparelhos de Ar condicionado. Após a cura total dessas argamassas, por cerca de 30 dias, aplicar fundo preparador acrílico e depois repintar com tinta a base acrílica.

Para a recuperação da área de revestimento cerâmico, recomenda-se a retirada de todo revestimento existente, assim como a pintura remanescente; tratamento das fissuras; regularização do reboco com a utilização de aditivos que possam melhorar sua aderência; e posterior assentamento da cerâmica com a devida junta de movimentação de acordo com a Normas Técnicas Brasileiras.

6. CONCLUSÕES

Conforme levantamento efetuado, são inúmeras as manifestações patológicas existentes nas edificações, mostrando uma combinação de situações que geraram desde fissurações a deslocamento de revestimento cerâmico. Denota-se que a maior parte das manifestações patológicas das fachadas é originada, principalmente, de imperícias, uso de materiais não controlados e falta de manutenção adequada.

O sistema de revestimento externo das edificações estudadas encontra-se em avançado estado de deterioração, decorrente da falta de projeto, da inexistência de plano de manutenção preventiva, agravado pelo decurso de tempo e pelo uso normal da edificação.

De uma forma geral este trabalho apresentou uma avaliação sobre manifestações patológicas em revestimento de fachadas (argamassa, pintura e cerâmica) e a importância de se conhecer as causas e dessa forma evitar futuras patologias nas fachadas.

Com isso, fica claro a importância da contratação de um bom projeto de fachadas, a correta especificação e aplicação dos materiais, uma mão de obra treinada, em observância as Normas Técnicas e manutenções adequadas e periódicas, visando a maior durabilidade das fachadas.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). NBR 14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR 13755: *Revestimentos de paredes externas e fachadas em com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento*. Rio de Janeiro.

CINCOTTO, M.A.(1989). *“Patologias das argamassas de revestimento”*. Publicação IPT/SP 1801. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, São Paulo, Brasil. p.13p

DUARTE, R. B. (1998). *Fissuras em Alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação*. Publicação CIENTEC – Boletim Técnico 25. Fundação de Ciência e Tecnologia, Porto Alegre: RS , Brasil.

FAGUNDES NETO, J. C. P. (2008). *Pericias de Fachadas em Edificações – Pintura*. Editora LEUD, São Paulo: SP, Brasil, p. 216

GALLETO, A.; ANDRELLO, J. M. (2013). *Patologia em Fachadas com Revestimento Cerâmicos*. In: IX Congresso Internacional sobre Patologia y Recuperacion de Estructuras - Cinpar. João Pessoa, Paraíba, Brasil.

PEREIRA, C. H. D. A. F. (2007). *Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa*. Brasília-DF, Brasil.

SILVA, A.; BRITO, J. de; GASPAR, P. L. (2011). *Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the substrate)*. Construction and Building Materials. Elsevier. 25 (9): 3674-3684. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.064>.

UEMOTO, K.L. (1988). *A pintura na manutenção de edifícios*. in: Tecnologia das edificações, Editora Pini, São Paulo: SP, Brasil. p.615-618.

UEMOTO, K.L. (1998). *Problemas de pintura na construção civil*. in: Tecnologia das edificações, Editora Pini, São Paulo: SP, Brasil, p.589- 592.

UEMOTO, K.L; AGOPYAN, V. (1997). *Durabilidade de revestimentos à base de polímeros*. in Workshop – Durabilidade nas Construções - UNISINOS. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil. p. 55-63.

VERÇOZA, E. J. (1991). *Patologia das Edificações*. Editora Sagra, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Manifestações patológicas em Obras de Arte Especiais e técnicas avançadas de monitoramento

A. G. Quintino^{1*}, J. F. M. Paixão¹

*Autor de Contato: aleff.quintino@univale.br

¹ Universidade Vale do Rio Doce - UNIVALE, Governador Valadares - MG, Brasil

RESUMO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) desempenham um papel importantíssimo para o desenvolvimento socioeconômico brasileiro, sendo imprescindíveis para o fluxo viário. Portanto, tais obras de infraestrutura merecem atenção especial, no que diz respeito as condições de segurança, funcionalidade e durabilidade estrutural. Este trabalho tem como objetivo identificar algumas manifestações patológicas em OAEs, apresentando técnicas avançadas de monitoramento. O presente estudo embasou-se numa abordagem qualiquantitativa, utilizando como fonte de pesquisa bibliográfica: artigos, livros, manuais, monografias, dissertações, teses e normas técnicas. Verificou-se que inúmeras OAEs brasileiras necessitam de algum serviço de manutenção, recuperação e reforço estrutural. Contatou-se que os métodos de monitoramento são essenciais para a inspeção das OAEs, sendo eficientes na detecção precoce de anomalias estruturais.

Palavras-chave: manifestações patológicas; obras de arte especiais; monitoramento; estrutura; ensaios.

Pathological manifestations in Special Works of Art and advanced monitoring techniques

ABSTRACT

Special Works of Art (OAEs) play an extremely important role in the Brazilian socioeconomic development, being essential for the flow of roads. Therefore, such infrastructure works deserve special attention, with regard to safety, functionality and structural durability conditions. This work aims to identify some pathological manifestations in OAEs, presenting advanced monitoring techniques. The present study was based on a qualitative and quantitative approach, using as a source of bibliographical research: articles, books, manuals, monographs, dissertations, theses and technical standards. It was found that many Brazilian OAEs need some maintenance, recovery and structural reinforcement service. It was noted that monitoring methods are essential for the inspection of OAEs, being efficient in the early detection of structural anomalies.

Keywords: pathological manifestations; special works of art; monitoring; structure; essay.

Manifestaciones patológicas en Obras de Arte Especiales y técnicas avanzadas de seguimiento

RESUMEN

Las Obras de Arte Especiales (OAEs) juegan un papel muy importante en el desarrollo socioeconómico brasileño, siendo esencial para el flujo de carreteras. Por tanto, tales obras de infraestructura merecen una atención especial, en cuanto a las condiciones de seguridad, funcionalidad y durabilidad estructural. Este trabajo tiene como objetivo identificar algunas manifestaciones patológicas en las OAEs, presentando técnicas de seguimiento avanzadas. El presente estudio se basó en un enfoque cualitativo y cuantitativo, utilizando como fuente de investigación bibliográfica: artículos, libros, manuales, monografías, disertaciones, tesis y estándares técnicos. Se encontró que muchos OAEs brasileños necesitan algún servicio de mantenimiento, recuperación y refuerzo estructural. Se señaló que los métodos de monitoreo son fundamentales para la inspección de OAEs, siendo eficientes en la detección temprana de anomalías estructurales.

Palabras clave: manifestaciones patológicas; obras de arte especiales; vigilancia; estructura; ensayo.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Ferreira (2018), pontes, viadutos e túneis são denominadas Obras de Arte Especiais (OAEs), pelo fato de serem construções dotadas de características estruturais e funcionais específicas que requerem consideráveis habilidades técnicas e criativas durante as fases de projeto, execução e manutenção.

As pontes têm como função “a transposição de obstáculos à continuidade do leito normal da via”, tais como cursos de água; já viadutos “têm por objetivo a transposição de vales e outras vias” (PFEIL, 1983).

Em geral as OAEs são caracterizadas como obras que recebem maiores solicitações de cargas, com funcionalidades, forma, materiais e distribuição de esforços que diferem das obras comuns de engenharia. Contudo, exige dos profissionais uma qualificação específica para a sua participação em projetos, uma vez que as OAEs são tratadas como casos singulares no âmbito da engenharia de infraestrutura (COSTA, 2016).

Para Oliveira (1999) as pontes e viadutos são elementos de suma importância para o transporte de cargas rodoviárias, sendo imprescindíveis para o escoamento da produção no Brasil, pois são responsáveis por fazerem a ligação nos pontos críticos das estradas, garantindo uma trajetória de continuidade. Desta forma, o número de pontes e viadutos no país é grande devido aos investimentos financeiros internacionais no setor da construção e a ampliação das rodovias brasileiras durante a década de 70, tornando estas obras essenciais para o fluxo viário e cadeia produtiva. De acordo com levantamentos do DNIT (2017), o Brasil possui 8.336 OAEs, sendo que 68,47% enquadram-se como pontes e 19,00% como viadutos.

Entretanto, é notório que a qualidade e preocupação com as obras públicas não acompanharam os avanços tecnológicos, fazendo com que as OAEs operem com a capacidade limite de estabilidade e segurança, desencadeando em graves patologias com o passar dos anos. (PAIXÃO *et al.*, 2020). O uso contínuo das OAEs atrelado com a falta de programas preventivos de manutenção, aceleram o processo de desgaste e deterioração, provocando a ação de diversas manifestações patológicas e danos estruturais.

Segundo Ferreira (2018) a vida útil das OAEs depende diretamente da condição de uso e da preservação da estrutura. Desta forma, um dos métodos para garantir a integridade estrutural das OAEs é a utilização de técnicas de monitoramento, que se utilizadas adequadamente, minimizam o tempo de paralisação da estrutura, refletindo em economia de recursos e esforços. O monitoramento pode ser realizado através de diversas técnicas de inspeção que podem ser integradas em um sistema automatizado, de modo a concentrar as informações em um único local. Em vista disso, “a detecção precisa e o controle das patologias que afetam as estruturas em questão demandam de determinados procedimentos de inspeção e avaliação que dependerão do tipo e porte da construção.” (LOURENÇO *et al.*, 2009). Neste contexto, surgem metodologias práticas de inspeção na identificação de anomalias e na recuperação estrutural, indispensáveis para um processo de avaliação estrutural.

A fim de proporcionar mais agilidade e economia nos processos de análise e monitoramento das OAEs, cada vez mais tem se buscado a utilização de ferramentas mais sofisticadas capazes de fornecer suporte e parâmetros técnicos sobre o processo em geral e seus pontos críticos, proporcionando análises mais aprofundadas, de modo que seja possível prever problemas estruturais futuros e gerenciar, através de indicadores, o desenvolvimento atual do processo (FERREIRA, 2018).

A presença de manifestações patológicas e a carência do uso técnicas voltadas à manutenção preditiva das obras de infraestrutura no Brasil, especialmente as obras de arte especiais, torna-se imprescindível a realização de inspeções que permitem a obtenção de informações importantes acerca das condições de segurança, utilização, funcionalidade e durabilidade dessas obras. Portanto, visando preencher esta lacuna este trabalho tem como objetivo identificar algumas manifestações patológicas em obras de arte especiais, apresentando técnicas avançadas de monitoramento. Em âmbito específico, buscou-se: avaliar a condição estrutural de algumas OAEs brasileiras; analisar possíveis causas de manifestações patológicas; destacar a importância de

métodos não destrutivos no monitoramento de OAEs; apresentar exemplos de problemas patológicos.

2. METODOLOGIA

O método escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi a pesquisa bibliográfica, seguido da leitura crítica ou reflexiva, buscando analisar possíveis manifestações patológicas em obras de arte especiais e suas respectivas técnicas de monitoramento (MARCONI; LAKATOS, 2010). Esta pesquisa tem como natureza qualiquantitativa, com o foco de descrever e mensurar a situação dos problemas patológicos nas OAEs brasileiras, destacando as suas possíveis causas e efeitos, enfatizando alguns métodos de inspeção. Para Martins e Theóphilo (2016), “combinar métodos quantitativos e qualitativos proporciona uma base contextual mais rica para a interpretação dos resultados”.

Desta forma, a construção do texto seguiu as seguintes etapas: escolha do eixo temático; escolha do tema; elaboração do plano de trabalho; pesquisa bibliográfica em artigos, livros, manuais, monografias, dissertações, teses e normas técnicas; seleção e leitura; análise e interpretação das informações; síntese e redação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise de manifestações patológicas em OAEs

De acordo com Lourenço (2007), as patologias verificadas em pontes e viadutos apresentam natureza diversificada, e quando não tratadas corretamente, comprometem o desempenho e a funcionalidade da estrutura. Sendo que uma das possíveis explicações para o aparecimento de patologias em uma estrutura está relacionada com a ocorrência de falhas e incorreções durante as etapas de construção.

Diante desse contexto, inúmeros autores têm buscado elaborar estatísticas como forma de quantificar as causas geradoras das manifestações patológicas. Com base nos estudos de Souza (1991), a presença de patologias em construções no Brasil está ligada a possíveis falhas durante a fase de execução da estrutura, conforme mostra a Figura 1.

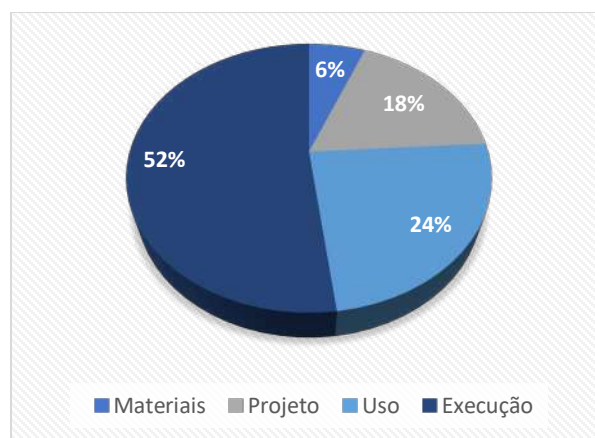


Figura 1. Distribuição percentual de falhas patogênicas nas etapas de construção no Brasil.

Fonte: Adaptado de Souza (1991)

Para Lourenço *et al.* (2009) outro motivo responsável pela geração de manifestações patológicas em uma estrutura é a ocorrência de catástrofes naturais, pois exige uma capacidade resistente

significativamente alta, a qual normalmente não é atendida pela construção. Entretanto, percebe-se uma maior suscetibilidade de ocorrência de patologias características nestas obras, tendo em vista que a tendência natural de deterioração atrelada com a falta de um processo eficiente de manutenção acelera o surgimento dos problemas patológicos.

É importante destacar que as normas brasileiras mais antigas não previam os carregamentos nem a intensidade de tráfego atualmente existentes nas rodovias e centros urbanos do País, contribuindo para os problemas patológicos existentes (SILVA; MONTEIRO; VITÓRIO, 2018).

De acordo com o estudo de Silva *et al.* (2014) em pontes com vão em até 60 metros, as cargas atuantes podem apresentar aumento de até 62,5%, com base na norma vigente ABNT NBR 7188:2013 quando comparado com a norma antiga ABNT NBR 7188:1982, considerando o trem tipo de 36 toneladas. Isso evidencia o fato de que as cargas móveis nas OAEs brasileiras estão aumentando ao longo dos anos em função do aumento do fluxo viário, capacidade de carga e peso dos veículos. Isso explica a causa de possíveis patologias existentes nas OAEs atualmente.

Dentre os danos estruturais existentes em 100 pontes brasileiras, de acordo com o estudo de Vitório e Barros (2013), os cinco principais problemas patológicos encontrados são: infiltrações e eflorescências; deslocamento de concreto no tabuleiro; juntas de dilatação deficientes; armações expostas e oxidadas no tabuleiro; erosão nas fundações. Considerando as condições de estabilidade estrutural, 24 não apresentam problemas importantes, 38 estão potencialmente problemáticas, 35 em estado sofrível e 3 em situação precária ou crítica. Portanto, verifica-se que cerca de 76% destas obras necessitam de possíveis serviços de manutenção, recuperação e reforço estrutural.

Com base no estudo de Mascarenhas, Carvalho e Vitório (2019) das OAEs brasileiras que possuem informações acerca do tipo de estrutura na base de dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), 77,48% delas são construídas em concreto armado, 14,76% em concreto protendido, 1,12% em aço, 2,36% em estrutura mista e 4,27% em madeira. Desta forma, entende-se que as pontes em concreto armado são as que representam o maior percentual com relação a necessidade de intervenção estrutural.

3.1.1. Corrosão

A corrosão é frequentemente relacionada à presença de teores críticos de íons de cloreto no concreto ou no abaixamento do seu pH devido às reações com compostos presentes no ar atmosférico, especialmente o dióxido de carbono (ARAÚJO, 2013).

De acordo com Costa (2016) possíveis falhas de concretagem ou cobrimento insuficiente facilitam o acúmulo de umidade nas peças de concreto armado, provocando conseqüentemente a corrosão das armaduras e comprometendo a resistência do aço. O contato direto e contínuo da umidade com a armadura resulta no aumento de volume, que por sua vez provoca a expansão do concreto e posteriormente o surgimento de fissuras e trincas, aumentando a exposição do aço a agentes agressivos e acelerando o processo de corrosão, podendo levar a estrutura ao colapso. As Figuras 2 e 3 apresentam a corrosão dos elementos da superestrutura de uma ponte metálica e das armaduras de um pilar em concreto armado, respectivamente.



Figura 2. Corrosão da superestrutura da ponte. Figura 3. Corrosão das armaduras do pilar.
 Fonte: Lourenço *et al.* (2009, p.28) Fonte: Santos e Silva (2017, p.54)

3.1.2. Manchas

A exposição dos elementos estruturais à umidade tem como consequência o aparecimento de manchas características, principalmente em áreas externas e em peças que não possuem impermeabilização. Pode surgir também pela incidência de chuvas, vazamentos nas instalações hidráulicas ou de drenagem e entre outras possibilidades. O concreto não é impermeável, sendo assim quanto mais poroso estiver, mais facilmente ocorrerá infiltrações (WINKEL, 2019). A Figura 4 mostra a presença de manchas em elementos estruturais.



Figura 4. Manchas em elementos estruturais.
 Fonte: Costa (2016, p.30 e 46)

3.1.3. Eflorescências

São formações de sais que aparecem sob aspecto de manchas esbranquiçadas na superfície do concreto. Segundo Souza (2008) a eflorescência é originada por três fatores que devem agir em conjunto. Sendo eles: o teor de sais solúveis presentes nos materiais, a presença de água ou umidade e a pressão hidrostática para proporcionar a migração da solução para a superfície. A Figura 5 apresenta situações com formação de eflorescência em estrutura de pontes.



Figura 5. Eflorescência em elementos estruturais.

Fonte: Costa (2016, p.35 e 47)

3.1.4. Fissuração

É um fenômeno bastante comum em obras de concreto armado. No entanto, a sua presença é inevitável, devido à presença de tensões de tração, o qual o concreto possui baixíssima resistência. De acordo com Curcio (2008), as fissuras são consideradas um problema patológico quando ultrapassam os limites normativos ou quando sua origem se dá a partir de outras causas que não seja o funcionamento estrutural da peça. Em pontes e viadutos a sua origem também está relacionada a uma distribuição irregular interna de tensões, ocasionadas pelas cargas móveis (SILVA *et al.*, 2018). A Figura 6 apresenta exemplos de fissuras em elementos estruturais em concreto armado.



Figura 6. Fissuras em elementos estruturais.

Fonte: Costa (2016, p.36 e 41)

3.1.5. Carbonatação

A carbonatação é inerente da ação do gás carbônico presente na atmosfera que penetra pelos poros do concreto e reage com os seus constituintes alcalinos. Reduz o pH do concreto e provoca a despassivação das armaduras, deixando-a suscetível à corrosão. Segundo Silva *et al.* (2018) a carbonatação ocorre mais rapidamente em pontes, viadutos e edifícios situados em grandes centros urbanos, devido à forte presença de gás carbônico nesses locais. Sendo que a velocidade de carbonatação depende diretamente da permeabilidade e da fissuração da peça (SOUZA; RIPPER,

1998). A Figura 7 exemplifica o efeito da carbonatação no tabuleiro de uma ponte em concreto armado.



Figura 7. Carbonatação no tabuleiro.
Fonte: Costa (2016, p.42)

3.1.6. Deterioração do concreto

É caracterizada pela desintegração do concreto, devido a perda do poder aglomerante do cimento, deixando os agregados soltos pela perda da função da pasta de cimento. O concreto é composto basicamente de cimento, agregados graúdos e miúdos, e água. A qualidade do concreto está condicionada as características desses constituintes, exigindo um controle nas fases de concretagem, além de uma boa definição do traço (GRANATO, 2002).

Conforme Souza e Ripper (1998) a qualidade dos materiais que compõe o concreto, e conseqüentemente a sua durabilidade dependem principalmente das condições patológicas da estrutura. Desta forma, é essencial ter o controle da porosidade do concreto de modo a deixá-lo menos poroso e permissivo ao transporte de agentes agressivos, que por sua vez aceleram seu processo de degradação. A Figura 8 mostra a deterioração da proteção contra embarcações do bloco de concreto.



Figura 8. Deterioração da proteção do bloco de concreto.
Fonte: Santos e Silva (2017, p.51)

3.2. Métodos não destrutivos de monitoramento em OAEs

De acordo com Abraham (2011) os ensaios não destrutivos (ENDs) são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los. São caracterizados por não alterar a forma e as propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais dos materiais ou equipamentos, contribuindo para a qualidade de bens e serviços, redução de custo e confiabilidade dos processos. Os ENDs são amplamente aplicados nos setores siderúrgico, ferroviário, naval, aeroespacial, petroquímico, construtivo, automotivo e entre outros.

3.2.1. *Ensaio por inspeção visual*

É uma técnica simples para detectar falhas na superfície, distorções na estrutura, grau de acabamento e o formato de uma peça. Segundo Ferreira (2018) a inspeção visual é o primeiro ensaio não destrutivo aplicado em qualquer peça ou componente, estando frequentemente ligado a outros tipos de ensaios. A inspeção visual visa identificar possíveis manifestações patológicas, avaliar os danos e realizar melhorias no projeto a fim de aumentar a vida útil das OAEs inspecionadas (PIERI *et al.*, 2018).

Segundo Abendi (2011), por meio do uso de tecnologia avançada, a inspeção visual é uma importante ferramenta na verificação de alterações dimensionais, descontinuidades superficiais, como trincas, corrosão, deformação, cavidades e porosidade.

Diante dos avanços tecnológicos, atualmente emprega o uso de drones para a execução da inspeção visual. O uso de drones diminui significativamente o tempo de inspeção, além de facilitar a vistoria em locais de difícil acesso como pontes, usinas e barragens, através de imagens e vídeos em alta qualidade de resolução, sem colocar em riscos pessoas e operadores (ABENDI, 2011). A Figura 9 apresenta o uso de drone em serviços de inspeção visual.



Figura 9. Utilização de drone em inspeção visual.
Fonte: Aero Engenharia (2017)

3.2.2. *Ensaio por termografia*

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva que permite o acompanhamento da temperatura e a formação de imagens térmicas, podendo ser utilizada no diagnóstico precoce de falhas e entre outros problemas em componentes elétricos, mecânicos e em processos produtivos. Através do monitoramento por temperatura é possível detectar possível falha do material ou componente (FERREIRA, 2018). Segundo Abendi (2011) a inspeção por termografia faz uso de sistemas infravermelhos, cuja função é medir a temperatura e observar os padrões diferenciais de distribuição de calor.

A termografia é realizada com os equipamentos e sistemas em funcionamento, onde a distribuição de temperaturas em uma dada superfície é dada a partir de uma imagem térmica, que através de uma câmera é capaz de detectar radiações eletromagnéticas na faixa do infravermelho

(FERREIRA, 2018). A Figura 10 mostra a aplicação de ensaio termográfico na inspeção de pontes em concreto.

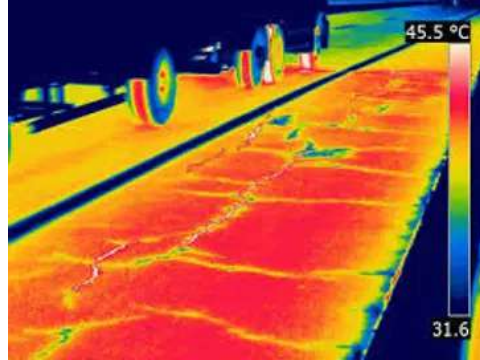


Figura 10. Termografia em ponte de concreto.
Fonte: Muniz (2020)

3.2.3. Ensaio por vibrações

As vibrações de uma estrutura podem ser avaliadas por meio de ensaios de carga, sendo uma maneira de conhecer o seu comportamento, tanto na satisfação dos requisitos de utilização quanto em relação à sua capacidade resistente. Os ensaios de carga estão divididos em ensaios estáticos e dinâmicos (SANTOS, 2014).

De acordo com Ryall (2010) os ensaios de carga estáticos podem ser divididos em três tipos de acordo com os objetivos e nível de carregamento envolvido. Sendo eles: ensaios à rotura, provas de carga e ensaios de diagnóstico. Através destes ensaios é possível: explorar toda a capacidade resistente da obra, determinar a carga máxima que a ponte pode suportar compatível com o seu funcionamento em regime linear, caracterizar o comportamento elástico e determinar linhas de influência experimentais. Desta forma, é possível aprofundar o conhecimento do comportamento estrutural da obra, com maior utilidade no âmbito da avaliação da segurança e da elaboração de um projeto de reabilitação, ou até mesmo na verificação da eficácia da reabilitação efetuada. (SANTOS, 2014).

Os ensaios dinâmicos também estão divididos em três tipos: ensaios de vibração forçada, ensaios de vibração ambiente e ensaios de vibração em regime livre (BOTSARIS, 2007). Segundo Santos (2014), “a realização de ensaios dinâmicos permite a determinação experimental das características dinâmicas de uma estrutura, designadamente, frequências e configurações dos principais modos de vibração, bem como coeficientes de amortecimento”. Na Figura 11 têm-se a aplicação do ensaio por vibração ambiente em ponte suspensa.



Figura 11. Ensaio de vibração ambiente em ponte suspensa.
Fonte: IIS Engineering (2018)

3.2.4. *Ensaio por ultrassom*

A técnica de ensaio por ultrassom é empregada na detecção de descontinuidades internas em materiais, baseando-se no fenômeno de reflexão da onda, que ao incidir na descontinuidade durante a sua propagação dentro do material gera um sinal elétrico que é processado e mostrado na tela do aparelho de análise. As ondas utilizadas no ensaio utilizam frequências de ordem de 0,5 MHz a 25 MHz que são produzidas através de um transdutor.

Geralmente, as dimensões reais de um defeito interno podem ser estimadas com razoável precisão, de modo que possa ser analisado se a peça ou componente em estudo atende os critérios normativos, podendo assim aceitá-los ou não. O ultrassom também pode ser utilizado para medir espessura e determinar corrosão com extrema facilidade e precisão, podendo ser empregado em análises de materiais ferrosos e não ferrosos (FERREIRA, 2018). Na Figura 12 é possível observar a execução do ensaio por ultrassom na inspeção de trilho ferroviário.



Figura 12. Inspeção por ultrassom em trilho ferroviário.
Fonte: Olympus Corporation (2020)

3.2.5. *Ensaio por partículas magnéticas*

Neste tipo de ensaio não destrutivo é observado o comportamento do campo magnético dos materiais ferromagnéticos que, pela configuração das partículas, é possível identificar características dos materiais e a possibilidade de determinação de falhas superficialmente e sub superficialmente. As linhas magnéticas do fluxo induzido no material desviam-se ao encontrar uma descontinuidade (VIANA, 2018). A Figura 13 apresenta a realização de ensaio por partículas magnéticas na inspeção de perfil metálico.



Figura 13. Inspeção por partículas magnéticas.
Fonte: Domson Engineering and Inspection (2017)

3.2.6. *Ensaio por líquido penetrante*

Este ensaio tem como objetivo detectar possíveis falhas nas conexões soldadas da estrutura, baseando-se na aplicação de uma camada de líquido penetrante na superfície a ser ensaiada, que por meio de um revelador é possível identificar a região em que há penetração de líquido, indicando a presença de trincas, poros, buracos e falhas na estrutura (PIERI *et al.*, 2018). Na Figura 14 é possível observar o líquido penetrante de cor rosada aplicado previamente, seguido do revelador de cor esbranquiçada sobreposto.



Figura 14. Ensaio por líquido penetrante em perfil de aço soldado.

Fonte: Pieri *et al.* (2018, p.5)

3.2.7. *Ensaio por radiografia*

É um tipo de ensaio não destrutivo, baseando-se na absorção diferenciada da radiação penetrante na peça inspecionada. Em função das diferenças de densidade, variações na espessura e na composição do material, diferentes regiões de uma peça absorvem quantidades diferentes da radiação penetrante. Essa absorção diferenciada da radiação pode ser detectada por meio de um filme, tubo de imagem ou detectores eletrônicos. A variação de quantidade de radiação absorvida indica a existência de uma falha interna ou descontinuidade no material, sendo capaz de detectar com boa sensibilidade defeitos volumétricos. São amplamente utilizados na inspeção de soldas, materiais fundidos e forjados (ABENDI, 2014). A Figura 15 apresenta as características internas de uma tubulação metálica após passar por ensaio radiográfico.

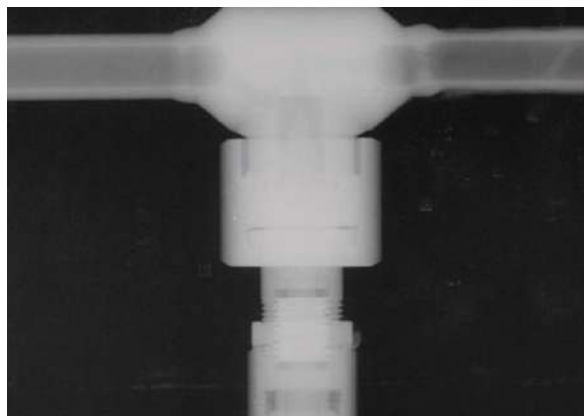


Figura 15. Ensaio por radiografia em tubulação metálica.

Fonte: Applus (2019)

4. CONCLUSÕES

O envelhecimento natural de uma obra de grande porte sem os devidos serviços de manutenção e inspeção é muito preocupante e impacta diretamente o bom desempenho e funcionamento da estrutura ao longo de sua vida útil. O crescimento do fluxo de veículos pesados nas rodovias nos últimos anos também é responsável pela presença de manifestações patológicas e danos estruturais existentes, sendo que tais patologias também estão associadas a tendência natural de deterioração da estrutura.

Verificou-se que inúmeras OAEs brasileiras necessitam de algum serviço de manutenção, recuperação e até mesmo reforço estrutural. Dentre os sistemas estruturais existentes, cabe destacar um maior percentual de OAEs em concreto armado, visto que tal sistema apresenta custos mais baixos de execução atrelado ao aspecto cultural do país.

Constatou-se que os métodos não destrutivos são essenciais para a inspeção das OAEs, sendo eficientes na detecção de falhas estruturais externas e internas, os quais são capazes de predizer a condição estrutural dos elementos, sendo possível a detecção precoce das anomalias. Portanto, um sistema de monitoramento visa garantir a segurança, a integridade e a durabilidade da estrutura, contribuindo na otimização de sua gestão ao longo da vida útil.

Cabe destacar que um sistema de gestão e gerenciamento das OAEs brasileiras é de suma importância, de modo a permitir o cadastro das obras, inspeções rotineiras, técnicas avançadas de monitoramento e a definição das prioridades de intervenção. Sendo que os recursos financeiros devem ser assegurados para viabilizar as ações de conservação das OAEs antes que os danos se propaguem e se tornem irreversíveis, como acontece atualmente.

5. REFERÊNCIAS

- AERO Engenharia, 2017. **Inspeção de estruturas com drones**. Disponível em: <<https://www.aerodronebrasil.com/inspecao-de-estruturas/>>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- APPLUS, 2019. Radiographic Testing, 2019. Disponível em: <[https://www.applus.com/global/en/what-we-do/service-sheet/radiographic-testing-\(rt\)](https://www.applus.com/global/en/what-we-do/service-sheet/radiographic-testing-(rt))>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- ARAÚJO, A. *et al.*, **Monitoramento da corrosão em estruturas de concreto**: sensor de umidade, de taxa de corrosão e de fibra óptica. São Paulo: Técnica 195, p.62-72 2013.
- ABENDI – Associação Brasileira de Ensaio Não destrutivos e Inspeção, 2011. **Técnicas e Ferramentas para Ensaio Não Destrutivos**, São Paulo SP.
- ABENDI – Associação Brasileira de Ensaio Não destrutivos e Inspeção, 2014. **Radiologia Industrial**. Disponível em: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- ABRAMAM, 2011 DOCUMENTO NACIONAL: **A Situação da Manutenção do Brasil**. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Manutenção.
- BOTSARIS, P.N. - “**A preliminary estimation of analysis methods of vibration signals at fault diagnosis in ball bearings**”; 4th International Conference on NDT – Estados Unidos, 2007.
- COSTA, Hugo Oliveira. **Avaliação de patologias em obras de arte especiais utilizando a metodologia GNE/UNB**. Trabalho de Conclusão de Curso, UniCEUB– Centro Universitário de Brasília, 2016.

- C. J. G. Silva, E. C. Barreto Monteiro, J. P. A. Vitória (2018), “*Condições estruturais e funcionais de pontes e viadutos das rodovias federais de Pernambuco*”, Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 79 – 93, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.199>
- CURCIO, Ronald Christian de Lima. *PONTES RODOVIÁRIAS: Levantamento das principais patologias estruturais*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Ibatiba, 2008. Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1271.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Base de Dados das OAE – BDOAE**. 2017. Disponível em: <http://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/gkQB3SNPH7cwF5F>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- DOMSON Engineering and Inspection Ltd, 2017. Steel Bridge Structure Inspections. Disponível em: <https://domson.ca/applications/steel-bridge-inspection/>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- FERREIRA, João Vitor de Souza. **Inspeção e monitoramento de obras de arte especiais com vista a manutenção preditiva**. 2018. 117 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- GRANATO, José Eduardo. **Patologia das construções**. 2002.
- IIS Engineering, 2018. Ambient Vibration Study of Suspension Bridge. Disponível em: <https://www.iisengineering.com/projects/ambient-vibration-study-of-suspension-bridge/>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- Lourenço, L. C. **Análise da corrosão em estruturas de pontes metálicas e de concreto armado**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, UFF, Niterói, 2007.
- LOURENÇO, Líbia C *et al.* **Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais**. Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Niterói/RJ, 2009.
- LOURENÇO, L. C.; LOURENÇO, M. V. C.; MENDES, L.C. **Verificação da corrosão e de outras patologias em pontes metálicas**. 2009.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da metodologia científica**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MARTINS, G. de A.; THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- Mascarenhas, F. J. R., Carvalho, R. C., Vitória, J. A. P. (2019, outubro). **Uma análise das atuais condições das pontes e viadutos das rodovias brasileiras**. Anais do Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, CE, Brasil, 61. Recuperado de <http://ibracon.org.br/eventos/61cbc/artigos/61cbc/artigos>.
- MUNIZ, P. G. Termografia aplicada em pontes de concreto armado: breve estudo de caso no estado do Maranhão. 2020. Disponível em: <https://www.pedroguimaengenharia.com/post/termografia-aplicada-as-oe-s>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- OLIVEIRA, G. G. **Importância na manutenção preventiva de pontes e viadutos do Rio Grande do Sul: Caracterização da tipologia das estruturas e levantamento de manifestações patológicas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS. Porto Alegre, 1999.
- OLYMPUS Corporation, 2020. Detector de defeitos. Disponível em: <https://www.olympus-ims.com/pt/insight/thickness-gauge-or-flaw-detector-which-is-best-for-your-application/>. Acesso em: 18 jun. 2021.

- PAIXÃO, Marcos Aurélio dos Santos. *Et al.* **Manifestações patológicas em obras de arte especiais: Estudo de caso de um Viaduto Rodoviário em São Luís-MA.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 04, Vol. 05, pp. 132-147. Abril de 2020. ISSN: 2448-0959
- PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado.** 3. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983. v. 1.
- PIERI, Roger; BARICHELLO, Vinícius; ABIZ, Felipe; QUADROS, Helena Szortika. **Métodos de verificação para verificação de pontes ferroviárias de aço.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 10, 2018, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.abpe.org.br/trabalhos2018/251.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- RIPPER, T; SOUZA, V. C. M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998.
- RYALL, M. J. **Bridge Management.** Elsevier, 2010.
- SANTOS, Bruno dos; SILVA, Jean Carlos da. **Patologia em pontes – Estudo de caso em patologias da Ponte Pedro Ivo Campos e orientação de reforma.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.
- Santos, L. O. (2014) - "**Monitoramento e Ensaio de Pontes**"; VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas; Rio de Janeiro.
- SILVA, Diego Maia da *et al.* **Patologias em obras de arte.** 2018. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2018. Disponível em: <<http://rangellage.com.br/wp-content/uploads/2019/06/TCC-Patologias-em-Obras-de-Arte-5d0cf1b015d71.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- SILVA, P. F. *et al.*, 2014. **Efeitos da Mudança da NBR 7188:2013 nos Projetos de Pontes. Estudo de Caso: Projeto de Recuperação da Ponte sobre o Rio Correias na BR 101/SC.** Relatório Técnico/ VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas.
- SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo. Pini, 1998.
- SOUZA, M.F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações.** 2008. 64f. Monografia (Especialista em construção civil) Minas Gerais, 2008, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Patologias%20Ocasionaladas%20Pela%20Umidade%20Nas.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- SOUZA, M.T. **Clínica geral: erros de projeto, materiais, execução, uso, construção.** Vol. 30, pp.4-8. (1991).
- VIANA, N. C. **Análise de manifestações patológicas das pontes Colombo Machado Salles e Pedro Ivo Campos localizada em Florianópolis – SC.** Disponível em: <<https://ipog.edu.br/wp-content/uploads/2020/12/natanael-da-cunha-viana-5162112.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- VITÓRIO, José Afonso Pereira; BARROS; Rui Manuel Meneses Carneiro de. **Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil.** Segurança, Conservação e Reabilitação de Pontes, Associação Portuguesa para a Segurança e Conservação de Pontes, 2013, p. 62-70. Disponível em: <http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Danos_Estruturais_Estabilidade_100_Pontes_Rodoviarias_Brasil.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- WINKEL, R. L. **Análise das manifestações patológicas em pontes na cidade de Teutônia/RS.** Universidade do Vale do Taquari – Curso de Engenharia Civil. Lajeado. Rio Grande do Sul. 2019.

Manifestações patológicas em uma residência do programa habitacional em Santo Antônio de Jesus- BA.

A. Barboza^{1*}, L. Farias², L. De Sousa^{3*}

*Autor de Contato: lucarb08@gmail.com

^{1,3} Faculdade de Engenharia civil, Faculdade de Ciências e Empreendedorismo, FACEMP, Santo Antônio de Jesus - Brasil

²Doutoranda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Brasil

RESUMO

Com a crescente demanda por moradia no Brasil fez-se necessário a criação de programas habitacionais que concedem a pessoas de baixa renda moradia própria. Este estudo tem intuito de apresentar manifestações patológicas de uma residência do conjunto habitacional do programa Minha casa, Minha vida, denominado “Cidade Nova II”, em Santo Antônio de Jesus e propor soluções. Foram notadas diferentes manifestações patológicas entre as quais o mofo e manchas de umidade foram as mais agravantes, sendo que afetam diretamente o bem-estar do morador. De acordo com o orçamento estimado para resolver os problemas patológicos, os custos chegaram a 24,08% do custo total da obra, sendo assim vultuosos em relação ao público-alvo (população de baixa renda) e à tipologia da edificação construída.

Palavras-chave: Manifestações patológicas; fase construtiva; construção civil.

ABSTRACT

With the growing demand for housing in Brazil, it has become necessary to create housing programs that provide low-income people with their own homes. The purpose of this study is to present the pathological manifestations of a residence in the housing complex of the Minha Casa, Minha Vida program, called "Cidade Nova II", in Santo Antônio de Jesus, and to propose solutions. Different pathological manifestations were noticed, among which mold and humidity stains were the most aggravating, directly affecting the dweller's well-being. According to the estimated budget for solving the pathological problems, the costs reached 24.08% of the total cost of the project, which is very high in relation to the target audience (low-income population) and the type of building constructed.

Keywords: Pathological manifestations; construction phase; civil construction.

RESUMEN

Con la creciente demanda de vivienda en Brasil, se ha hecho necesaria la creación de programas de vivienda que proporcionen a las personas de bajos ingresos su propia casa. Este estudio tiene como objetivo presentar las manifestaciones patológicas de una residencia del complejo habitacional del programa Minha casa, Minha vida, llamado "Cidade Nova II", en Santo Antônio de Jesus y proponer soluciones. Se observaron diferentes manifestaciones patológicas, entre las cuales las manchas de moho y humedad fueron las más agravantes, afectando directamente al bienestar del residente. De acuerdo con el presupuesto estimado para resolver los problemas patológicos, los costes alcanzaron el 24,08% del coste total de la obra, por lo que son elevados en relación con el público objetivo (población de bajos ingresos) y el tipo de edificio construido.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas; fase constructiva; construcción civil.

1. INTRODUÇÃO

Com a ascensão do crescimento populacional no Brasil ficou cada vez mais evidente a escassez de moradias no país (Monteiro; Veras, 2017). Com o intuito de reverter essa situação, Olives (2017) relata que foi criado o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), um programa habitacional federal de iniciativa do governo brasileiro que tem como objetivo subsidiar a obtenção de casa ou apartamento próprio para pessoas com baixa renda, além de facilitar as condições de pagamento para que pessoas de classe média adquiram seu imóvel.

Dessa forma, foi proporcionada a população menos favorecida condições básicas e dignas de moradia, garantindo sua segurança, integridade e bem-estar (Monteiro; Veras, 2017). Na qual Olives (2017) apresenta que são imóveis considerados simples por sua estética mais comum e padronizada, mas contemplam seis cômodos distribuídos da seguinte forma: uma sala, dois quartos, uma cozinha integrada a área de serviço e um banheiro.

É importante ressaltar que toda edificação possui um ciclo de vida útil e muitas vezes, ao longo do tempo, por conta dos efeitos do ambiente, um ou mais elementos da construção podem sofrer uma perda progressiva do seu desempenho à medida que os materiais utilizados sofrem degradações ou alterações na sua composição (Bertolini, 2010).

A NBR 5674 (ABNT, 2012) dispõe que o uso e a manutenção adequada do imóvel se caracterizam como uma importante condição para a vida útil da construção. A norma técnica mencionada ressalta que tais manutenções devem ser feitas de forma periódica e preventiva, sendo que a negligência para essa ação compromete a segurança da edificação e seu bom desempenho, além de prejudicar a vida dos usuários. Edificações que não recebem manutenções podem se degradar antes do tempo previsto, assim como, fazer com que pequenas patologias evoluam, comprometendo a edificação e gerando custos elevados para sua recuperação (ABNT, 2012).

Porém, no caso dos imóveis do MCMV, desde o seu ato de entrega tem sido detectados diferentes tipos de anomalias, ou seja, patologias precoces que prejudicam o bom desempenho da estrutura como um todo (Olives, 2017). Fernández (1988) discute que a patologia faz parte da engenharia que estuda os mecanismos, os sintomas, as causas e as origens dos defeitos das obras.

Fernández (1998) reforça ainda que esse estudo a depender do grau de desenvolvimento da patologia pode ser feito de forma visual ou com a utilização de ferramentas tecnológicas. Corroborado por Ripper et al. (1998) e Helene (2002) que analisam que a patologia nas construções é semelhante à Ciência Médica, já que estuda os sintomas, formas de manifestação, origens e causas das doenças ou falhas que ocorrem nas edificações.

Dentre essas manifestações, podem ser citadas algumas mais comuns como: fissuras, infiltrações e mofo. Sobre a fissuração pode-se analisar vários fatores geradores, como a retração, variação de temperatura e a agressividade do meio ambiente, analisando o sentido e ângulo em que o dano se apresenta na superfície da edificação, denota o tipo de sobrecarga de tração ou compressão da estrutura, auxiliando no entendimento da causa e efeito destas manifestações patológicas (Vitório, 2003).

Já em relação às infiltrações, Côrrea (2010) caracteriza como patologias das alvenarias relacionadas com a presença de água nos blocos que a compõem, podendo ocasionar manchas de umidade, bolor, fungos, algas, eflorescências, descolamento, desagregação e mudança de coloração. Estas manifestações podem ser geradas devido à absorção capilar superficial de água por condensação.

Para evitar problemas com umidade sugere-se que durante a fase de projeto se analise os vários aspectos causadores do problema com intuito e de minimizar as infiltrações. Dentre esses aspectos pode-se citar a orientação das fachadas em relação aos ventos predominantes, detalhes

arquitetônicos e técnicos como rufos, platibandas, beirais, tipo de cobertura e a intensidade e a duração das precipitações na região (Côrrea, 2010).

Gnipper e Mikaldo Jr. (2007) apresenta que muitas patologias manifestadas por esses fenômenos incidem repetitivamente nos edifícios o que revela falhas sistêmicas na fase de projeto desses sistemas prediais. Do Carmo (2003) ressalta que a prevenção é a melhor estratégia para que a construção apresente desempenho satisfatório durante sua vida útil.

Portanto, a caracterização da natureza das patologias e inconformidades mais frequentes nesse universo pode contribuir para uma ação preventiva durante a etapa de concepção do projeto de novas edificações, visando diminuir a incidência de tais problemas a níveis satisfatórios aos usuários.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa exploratória sobre as manifestações patológicas em construções do programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV), descrevendo os fatos observados e características das edificações, registrando e analisando-os.

Inicialmente, o estudo utilizou de uma pesquisa bibliográfica que levou a uma discussão teórico-conceitual e ao desenvolvimento da fundamentação teórica. Foram pesquisados e analisados materiais científicos a citar: livros bibliográficos, artigos científicos e monografias. Na busca foram utilizadas as palavras-chave: manifestações patológicas residência; programa habitacional; patologias; minha casa minha vida.

Em paralelo, foi realizado o estudo de caso com base em uma residência do programa habitacional MCMV. A seleção da residência foi feita por conveniência devido às características práticas do estudo e, principalmente, pelo acesso as informações necessárias. A partir da residência, a escolha para desenvolvimento do estudo são as manifestações patológicas apresentadas na construção. A amostragem por conveniência, de acordo com Hair (2005, p. 247), “envolve a seleção de elementos da amostra que estejam mais disponíveis para tomar parte no estudo e que podem oferecer as informações necessárias”.

2.1. Caracterização do empreendimento e da edificação analisada

O município de Santo Antônio de Jesus, na Bahia, possui 102.380 habitantes (IBGE, 2020), uma densidade demográfica de 348,14 hab./km² e índice de desenvolvimento humano municipal de 0,700, avaliado em 2010 (IBGE, 2020). Esta cidade possui um ambiente de baixa agressividade ambiental e programas habitacionais implementados.

A cidade conta com dois conjuntos habitacionais de incentivo Federal para famílias com baixa renda. O primeiro a ser construído foi o “Zilda Arns”, localizado na Rua do Cajueiro, bairro Cajueiro, inaugurado em 2013. O segundo a ser construído foi o “Cidade Nova II”, localizado na Rua Açogue Velho, bairro Santa Terezinha, inaugurado em agosto de 2015. Os conjuntos habitacionais detêm de 500 e 784 moradias, respectivamente, segundo manual do proprietário emitido pelas construtoras responsáveis.

A área de estudo é caracterizada como uma residência térrea, fruto da iniciativa Federal e com parceria entre o Banco do Brasil e a uma construtora, localizado na “Cidade Nova II”, seguindo todas as exigências de projetos. Este empreendimento foi finalizado há 5 anos, entregues a população em agosto de 2015, instalada em um terreno com área de 45,88 m², contendo de 43,22 m² de área construída, dispostos em seis cômodos: uma sala, dois quartos, uma cozinha integrada a área de serviço e um banheiro.

A edificação é localizada à rua açougue velho, nº 01, rua 1, quadra 16, bairro Santa Terezinha – Santo Antônio de Jesus/BA, conforme demonstrado nas imagens a seguir (Figura 1 e Figura 2, respectivamente).



Figura 1. Caracterização da área de estudo e seleção da edificação estudada.
Fonte: Google Maps.



Figura 2. Fachada da residência estudada

Os itens que foram analisados ao longo das observações in loco foram presença de mofo, fissuras, umidade ascendente e infiltrações.

Sobre os passos que foram realizados na coleta de dados, cita-se o primeiro contato com o responsável pela residência escolhida para o estudo, explicando o propósito da investigação para que posteriormente seja feito o compartilhamento dos dados e de possíveis soluções. Foi realizada

uma pesquisa documental e exames complementares (roteiro de observação) consistindo na avaliação das manifestações encontradas na residência e suas possíveis causas, obtida através de vistorias e apresentado por meio de relatórios fotográficos.

Na análise dos dados foi utilizada a técnica de análise de conteúdo, onde as respostas qualitativas dos roteiros de observação foram analisadas e interpretadas pelo pesquisador, buscando convergir itens e elementos similares ou próximos. As anotações do pesquisador, diante das leituras realizadas durante o levantamento bibliográfico, também foram comparadas com os resultados, assim como as fotografias.

As informações coletadas e os registros fotográficos foram analisados minuciosamente, valendo-se de autores pré-selecionados e intimamente relacionados ao tema com a finalidade explicitar causas e soluções para as adversidades encontradas.

3. RESULTADOS

3.1. Análise das manifestações patológicas

Na Figura 3 foi identificada a manifestação patológica 01, na qual foram notadas bolhas, manchas de umidade ascendente por capilaridade e saponificação. Esta patologia foi analisada na Tabela 1.



Figura 3- Manifestação patológica 01.

Tabela 1. Descrição da manifestação patológica 01, possível causa e sugestão terapêutica.

Descrição por inspeção visual:

Manifestação encontrada na parede externa a cozinha e interna ao banheiro
Manifestações detectadas / Diagnóstico: Bolhas, manchas de umidade ascendente por capilaridade e saponificação
Possível causa: Umidade na superfície, tinta não apropriada ao ambiente de uso, ou utilizada sem observaro período de cura do reboco ou revestimento.
Sugestão de terapêutica adequada: Sanar a fonte de umidade incidente na alvenaria. Remover todo o reboco até a alvenaria, sobre as superfícies em alvenaria promover um chapisco no traço 3:1 (areia/cimento), aditivado adesivo impermeabilizante, nivelar e aguarda a cura. Após a cura, aplicar um impermeabilizante cimentício de base acrílica com consumo mínimo de 3kg/m ² . Após a última demão do impermeabilizante, aplicar um chapisco novamente, aguardar a cura e aplicar um novo reboco e finalizar com o revestimento.

Quando se trata de saponificação, Polito (2006) relata que esta reação ocorre devido ao material cimentício possuir alcalinidade (pH alcalino em função do teor de cálcio), friabilidade (facilidade de desagregar ao sofrer fricção) e aptidão a absorver e reter umidade. Segundo o qual os álcalis são as raízes de parte vultuosa dos problemas entre o substrato e a pintura.

Para Roque (2006, p. 46), “a umidade ascendente existente nas alvenarias é gerada na absorção da água presente no solo através de elementos construtivos, tais como; fundações, vigas baldrame e lajes térreas (radiers)”.

Na Figura 4 pode-se identificar a presença de mofo nas paredes (manifestação patológica 02), cuja análise se encontra na Tabela 2.



Figura 4. Manifestação patológica 02.

Tabela 2. Descrição da manifestação patológica 02, possível causa e sugestão terapêutica.

Descrição por inspeção visual: Manifestação encontrada na parede interna do quarto.
Manifestações detectadas / Diagnóstico: Manchas de mofo na superfície da parede, principalmente nas junções das paredes e teto.
Possível causa: Umidade superficial, infiltrações provenientes do exterior da parede, falta de ventilação iluminação eficazes.
Sugestão de terapêutica adequada: Sanar as causas que possam ter contribuído para o desenvolvimento da patologia. Impermeabilizar a área externa à parede com a manta líquida impermeabilizante, em no mínimo duas demãos, não aplicar sobre base quente. Remover todo o reboco até a alvenaria, sobre as superfícies em alvenaria promover um reboco no traço 1:2:6 (cimento/cal/areia), aditivado adesivo impermeabilizante, nivelar e aguardar a cura.

O mofo é uma classe da patologia que provoca alterações na superfície da parede, requisitando, na maior parte dos casos, a restauração ou inclusive a necessidade de substituição de todo revestimento, causando elevados custos de recuperação (Souza, 2008). Para Cechinel et al., (2011), o mofo é causado pela umidade proveniente da infiltração, visto que os fungos necessitam de água para se reproduzirem. Na alvenaria, nota-se a manifestação do mofo quando se evidencia o surgimento de manchas e escurecimento da superfície.

Na Figura 5 foi identificada a manifestação patológica 03 que se trata de deslocamento do piso cerâmico, esta patologia foi analisada na Tabela 3.



Figura 5. Manifestação patológica 03.

Tabela 3. Descrição da manifestação patológica 03, possível causa e sugestão terapêutica.

Descrição por inspeção visual:

Manifestação encontrada no revestimento do chão da sala.
Manifestações detectadas / Diagnóstico: Desplacamento de piso cerâmico e perda de aderência.
Possível causa: Assentamento incorreto, dosagem incorreta da argamassa de assentamento, movimentação do substrato (solo), falta de juntas de dilatação e movimentação no revestimento.
Sugestão de terapêutica adequada: Sanar as causas que possam ter contribuído para o desenvolvimento da patologia. Em seguida remover todo o revestimento e limpar bem a superfície com escova de fio de aço. Feito isso deve-se verificar o estado do contrapiso, observando se o mesmo está se desagregando e se está apto ao novo revestimento, em caso positivo fazer o reassentamento do piso, atentando-se ao procedimento correto do mesmo, utilizar argamassa própria ao tipo do piso e executar as juntas de dilatação especificadas no manual do fabricante do revestimento.

De acordo com Campante e Sabbatini (2001, p. 9-10), “grande parte das ocorrências de patologias em revestimento cerâmico pode ser conferida à falta de compreensão e conhecimento das interações entre seus diferentes componentes”. Tal falta de compreensão está relacionada às deficiências no conhecimento técnico de todo o processo construtivo, tais quais; mão de obra desqualificada, falta de assistência técnica por parte dos fabricantes e a falta de cumprimento das normas vigentes e das orientações do manual do fabricante anexo aos materiais.

A perda de aderência sintetiza um processo causado por falhas e rupturas na área de interação entre as camadas do revestimento cerâmico, ou meio a base e o substrato (estrutura, contrapiso etc.). Essa perda de aderência manifesta-se a modo que as tensões que surjam ultrapassem a capacidade de aderência das ligações (Barros et al., 1997).

Na Figura 6 foi identificada a manifestação patológica 04, correspondendo a manchas proveniente de fungos e microrganismo sendo analisada na Tabela 4.



Figura 6. Manifestação patológica 04.

Tabela 4. Descrição da manifestação patológica 04, possível causa e sugestão terapêutica.

Descrição por inspeção visual:

Manifestação encontrada no teto do quarto.
Manifestações detectadas / Diagnóstico: Manchas provenientes de Mofo e microrganismos.
Possível causa: Umidade do ar ambiente, falta de ventilação efetiva, falta de incidência de calor e luz natural.
Sugestão de terapêutica adequada: Sanar as causas que possam ter contribuído para o desenvolvimento da patologia. Em seguida remover todo o revestimento e limpar bem a superfície. Feito isto deve-se realizar a pintura com a tinta acrílica bactericida, esta irá inibir a umidade e a proliferação de fungos e bactérias causadoras do mofo.

Gertis, Erhorn e Reiss (1999) e Sedlbauer (2001) relatam que as condições ideais para o crescimento do mofo são: umidade relativa do ar acima de 80% com temperaturas superficiais superiores a 20 °C e ventilação precária, sendo estas as condições mínimas para a proliferação de várias espécies de bolor de modo geral (sem diferenciar as espécies).

“Pesquisas sobre a nutrição de fungos em materiais de construção apontam que o teor de sais e a umidade presentes na argamassa podem influenciar no crescimento de fungos” (Yu; Kim, 2010, p. 2).

Na Figura 7 foi identificada a manifestação patológica 05 que corresponde a manchas provenientes de bolor e microrganismo. Foi feita uma análise na Tabela 5.



Figura 7. Manifestação patológica 05.

Tabela 5. Descrição da manifestação patológica 05, possível causa e sugestão terapêutica.

Descrição por inspeção visual:

Manifestação encontrada na parede da fachada da casa.
Manifestações detectadas / Diagnóstico: Manchas provenientes de bolor e microrganismos.
Possível causa: Umidade do ar ambiente, falta de ventilação efetiva, má execução da soleira de granito e da pingadeira.
Sugestão de terapêutica adequada: Sanar as causas que possam ter contribuído para o desenvolvimento da patologia. Após isto remover todo o revestimento e limpar bem a superfície. Em seguida deve-se realizar a pintura com a tinta acrílica bactericida, esta irá inibir a umidade e a proliferação de fungos e bactérias. Executar a colocação correta da soleira e da pingadeira.

Os bolores instituem o crescimento de fungos sobre os substratos, de acordo com Shirakawa (1995). O mesmo autor reitera que a formação de bolor possui suas principais causas extrínsecas ao material, e com relação direta ao aumento de umidade tanto interna quanto externa da edificação. A exemplo, a umidade ascendente por capilaridade, infiltrações, vazamentos, alta umidade relativa do ar e condensação de vapores em ambientes confinados.

Observa-se, que o material individualmente não é causador de bolor ou mofo, pois mesmo que ele possua em sua maioria as características necessárias para o crescimento dos fungos, o bolor não aparecerá se a umidade não for suficiente, afirma Shirakawa (1995).

Na Figura 8 foi identificada a manifestação patológica 06, identificada como rachadura na estrutura. A análise desta manifestação é apresentada na Tabela 6.



Figura 8. Manifestação patológica 06.

Tabela 6. Descrição da manifestação patológica 05, possível causa e sugestão terapêutica.

Descrição por inspeção visual:

Manifestação encontrada próximo ao rodapé da casa.
Manifestações detectadas / Diagnóstico: Rachadura na estrutura / ninho de concretagem
Possível causa: Falta de vibração do concreto, lançamento do concreto em altura acima de 2 m.
Sugestão de terapêutica adequada: Sanar as causas que possam ter contribuído para o desenvolvimento da patologia. Em seguida limpar toda a superfície utilizando escova de aço, remover pedaços que venham a ser segregados, feito isso confeccionar uma forma e encher os espaços vazios com concreto ou argamassa de alta resistência, obedecendo as recomendações do manual do fabricante e vibrar ou apiloar a massa para obter o adensamento ideal.

Ninhos são vazios nas peças de concreto provenientes de má vibração, falha no transporte do concreto e erros na concretagem que impedem que a argamassa preencha todos os locais dentro da forma, deixando espaços vazios entre os agregados. Os ninhos de concretagem reduzem a seção transversal da peça e facilitam a entrada de agentes agressivos, estes por sinal agridem a estrutura reduzindo sua resistência gradativamente (Sena, et al., 2020; Ripper; Souza, 1998).

A NBR 14931 (ABNT, 2004) prevê que imediatamente após o lançamento o concreto deve ser vibrado de forma contínua e energética, com equipamento adequado à sua consistência. O adensamento deve ser acurado, a fim de que o concreto ocupe toda a forma. Durante o processo de adensamento deve-se cumprir os cuidados necessários para que não se formem ninhos ou ocorra a segregação dos materiais.

3.2. Análise de custos para realização das terapêuticas necessárias

Preços para recuperação manifestações patológicas verificadas e foram elaborados considerando-se as dimensões da construção e valores referente a tabela SINAPI-BA (dezembro de 2020). Na Figura 9, encontra-se o gráfico com os custos associado de cada etapa de correção das patologias.

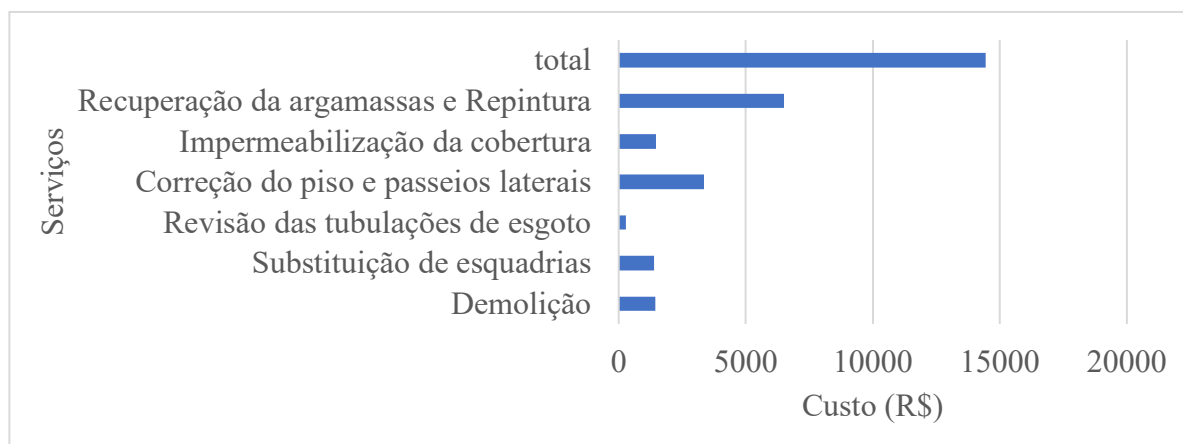


Figura 9. Custos dos procedimentos de correção das manifestações patológicas.

O valor estimado para reparação dos danos oriundos de manifestações patológicas na residência estudada é de R\$ 14.446,27 (quatorze mil reais quatrocentos e quarenta e seis reais e vinte e sete centavos). A edificação custou R\$ 60.000,00 (sessenta mil reais) desta quantia R\$ 57.000

(cinquenta e sete mil reais) foram subsidiados pelo Governo federal, restando R\$ 3.000 (três mil reais) devidos pelo morador, distribuídos em 120 parcelas de R\$ 25,00 (vinte e cinco reais), vide contrato particular de compra e venda. Podemos observar, pela análise da Figura 9, que os custos para a restauração das anomalias encontradas na residência ficaram vultuosos, alcançando no total de 24,08% do custo total da construção, sendo que a recuperação de argamassa e repintura foi significativo (10,84%).

Salienta-se que a edificação foi construída para atender a pessoas de baixa renda, e estes, por sinal, podem não contemplar desta quantia, destaca-se também que, tais anomalias poderiam ser previamente evitadas na etapa de projeto e execução, e dessa forma eximir-se-ia as famílias destes transtornos físicos e psicológicos e financeiros.

4. CONCLUSÕES

Para o estudo do caso de uma residência do programa habitacional, infere-se que a maioria das manifestações encontradas foram oriundas possivelmente de erros ocorridos na execução do projeto, assim como o não cumprimento dos processos construtivos e normas técnicas necessários ao bom desempenho da edificação.

O controle e prevenção de manifestações patológicas nas construções detém de singular importância, principalmente em conjuntos habitacionais, pois estes são cada vez mais necessários e representam uma conquista, um marco para a população de baixa renda no Brasil.

Faz-se necessário portanto que seja dada a devida importância para todas as etapas dos processos construtivos de uma edificação, assim como às normas técnicas vigentes, evitando-se assim danos futuros. É fundamental também que estes preceitos sejam incorporados as condutas dos profissionais da área, para que seja dada a devida atenção e responsabilidade para com suas obras e conseqüentemente com os futuros usuários da edificação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Ciências e Empreendedorismo pelo apoio e incentivo fornecido ao desenvolvimento do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. NBR 5674: Manutenção de Edificações: Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

Barros, M. M. B.; Taniguti, E. K.; Ruiz, L. B.; Sabbatini, F. H. Tecnologia construtiva racionalizada para a produção de revestimentos cerâmicos verticais. Notas de aula. São Paulo: USP, 1997.

Bertolini, L. Materiais de Construção: patologia, reabilitação, prevenção; tradução Leda Maria Marques Dias Beck. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Campante, E. F.; Sabbatini, F. H. Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada. São Paulo: USP, 2001. Boletim técnico n. 301.

- Cechinel, M. B. Vieira, F. L., Mantelli, P., Tonel, S. Infiltração em alvenaria- Estudo de caso em edifício na grande Florianópolis. Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia de Santa Catarina-IF-SC, 2011.
- Do Carmo, P. O. Patologia das construções. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.
- Fernández C., M. Patologia e terapia do concreto armado. Tradução de M. Celeste Marcondes, Carlos Wagner Fernandes dos Santos, Beatriz Cannabrava. São Paulo: Pini, 1988.
- Gertis, K.; Erhorn, H.; Reiss, J. Klimawirkungen und Schimmelpilzbildung bei sanierten Gebäuden (Climate effects and mold formation in renovated buildings). Building Physics. Anais...Berlin: 1999
- Gnipper, S.; Mikaldo Jr. J. Patologias frequentes em sistemas prediais hidráulicosanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo de produção do projeto. Curitiba, 2007.
- Hair, Jr., Joseph F. Fundamentos de Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: Bookman, 2005. 471 p.
- Helene, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. São Paulo, Pini, 2002.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível na internet: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/santo-antonio-de-jesus.html>. Acesso em: 10 de novembro de 2020.
- Monteiro, A. Roseno; Veras, A. T. R. A QUESTÃO HABITACIONAL NO BRASIL. Mercator (Fortaleza) , Fortaleza, v. 16, e16015, 2017.
- Olives, S. J. C. Desafios e Fragilidades do Trabalho Social no Programa Minha Casa Minha Vida na Região Metropolitana de Natal. Dissertação de Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Natal, 2017.
- Polito, G. Principais Sistemas de Pinturas e suas Patologias. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2006.
- Ripper, T.; Souza, V. C. M. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. Editora Pini, São Paulo, 1998.
- Roque, J. A. O desempenho quanto à durabilidade de alvenarias de blocos cerâmicos de vedação com função auto portante: o caso da Habitação de Interesse Social. 2009. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, São Paulo.

Sena, G. O., Nascimento, M.L.M., Neto, A. C. N. N., Lima, N. M. *Patologias das construções*. Editora 2B, Salvador-BA, 2020.

Shirakawa, M. A., Monteiro, M., Selmo, S.D.S., Cincotto, M.A. *Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente*. I Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas. Goiânia-GO, 1995.

Souza, F. M. *Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2008

Vitório, A. *Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia*. Instituto Pernambucano de Avaliação e Perícias de Engenharia. Recife, 2003.

Yu, C. W. F.; Kim, J. T. *Building pathology, investigation of sick buildings—VOC emissions*. *Indoor and Built Environment*, v. 19, n. 1, p. 30-39, 2010.

ANÁLISE E QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS POR MEIO DE FATORES DE DANOS

L. L. S. Batista^{1*}, B. S. Vale¹, C. M. S. Castro¹, H. S. B. Soares¹, A. C. C. Lopes¹, L. C. Queiroz¹.

Autor de Contato: lsbatista.lucas40@gmail.com

¹ Faculdade de Engenharia Civil, ITEC, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

RESUMO

O conhecimento e a quantificação de danos em fachadas contribuem consideravelmente na melhoria de edificações e reparo de degradações, o presente estudo busca mensurar a degradação das fachadas de um prédio, situado em Belém-PA, através do método de Fator de Danos e do Fator Geral de Danos. Os resultados mostraram os níveis de degradação que cada fachada possui e observou-se que essa metodologia se mostrou eficaz, expressando quais patologias são mais recorrentes e que a orientação delas influencia diretamente no surgimento de manifestações patológicas.

Palavras chave: Patologia; Fachada; Degradação; Dano.

ABSTRACT

The knowledge and quantification of damage to facades significantly contributes to the improvement of buildings and the repair of degradations, this study seeks to measure the degradation of the facades of a building, located in Belém-PA, through the method of Damage Factor and General Factor Damages and damages. The results showed the levels of degradation that each facade has and it was observed that this methodology proved to be effective, expressing which pathologies are more recurrent and that their orientation directly influences the appearance of pathological manifestations.

Key words: Pathology; Facade; Degradation; Damage.

RESUMEN

El conocimiento y cuantificación de daños a fachadas contribuyen considerablemente al mejoramiento de edificaciones y reparación de degradaciones, este estudio busca medir la degradación de las fachadas de un edificio, ubicado en Belém-PA, a través del método de Factor de Daño y Factor General de Daños y perjuicios. Los resultados mostraron los niveles de degradación que tiene cada fachada y se observó que esta metodología resultó ser efectiva, expresando qué patologías son más recurrentes y que su orientación influye directamente en la aparición de manifestaciones patológicas.

Palabras llave: Patología; Fachada; Degradación; Daño.

1. INTRODUÇÃO

A fachada constitui-se de várias camadas que tem como objetivo principal a proteção da edificação, é inevitável que ela sofra um processo de degradação, considerando sua constante exposição a fatores deteriorantes. O processo de degradação pode dar-se de forma lenta ou acelerada, e ocorrendo, principalmente, em decorrência das condições de exposição, execução, intervenções de manutenção ou influência do comportamento das propriedades dos elementos e dos seus componentes, e da interação entre estes ao longo do tempo.

A degradação de fachadas de edifícios é uma temática comumente abordada em pesquisas científicas, e segundo Silva (2014) o conhecimento das incidências das patologias contribui para a melhoria contínua dos processos construtivos, na medida em que as informações sobre as mesmas são tratadas e divulgadas.

As análises de degradação se apresentam muitas vezes de forma subjetivas, comumente variando a depender do avaliador, esse tipo de análise é comum e não incorreta, porém uma análise quantitativa para complementar a avaliação é importante para uma visão mais ampla e objetiva. Um desses métodos quantitativos são o Fator de Danos (FD) e o Fator Geral de Danos (FGD) (Bauer et.al., 2015; Santos et.al., 2018), que através de cálculos simples, com ponderações ou não transformam a degradação em um valor numérico.

Para contribuir com estudos que promovam melhor compreensão sobre a evolução da degradação em fachadas, o presente trabalho tem como objetivo, analisar e quantificar o nível de degradação das fachadas de um prédio através dos fatores de Danos mencionados, e assim avaliar sua importância para a inspeção predial.

A princípio, produzir um mapa de danos para representar graficamente as patologias/alterações presentes na edificação, e assim utilizar essas informações para medir a degradação da fachada em valores quantitativos (Fatores de Danos) obtido por meio do levantamento das quantidades de cada dano em função da área total da fachada e também calcular o Fator Geral de Danos para a identificação das áreas mais degradadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Inspeção Predial

Para inspeção dos elementos de fachada foi utilizada a metodologia recomendada pela NBR 16747 (ABNT, 2020), de acordo com a Figura 1.

Os dados levantados foram fornecidos pelo setor responsável pelos projetos e acompanhamento de obras no local do prédio analisado.

Após a análise dos projetos fornecidos foi desenvolvida a anamnese do prédio para que posteriormente fossem executadas as vistorias com as respectivas classificações e recomendações.

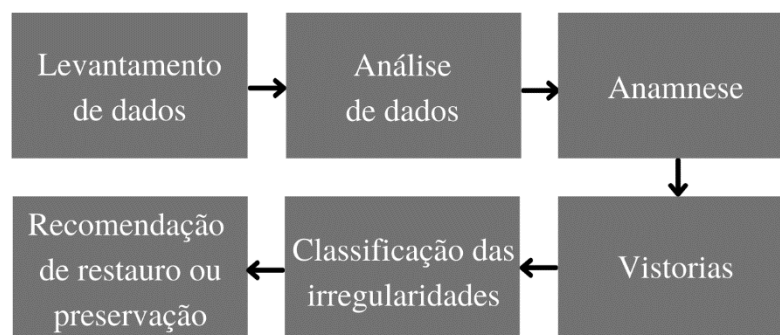


Figura 1. Fluxograma das atividades de inspeção.

2.2 Mapa de Danos

Para dar suporte, de forma gráfica, nas tomadas de decisões quanto as possíveis intervenções necessárias para a restauração ou reabilitação dos elementos de fachada, e para fornecer um meio para quantificar as manifestações patológicas para o cálculo do FD e do FGD. Desta forma, foi desenvolvido um mapa de danos com a representação gráfica das manifestações patológicas incidentes nas quatro fachadas.

Para elaboração do mapa de danos foi utilizado como ferramenta de desenho o AutoCAD, versão 2020 e o levantamento fotográfico obtido durante as vistorias.

2.3 Classificação de Dano

Para a classificação do dano encontrado nas fachadas foi realizado o cálculo do FD e FGD como indicadores de degradação. A classificação de dano apresenta uma eficiente avaliação da degradação no que se refere sua direção cardinal e localização das manifestações patológicas (Bauer et.al., 2015; Santos et.al., 2018).

A metodologia utilizada é a mesma proposta por Sousa (2008) e adaptada por Silva (2014), sendo que estes dois fatores representam de forma quantitativa o grau dos danos presentes nas fachadas analisadas. Desta forma, seu resultado final apresenta uma forte indicação para a tomada de decisão em uma possível intervenção.

2.2.1 Fator de danos (FD)

O FD permite realizar análises da distribuição das anomalias, identificando assim as áreas mais degradadas do ambiente estudado e os elementos construtivos mais susceptíveis a degradação, bem como permite comparar as orientações para encontrar uma tendencia de degradação (Souza, 2019). A formulação do FD é dada (Eq. 1) pela porcentagem da área afetada pela manifestação patológica em relação a área total analisada que neste caso seriam as fachadas do prédio.

$$FD = \frac{Ad}{A} \quad (1)$$

Onde,

FD: Fator de dano da fachada (extensão do dano) (%);

Ad: Área de manifestação patológica observada na fachada (m²);

A: área total da fachada (m²).

Para o cálculo da área de manifestação patológica foi utilizado o mapa de danos, onde a área de cada manifestação patológica foi definida.

O Fator de Dano foi calculado separadamente para cada tipo de dano encontrado individualmente e para o total, conforme é listado abaixo:

- Fator de Dano Total (FD TOTAL)
- Fator de Dano de Microfissuras (FD - FM);
- Fator de Dano de Fissuras (FD - FI);
- Fator de Dano de Eflorescências (FD - FE);
- Fator de Dano de Manchamento (FD - FMC);
- Fator de Dano de Descolamento (FD - FDL);
- Fator de Dano de Revestimento Argamassado (FD - FR).

2.2.2 Fator geral de danos (FGD)

O FGD atua como uma ferramenta de cálculo do percentual de degradação e estimativa da vida útil de fachadas. Esta ferramenta de análise permite estabelecer, a partir de uma relação ponderada de diversos tipos de danos, o estágio de degradação total das amostras de fachada Silva (2014). Seu modelo de cálculo é dado a seguir:

$$FGD = \sum \frac{(A_n \cdot K_n \cdot k_{c,n})}{(A \cdot k)} \quad (2)$$

Onde:

FGD: Fator Geral de Danos (%);

An: Área de uma fachada afetada por n tipos de anomalias (m²);

Kn: Nível de condição de n anomalias contidas no intervalo (0; 0,02; 0,20; 2,00; 4,00);

k: Constante, equivalente ao nível da pior condição (k = 4,00); 97

kc,n: Custo relativo de reparação das anomalias observadas;

A: Área total de fachada analisada (m²).

n: Referência do tipo de anomalia

A partir do mapa de danos (item 2.3), foram definidos os valores de A_n e A , que são as áreas parciais e a área total, respectivamente, das manifestações patológicas existentes na edificação.

Os fatores $k \cdot k_n \cdot k_{c,n}$ são de ponderação que estabelecem uma graduação para cada tipo de dano em função da extensão da ocorrência. Enquanto que k estabelece o máximo de degradação e varia de 0 até 4. No presente estudo, k assumiu o valor 4, já que foi o máximo da degradação observada para todos os dados. Já k_n varia de 0 a 4 representando o nível de dano para cada tipo.

Foram identificados na inspeção do prédio os seguintes danos:

- 1-Microfissuras;
- 2-Fissuras;
- 3-Eflorescência;
- 4-Manchamento;
- 5-Descolamento da camada de tinta;
- 6-Dano no revestimento argamassado

Os valores de k_n (Tabela 1) definidos para cada manifestação patológica listadas acima foram obtidos de uma adaptação de Silva (2014) de Taguchi (2010), onde existe uma classificação da gravidade para cada situação de dano provocada por alguma manifestação patológica que variam entre os números inteiros de 1 a 4, quanto maior o valor maior a gravidade da manifestação patológica.

Tabela 1 – Valores de k_n para cada manifestação patológica.

Tipo de Dano	k_n
Microfissuras	2
Fissuras	3
Eflorescência	2
Manchamento (Biofilme)	4
Descolamento da camada de tinta	2
Dano no revestimento argamassado	3

Já os valores de $k_{c,n}$ (Tabela 2) foram obtidos a partir de uma proporção pelo custo de reparo mais elevado. Para a definição desse custo foram calculadas composições unitárias em relação a área, a partir do banco de preços do SINAPI – Pará (CEF, 2021). Neste trabalho, o custo mais elevado foi o tratamento de fissuras e danos no revestimento argamassado que corresponde ao valor de R\$ 92,85, ao se considerar os materiais e mão de obra para o reparo, esse valor foi igualado a 1 e os outros valores de $k_{c,n}$ foram obtidos como a proporção do valor unitário.

Tabela 2 – Valores de $k_{c,n}$ para cada manifestação patológica.

Tipo de Dano	$k_{c,n}$
Microfissuras	0,14
Fissuras	1
Eflorescência	0,18
Manchamento (Biofilme)	0,31
Descolamento da camada de tinta	0,32
Dano no revestimento argamassado	1

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Inspeção Predial

A edificação consiste em um edifício de 4 pavimentos, destinado a salas de aula e salas administrativas de uma faculdade, localizado na região norte do Brasil, mais especificamente na cidade de Belém, estado do Pará. A obra deste prédio foi concluída em 2015, o que o torna uma edificação relativamente nova, com cerca de 6 anos de uso apenas. O prédio apresenta suas fachadas majoritariamente com acabamento de pintura, contudo, também possuem uma área considerável com revestimento cerâmico. Seu sistema de vedação externo é com alvenaria cerâmica.

As manifestações patológicas presentes no edifício de estudo (Figura 2) são muito similares a outras manifestações presentes em edifícios próximos, de arquitetura e métodos construtivos

semelhantes. Indicando processos de degradação similares, provenientes de um ambiente externo em comum e/ou falhas construtivas em comum também.

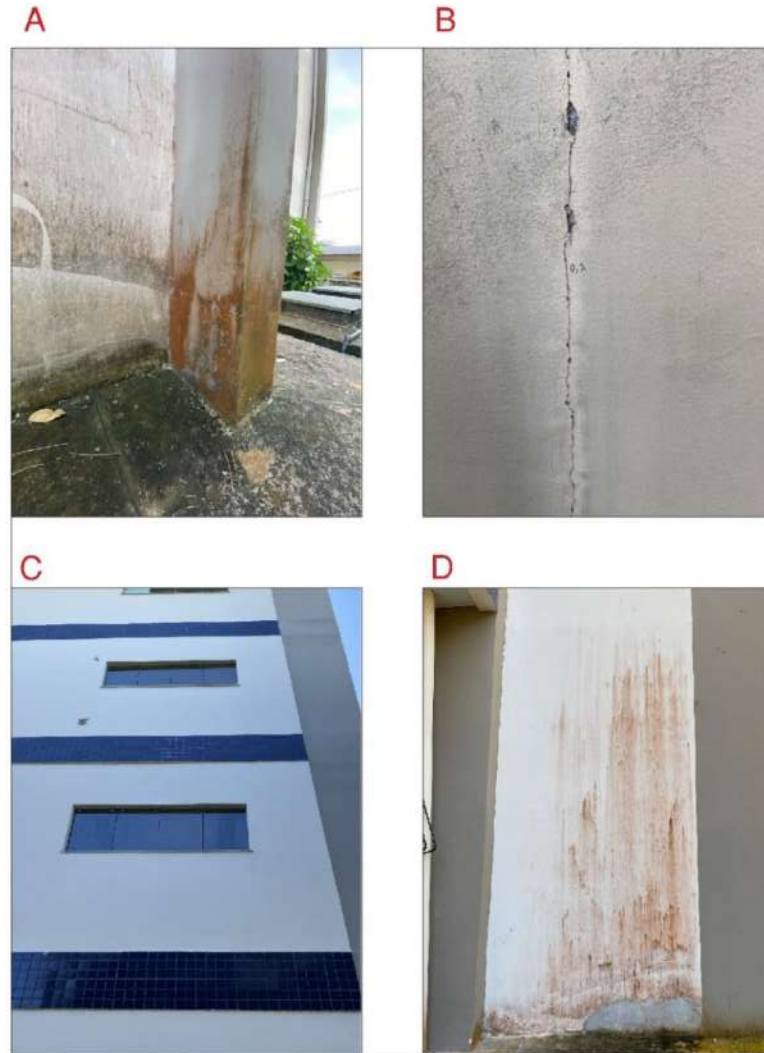


Figura 2. Fotografias de manifestações patológicas encontradas na inspeção: (A) manchamento causado por agente biológicos; (B) fissuras; (C) eflorescência nas cerâmicas e danos no reboco; (D) manchamentos e descolamento da pintura.

As comparações entre o projeto original e o construído deixam perceptível algumas modificações que não foram registradas, como detalhes arquitetônicos modificados e grades em janelas e fechamentos de vãos que não foram especificadas em projeto. Os impactos dessas mudanças serão discutidos com mais detalhes posteriormente.

O levantamento realizado no prédio deixou claro que a manifestação patológica mais visível são os manchamentos, que causam a formação de biofilme com manchamentos em tons de verde, vermelho e preto, porém também são perceptíveis o surgimento de fissuras e microfissuras, essas primeiras atingindo somente a camada da pintura, enquanto a segunda atingindo também a argamassa, comportamento similar ao analisado e discutido Thomaz (1989).

A eflorescência também foi detectada, porém somente nas áreas com revestimento cerâmico, criando manchas de coloração branca no rejunte e às vezes sobre a cerâmica. Outras manifestações presentes foram os danos ao reboco e o descolamento da camada de pintura, entretanto, apareceram em proporções bem menores que as anteriores.

Uma alta proliferação de biofilme apresentam um enorme risco a saúde dos usuários, pois é composta de agentes biológicos que em sua maioria são danosos ao ser humano, e grandes áreas de fachada com a presença desses agentes facilita sua contaminação, seja pelo toque ou pelo ar.

Quantificar essa e as demais manifestações patológicas presente no prédio auxilia na tomada de decisão e a visualizar melhor o grau de risco em que o prédio e os usuários se encontram (Bauer et.al., 2015).

3.2 Mapa de Danos

A legenda para todas as manifestações patológicas representadas nos mapas de danos está contida na Figura 3.

O mapa de danos da fachada Norte (Figura 4) representa a presença de microfissuras, manchamentos e eflorescência. Esta é uma das fachadas com maior presença de manifestações patológicas, e isso se deve provavelmente pela chuva dirigida, a direção do vento na região de Belém do Pará de acordo com o programa Sol-Ar, é predominantemente vinda da direção nordeste (Lamberts et.al., 2021).

PATOLOGIAS









	MANCHAMENTO POR UMIDADE - Laranja		EFLORASCÊNCIA
	MANCHAMENTO POR UMIDADE - Preto		DANO AO REBOCO
	MANCHAMENTO POR UMIDADE - Verde		MICROFISSURAS
	DESCOLAMENTO - DESTACAMENTO		FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS

Figura 3. Legenda para a representação das manifestações patológicas nos mapas de danos.



Figura 4. Mapa de danos da fachada Norte.

A maior presença do manchamentos em determinado setor da fachada se deve ao fato dessa região não apresentar proteção suficiente quanto a chuva, ou seja, a falta de elementos arquitetônicos para diminuir a incidência da umidade sobre a fachada é a principal responsável por essa diferença (Melo-Junior, 2010). A região mais à direita possui elementos verticais e horizontais que funcionam como brises, diminuindo a incidência do sol e da chuva sobre essas fachadas (Poyastro, 2011), os elementos nada mais são que lajes e pilares projetados para fora da fachada. A Figura 5 apresenta uma fotografia da fachada Norte onde é possível visualizar a falta de detalhes arquitetônicos na região manchada, enquanto a outra região se mantém mais protegidas pelos elementos verticais e horizontais da arquitetura.

Erros construtivos também foram encontrados, os mais comuns foram nos peitoris, havia uma falta de uniformidade no assentamento, onde praticamente todos apresentavam algum erro, como falta de inclinação adequada, projeção para fora da parede e/ou comprimento além das janelas insuficientes, causando muita concentração de manchamentos nos cantos inferiores dessas esquadrias, bem como um aumento de microfissuras nessas regiões.

A fachada Leste também é a que sofre maior incidência da chuva dirigida, juntamente a fachada posicionada para a direção Norte. O mapa de danos (Figura 6) ilustra a área de manchamento devido a umidade, e é perceptível manchamentos sobre os elementos estruturais de intensidade bem menores que na alvenaria argamassada. Isso ocorre provavelmente devido à quantidade de poros bem menor do concreto estrutural. Devido a isso é formado esse padrão de manchamento na região mais à direita da fachada. O mesmo não ocorre na região mais central da fachada, essa região é mais projetada que a anterior, então a incidência da chuva tende a ser maior, neste caso a chuva pode ter facilitado o manchamento sobre os elementos estruturais, ou carregado a sujidade das áreas de alvenaria argamassada para os elementos estruturais.



Figura 5 - Fotografia da fachada Norte

Nesta fachada, também são perceptíveis descolamentos de pintura e massa na região central da fachada, aparentemente essa região estava fragilizada por erros construtivos e teve uma alta degradação mais localizada. Além disso, na região mais à direita desta fachada, aparecem fissuras e microfissuras em um padrão específico, indicando que são provenientes de uma diferença de deformação entre os elementos estruturais e a alvenaria utilizada para o fechamento dos vãos. É importante mencionar que este detalhe arquitetônico não foi construído como estava no projeto (Figura 7), a mudança durante a obra pode ter ocasionado problemas como a falta ou má instalação de uma amarração entre a alvenaria e os elementos estruturais, causando essas manifestações.

As fachadas Oeste e Sul (Figura 8 e 9), apresentam manifestações patológicas similares às anteriores, porém em menores quantidades, o que era esperado, devido a menor incidência de chuva dirigida. Mesmo assim, a falta de elementos construtivos que diminuam a incidência da chuva ainda é necessária em algumas regiões que apresentam manchamentos e eflorescência, além disso são perceptíveis os mesmos erros de execução no assentamento dos peitoris das janelas.

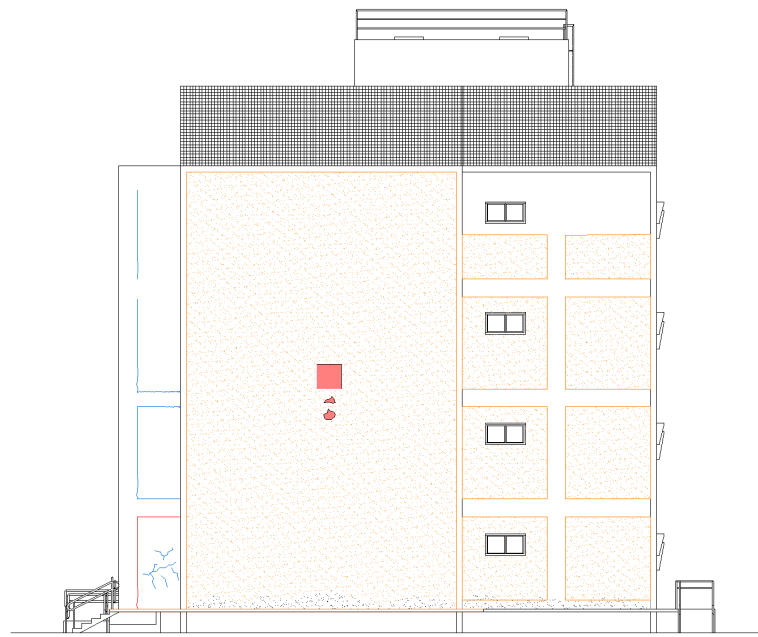


Figura 6. Mapa de danos fachada Leste

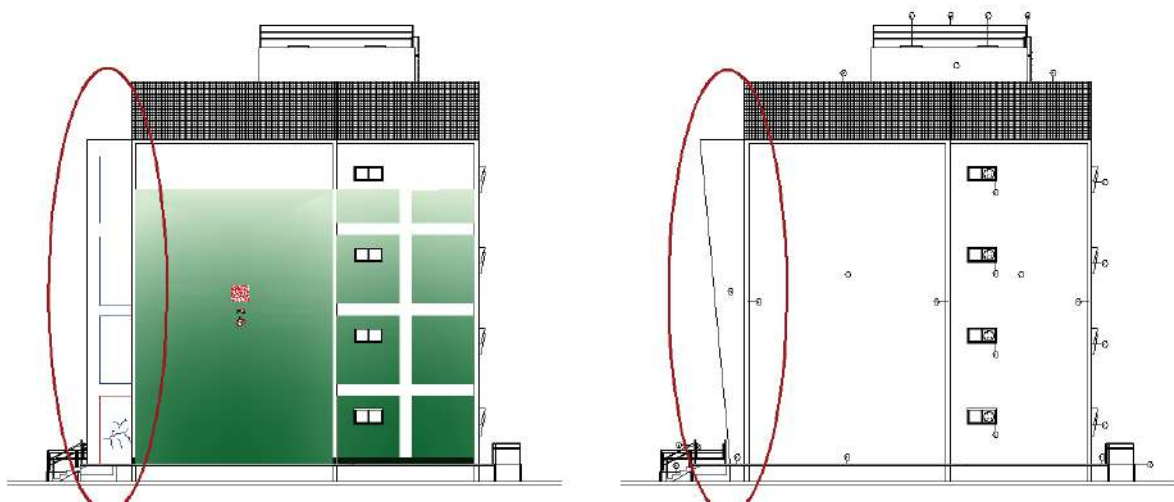


Figura 7. Comparação entre o construído e o projeto respectivamente.

A fachada Oeste apresenta pequenos danos no revestimento argamassado (Figura 2C), sendo estes pontuais e provavelmente foram causados na execução ou por alguma intervenção posterior.



Figura 8. Mapa de danos fachada Oeste.



Figura 8. Mapa de danos fachada Sul

A fachada Sul apresenta maiores manchamentos na região mais à direita, pois é a única região que não apresenta nenhum detalhe arquitetônico que diminua a incidência da chuva, causando um manchamento quase que contínuo sobre toda sua extensão, com exceção dos elementos estruturais, que nesse caso são as vigas dos pavimentos e vigas da escada.

Fica evidente que a presença de detalhes arquitetônicos pode diminuir a ocorrência de algumas manifestações patológicas nas edificações (Chong e Low, 2006). Fachadas com detalhes que diminuem a incidência de agentes agressivos como a chuva e o sol tendem a apresentar manchamentos em menores quantidades ou até nenhum manchamento.

Além de uma análise mais subjetiva ao visualizar de forma ampla as fachadas e suas manifestações patológicas, a identificação realizada através do mapa de dano tem uma função importante em quantificar as áreas afetadas no cálculo do FD e do FGD.

3.3 Fator de Dano

Os resultados do FD (Tabela 3) indicam que o prédio analisado sofre principalmente com os manchamentos, gerando camadas enormes de biofilme ao longo das fachadas, que ocupam 7,49% das fachadas. Em seguida está a eflorescência, ocupando quase 1% das fachadas. As demais manifestações ocupam porcentagens bem abaixo de 1%, indicando que elas não apresentam uma urgência no reparo.

Esta análise é importante, pois representa uma realimentação da situação do prédio, identificando as falhas de projeto e/ou execução para que não sejam repetidas (Sousa e Abiko, 1997; Othman, 2007).

Desta forma, o manchamento em conjunto com a proliferação de agentes biológicos, além de apresentar a maior área de ocorrência, também é considerado a mais grave devido a extensão de biofilme e dos danos que ele pode causar a integridade da construção e aos usuários como mencionado anteriormente, o que torna essa anomalia a mais urgente a ser tratada (Pereira et./al., 2015). No entanto, como já discutido, o FD apresenta a ocupação das manifestações patológicas, não pondera sua importância, por isso o cálculo do FGD faz-se necessário.

Tabela 3 – Valores de FD para cada manifestação patológica.

Classificação	Tipo de Dano (n)	FD
1	Microfissuras	0,88%
2	Fissuras	0,29%
3	Eflorescência	11,24%
4	Manchamento (biofilme)	87,24%
5	Descolamento da camada de tinta	0,34%
6	Dano no revestimento argamassado	0,01%

O resultado do FGD foi de 2,44%, indicando um nível de degradação consideravelmente baixo. Porém esse valor refere-se a todas as fachadas, inclusive aquelas pouco degradadas e ao se utilizar esse fator nesse formato pode gerar uma falsa sensação de baixa degradação. Devido a isso, o cálculo do FGD foi refeito considerando somente as fachadas leste e norte por serem as mais degradadas. O valor de FGD foi de 9%, mais que o triplo do valor anterior, indicando um nível de degradação maior. E se for analisado ainda as fachadas separadas, percebe-se que a fachada Leste

apresenta o maior valor de FGD, correspondendo a 28%, ou seja, apresentando altos níveis de degradação.

Desta forma, fica claro que a orientação das fachadas influencia diretamente no Fator Geral de Degradação das mesmas, além disso, os fatores de dano ou degradação se tornam grandes indicadores para a tomada de decisão ao se cogitar uma intervenção, assim como se torna uma ferramenta para auxiliar na identificação das causas por trás das manifestações, como no caso deste trabalho, com um FGD maior nas fachadas Leste e Norte, indicando que a chuva dirigida que provem dessas direções é provavelmente o principal agente de degradação dessas fachadas.

4. CONCLUSÕES

As análises dos fatores de danos foram feitas com o objetivo de quantificar e obter-se uma visão coletiva sobre as deteriorações presentes nas fachadas. Os resultados do FD e FGD mostrou-se eficiente na representação das degradações, considerando que os fatores admitidos permitiram estabelecer que os manchamentos por umidade é a manifestação patológica mais recorrente nas fachadas analisadas, sendo que sua intensidade de degradação segue a ordem: Leste, Norte, Sul e Oeste (maior para menor), já as outras manifestações patológicas encontradas mostrou-se menos recorrente, tendo como causas problemas de execução, diferenciação entre materiais utilizados nos elementos, dentre outros.

De uma forma geral, a orientação das fachadas influencia diretamente no fator geral de degradação das mesmas, além disso, os fatores de dano ou degradação se tornam grandes indicadores para a tomada de decisão ao se cogitar uma intervenção, assim como se torna uma ferramenta para auxiliar na identificação das causas destas anomalias, como no caso deste trabalho.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Pará pela disponibilização de documentos para o desenvolvimento deste trabalho, assim como pelo apoio a pesquisa desenvolvida.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT. (2020). NBR 16747: Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro.
- Bauer, E.; Castro, E. K.; Silva, M. N. B. (2015), Estimate of the facades degradation with ceramic cladding: Study of Brasilia buildings. *Cerâmica*, v. 61, n. 358, p. 151–159.
- Caixa Economica Federal (CEF). (2021), Referencia de Isumos e composições de preço. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/>
- Chong, W.; Low, S. (2006), Latent Building Defects: Causes and design strategies to prevent them. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. v. 20, n. 3, p. 213-221.
- Lamberts, R.; Maciel, A. A.; Ono, E. (2021), “Sol-Ar.” Laboratório de Eficiência Energética das Edificações.
- Melo Junior, C. M. (2010), Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de

Goiás.

Othman, A. (2007), Maintenance management and generating sustainable values in construction projects. Proceedings of the 1st Construction Industry Research Achievement International Conference (CIRAIC 2007).

Pereira, C.; De Brito, J.; Correia, J. R. (2015), Building Characterization and Degradation Condition of Secondary Industrial Schools. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 29, n. 5, p. 04014128.

Poyastro, P. C., (2011), Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Santos, D. G. Macêdo, M. S. P. H., Souza, J. S. e Bauer, E. (2018), Mensuração e distribuição de patologias na degradação em argamassa. *Gestão e Gerenciamento*, v. 2, n. 1, p. 13.

Silva, M. De N. B. (2014), Quantitative evaluation of degradation and service life of facade coatings – application to Brasilia/DF's case. Tese de Doutorado. University of Brasilia.

Sousa, R. de; Abiko, A. (1997), Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte. Escola Politécnica da USP, São Paulo.

Sousa, R. D. B. (2008), Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa.

Souza, J. S. (2019), Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília.

Taguchi, M. K. (2010), Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

Thomaz, E. (1989), Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. PINI, 1. ed. São Paulo.

Identificação de manifestações patológicas em unidade educacional de Castro Alves – BA: um estudo de caso

R. Santos^{1*}, L. Farias², L. De Sousa^{3*}

*Autor de Contato: lucarb08@gmail.com

^{1,3} Faculdade de Engenharia civil, Faculdade de Ciências e Empreendedorismo, FACEMP, Santo Antônio de Jesus, Brasil

² Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

As manifestações patológicas podem surgir pelo envelhecimento e ação de intempéries, comprometendo a funcionalidade da estrutura ou outros componentes de uma edificação. No entanto, quando ocorrem na fase construtiva evidenciam problemas na execução, acarretando prejuízos financeiros e atraso na conclusão da obra. Este artigo tem como finalidade analisar manifestações patológicas em uma unidade educacional pública em fase construtiva, localizada no município de Castro Alves – Bahia, Brasil. Foram identificadas fissuras ou trincas devido à corrosão de armadura em concreto armado, em alvenarias, pela ausência de vergas ou contravergas em aberturas de portas ou janelas. Identificou-se manchas de umidade, lixiviação e de corrosão que evidenciam incidência de água de chuva constante. Estas manifestações indicam falhas durante a execução e planejamento da obra.

Palavras-chave: Manifestações patológicas; fase construtiva; construção civil.

ABSTRACT

Pathological manifestations can arise from aging and the action of weather, compromising the functionality of the structure or other components of a building. However, when they occur in the construction phase, they show problems in execution, resulting in financial losses and delays in completing the work. This article aims to analyze pathological manifestations in a public educational unit under construction, located in the municipality of Castro Alves – Bahia, Brazil. Cracks were identified due to corrosion of reinforced concrete reinforcement, in masonry, due to the absence of lintels or counter lintels in door or window openings. Moisture, leaching and corrosion stains were identified, showing constant incidence of rainwater. These manifestations indicate failures during the execution and planning of the construction.

Keywords: Pathological manifestations; constructive phase; construction.

RESUMEN

Las manifestaciones patológicas pueden surgir por el envejecimiento y la acción del mal tiempo, comprometiendo la funcionalidad de la estructura u otros componentes de un edificio. Sin embargo, cuando ocurren en la fase de construcción, presentan problemas en la ejecución, resultando en pérdidas económicas y retrasos en la finalización de la obra. Este artículo tiene como objetivo analizar las manifestaciones patológicas en una unidad educativa pública en construcción, ubicada en el municipio de Castro Alves - Bahía, Brasil. Se identificaron fisuras o fisuras por corrosión de armaduras de hormigón armado, en mampostería, por ausencia de dinteles o contra dinteles en aberturas de puertas o ventanas. Se identificaron manchas de humedad, lixiviación y corrosión, que muestran una incidencia constante de agua de lluvia. Estas manifestaciones indican fallas durante la ejecución y planificación de la obra.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas; fase constructiva; construcción civil.

1. INTRODUÇÃO

A patologia ficou conhecida, no ramo da engenharia, como a ciência que investiga as origens e mecanismos de ocorrência de inconformidades que afetam aspectos estruturais e estéticos da edificação (Helene, 2003; Nazário e Zacan, 2011). As manifestações patológicas podem ser oriundas do uso de materiais inadequados, falhas na execução ou pela ausência de manutenção na estrutura ou outros componentes da construção. Também ocorrem efeitos adversos com a ação de intempéries resultando na deterioração e envelhecimento da estrutura, então resultando em diminuição do desempenho da edificação (Costella et al., 2015).

De modo a evitar problemas na execução de uma construção é necessário projeto bem detalhado, com informações claras e precisas, além do planejamento verosímil e controle eficiente das etapas construtivas, com investimentos em mão de obra qualificada e materiais de qualidade (Caporrino, 2018). Logo, se não for adequadamente executado, podem surgir manifestações patológicas como fissuras, trincas ou rachaduras, falhas de impermeabilização, indicando que a estrutura e os sistemas construtivos não possuem desempenhos adequado (Thomaz, 1998).

De acordo com Lapa (2008), as manifestações patológicas também estão relacionadas à velocidade de expansão do mercado da construção civil, pois houve a adesão à novas tecnologias construtivas e absorção de mão de obra de baixa qualificação. A NBR 6118 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014) e NBR 15575 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013) são normas que evidenciam a relevância da durabilidade da estrutura e o desempenho da edificação, respectivamente.

Os cuidados para que a edificação seja durável abrange desde a fundação dimensionada de acordo com a resistência do solo e efetuando-se a impermeabilização (Milititsky, 2015). Os projetos da superestrutura (pilares, lajes e vigas) devem interagir com a fundação, a fim de evitar problemas de recalques e deformações excessivas em elementos estruturais (Velo e Lopes, 2010).

De acordo com Lottermann (2013), as manifestações patológicas com surgimento em período inferior a 2 anos se relacionam às fases de planejamento, projeto, fabricação e construção. Enquanto, aquelas que surgem ao longo de um tempo maior podem ser relacionadas a utilização. Holanda (2015) sugere que causas químicas da deterioração de materiais cimentícios podem ser agrupadas em três categorias. Estas categorias são a hidrólise dos componentes da pasta de cimento hidratada por água pura, trocas iônicas entre agentes agressivos dissolvidos em fluidos e compostos do cimento hidratado e reações com produtos expansivos com reação de sulfatos, reação álcali-agregado e corrosão da armadura no concreto.

Diante da problemática do constante surgimento de manifestações patológicas em construções, sendo ainda mais grave sobre ponto de vista econômico, quando tem origem na entrega da obra ou antes deste evento, faz com que seja relevante estudar os motivos que levam a este fato, de modo a evitar situações similares. Neste trabalho foram analisadas as manifestações patológicas de uma Unidade Educacional Pública, no município de Castro Alves-BA, bem como as principais causas do seu surgimento e possíveis reparos a serem realizados na obra.

2. METODOLOGIA

Foi realizado um estudo de caso em uma unidade educacional com 12 salas padrão Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) (Figura 1), no município de Castro Alves-BA, possui 3.228,08 m² de área construída, distribuídas em blocos, conforme a Figura 2.

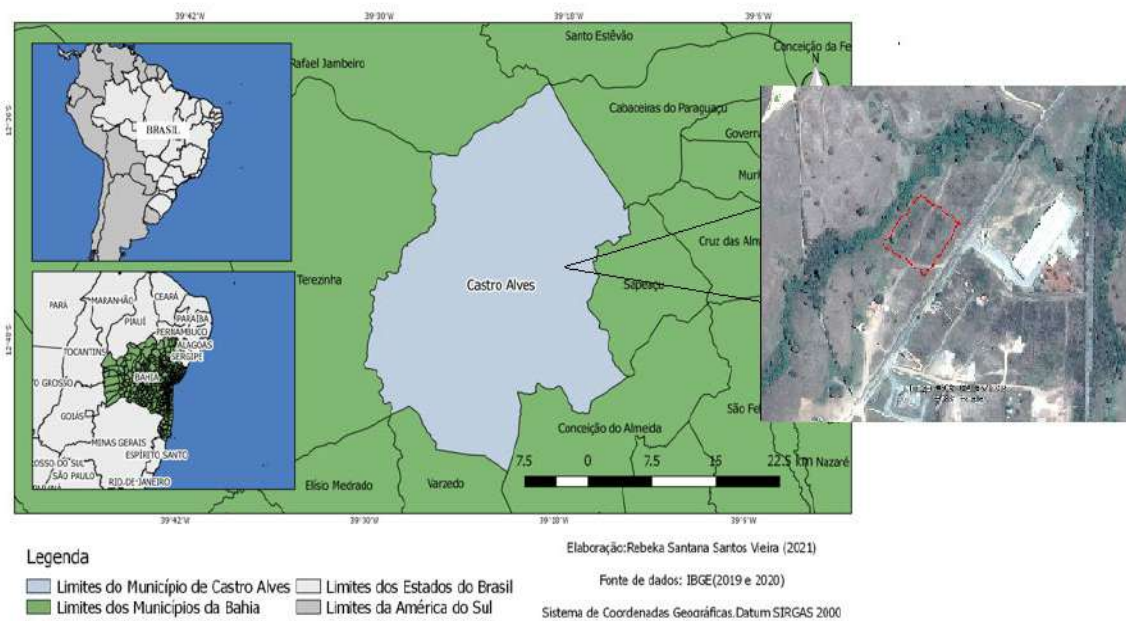


Figura 1. Localização da escola no Município de Castro Alves, Bahia.

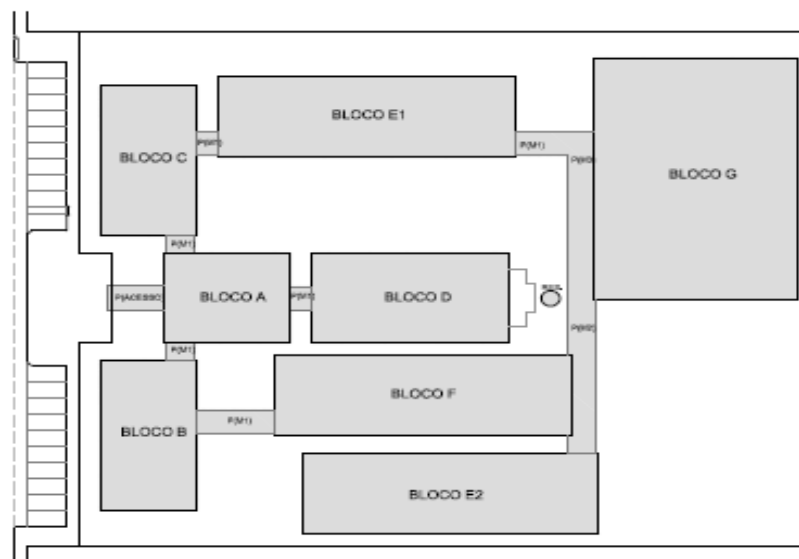


Figura 2. Croqui de referência da obra.

A edificação está em fase de desenvolvimento (Figura 3). A obra foi paralisada aproximadamente por 120 dias, houve alteração da empresa responsável pela execução. A empresa encarregada pela continuidade da obra necessitou analisar e reparar problemas encontrados na estrutura, alvenarias e piso.

A edificação é composta por uma estrutura mista, com cobertura metálica, e sistema de vigas e pilares em concreto armado e a alvenaria como elemento de vedação de bloco cerâmico.



Figura 3. Perspectiva da fachada da obra.

Para o estudo de caso foi realizada uma vistoria da obra, em janeiro de 2021, identificando visualmente as manifestações patológicas, efetuando-se registros fotográficos para análise e busca de possíveis causas, prevenção e tratamentos. A análise e discussão foi embasada na literatura especializada (artigos, monografias, dissertação, tese e livros) sobre o tema: manifestações patológicas em edificações.

3. RESULTADOS

3.1 Identificação das manifestações patológicas e avaliação das possíveis causas

A fissuração mapeada (Figura 4) foi encontrada em algumas alvenarias, esta manifestação é resultante do processo de retração da argamassa de revestimento ao perder água. Em geral, estas fissuras podem surgir de dilatação devido à ação térmica e hidros cópica no revestimento.



Figura 4. Fissuras mapeadas na argamassa na parede externa do bloco F.

A depender da qualidade da argamassa, um traço inadequado ou ausência do processo de cura pode resultar em fissuras de retração que podem ser agravadas por efeitos térmicos (Farias et al., 2017, Oliveira et al. 2019). Ao consultar Thomaz (1989), percebe-se que a retração causa diminuição do volume do material o que leva ao surgimento de fissuras. Contudo, trata-se de uma manifestação patológica não relacionada a problemas estruturais (Farias et al., 2017).

Nas aberturas de vãos nas alvenarias para portas e janelas foram encontradas trincas, Figura 5 (a) e (b), ocasionadas pelo acréscimo de tensões nas áreas ao lado da abertura onde há alvenaria. O surgimento destas trincas tende a ocorrer com inclinações de 45° nos cantos das aberturas.

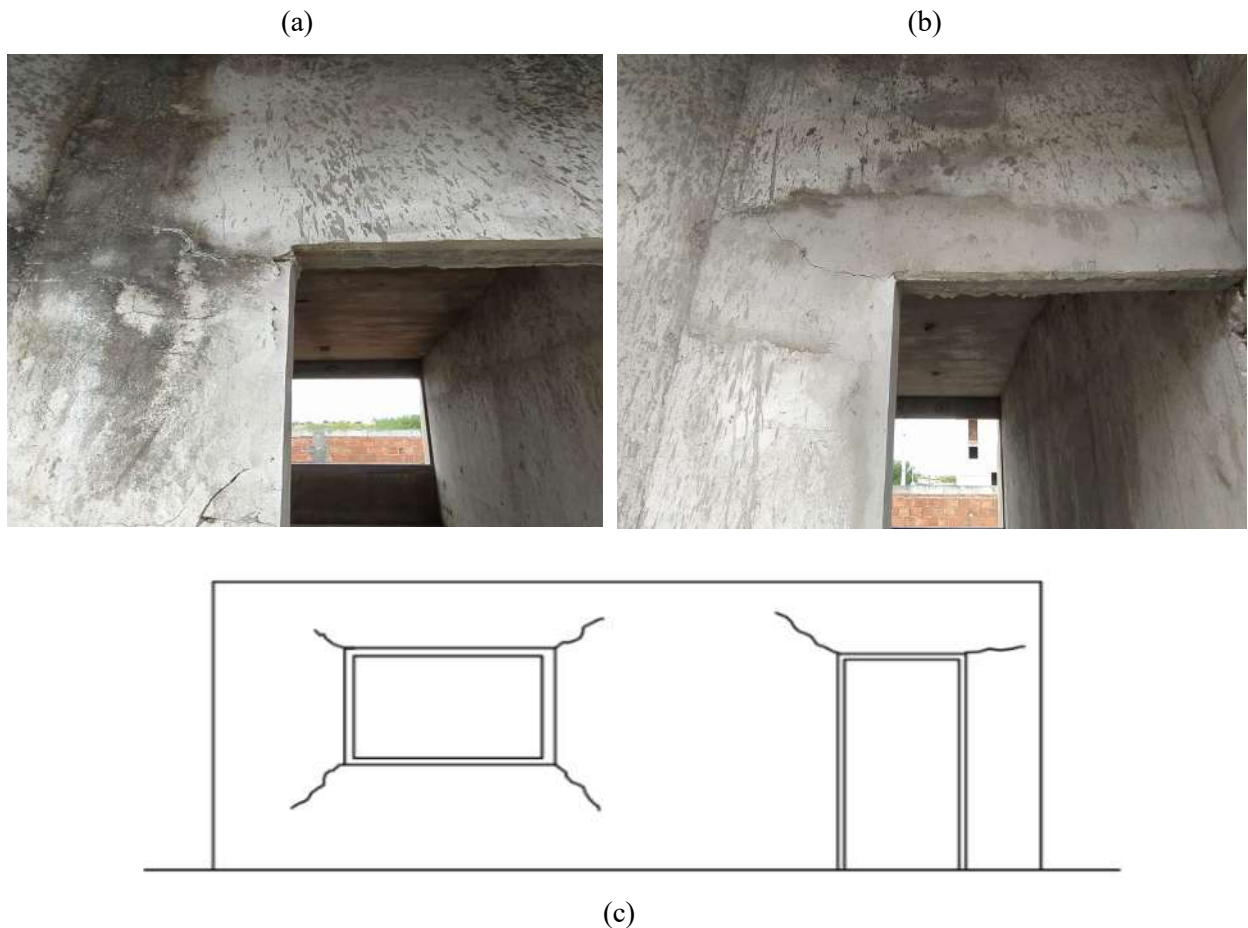


Figura 5. Trincas no canto das aberturas da porta devido à sobrecargas na alvenaria a) e b), representação de fissuras ou trincas de acordo com Thomaz (1989).

Na Figura 5 (c) é representado um modelo teórico de padrões de fissuras por ausência de vergas (vigas de pequenas dimensões contendo reforço de aço localizadas acima de aberturas de janelas ou portas) e contravergas (vigas de pequenas dimensões contendo reforço de aço localizadas abaixo de aberturas da janela).

O surgimento de fissuras próximas as aberturas, segundo Thomaz (1989) deve-se a sobrecarga causada por carregamentos de compressão excessivos a partir dos vértices da abertura. A NBR 8545 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984), informa que as vergas e contravergas devem exceder a largura do vão de pelo menos 20 cm de transpasse para cada lado e ter altura mínima de 10 cm. A execução incorreta deste elemento, não respeitando as dimensões mínimas ou a ausência dele é a principal causa do surgimento de fissuras ou trincas próximas as aberturas para esquadrias.



Figura 6. Trincas e manchas de fluxo de água no peitoril da janela (a) e (b).

A trinca na extremidade inferior da janela e manchas de umidade foram observadas na argamassa de revestimento evidenciadas na Figura 6. As trincas na parte inferior das janelas se relacionam à ausência de contraverga ou na execução inadequada desta. Além disso, se houver maior exposição a água, aumenta-se os riscos de formação de fissuras e trincas geradas pela corrosão da armadura da contraverga, se esta for construída. A ausência de vedação das aberturas durante o período em que a construção foi interrompida pode ter favorecido a incidência de água e surgimento de manchas.

Os peitoris são detalhes arquitetônicos que também tem a função de não permitir o escoamento de água de chuva pela parede, logo a instalação inadequada por erro de execução, a exemplo de inclinação incorreta podem causar problemas na região localizada. De acordo com Thomaz (1989) deve-se substituir peitoris e executar de forma adequada.

Em relação a elementos estruturais em concreto armado, observa-se na viga (Figura 7) a formação de uma trinca que pode ser resultante da movimentação da viga, devido à variação de temperatura e umidade do ambiente externo. A ocorrência destas fissuras ou trincas pode estar relacionada à corrosão do aço do estribo, inferindo-se pelo posicionamento da fissura e manchas com coloração de ferrugem. Em casos de fissuras inferiores a 0,3 mm é indispensável tratamento (Helene, 1992).



Figura 7. Fissura localizada na viga (a) e (b).

Na Figura 8 é evidenciada uma trinca ao longo da altura do pilar, isto pode ter ocorrido devido à corrosão e expansão do aço, nota-se que nesta área há manchas de umidade, indicando que houve incidência de água potencializando a corrosão e fragilizando o concreto. Além do caso observado, fissuras em pilares podem indicar sobrecarga excessiva (Thomaz, 1989).



(a)



(b)

Figura 8. Trinca localizada no pilar (a) e (b).

Na obra foi identificada na Figura 9 uma trinca horizontal localizada na alvenaria sobre a qual se apoia treliças metálicas que servem como suporte do telhado.



Figura 9. Fissura localizada na alvenaria da fachada.

Esta trinca na alvenaria (Figura 9) ocorre, pois, a alvenaria não é capaz de resistir a momentos fletores provocados por forças transversais ao plano da alvenaria. Estas forças podem ser oriundas

do processo de montagem da peça metálica, bem como pela pressão do vento. Neste caso, seria preciso o reforço estrutural com vigas e pilares de concreto armado na platibanda para absorver esforços do vento e da cobertura. Tal como aponta Thomaz (1989) as fissuras ou trincas horizontais também podem surgir por compressão dos componentes (junta da argamassa ou dos septos dos blocos de furos horizontais e tijolos) em razão ao excesso de carregamento de compressão na parede ou por possíveis solicitações de flexocompressão.

Outras manifestações patológicas observadas que se relacionam a umidade são observadas na Figura 10, Figura 11 e Figura 12, sendo evidenciadas em manchas na superfície dos elementos, devido à incidência de água de chuva e poeira presente no ambiente. O tempo maior de contato da água na superfície porosa da argamassa maior é a possibilidade de aparecimento de manchas.



Figura 10. Mancha de umidade (a) Viga com manchas de umidade, bolor e exsudação de hidróxido de cálcio (b).

Na Figura 10 b) nota-se uma viga com manchas de sujeira de coloração escura que podem reter mais umidade e agravar a situação da peça estrutural. As manchas esbranquiçadas são evidências de exsudação do hidróxido de cálcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ composto produzido na hidratação do cimento que é passível de ser lixiviado pela água da chuva. Este problema observado em uma viga pode comprometer a estrutura ao causar corrosão da armadura e gerar vazios no elemento estrutural.

Werneck et al. (2020) afirma que manchas ou eflorescência são causadas pela permeabilidade do do material cimentício, sendo favorecido por fissuras, percolando à água e promovendo a dissolução e carreamento do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ do cimento hidratado. Após o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ser levado à superfície pela água, este se precipita quando a água é evaporada.



Figura 11. Laje com sinais de umidade e bolor, descascamento do revestimento e detalhe da caixa de passagem elétrica.

Na Figura 11 nota-se manchas esbranquiçadas e escurecidas, indicando a exsudação do hidróxido de cálcio e bolor, respectivamente, favorecidos pela presença de umidade no local. Nesta imagem nota-se o descascamento do revestimento da superfície da laje, sendo também resultado da variação da umidade e carbonatação que formam produtos expansivos (WERNECK et al., 2020). Ainda se percebe excesso de eletrodutos na caixa de passagem da rede elétrica, indicando instalação não conforme norma NBR 5410 (ABNT, 2004).

Durante a inspeção foram percebidas falhas oriundas do processo executivo, a exemplo da Figura 12, há falhas na concretagem do pilar oriundas de falta de adensamento do concreto.



Figura 12. Falhas na concretagem do pilar.

Também foram percebidos algumas tentativas de correção de manifestações patológicas como a inserção de armadura de aço e argamassa costurando a fissura como verificado na Figura 13. Segundo Souza e Ripper (1998) esta técnica é conhecida como grampeamento para o tratamento de fissuras ativas que acontecem sobre linhas isoladas, esta armadura é disposta para combater o esforço extra de tração que provocou a fendilhação. No entanto, está técnica pode não ser adequada pois pode transferir a fissura para região adjacente, especialmente quando as fissuras ocorrem na alvenaria que não possui resistência à esforços mecânicos.

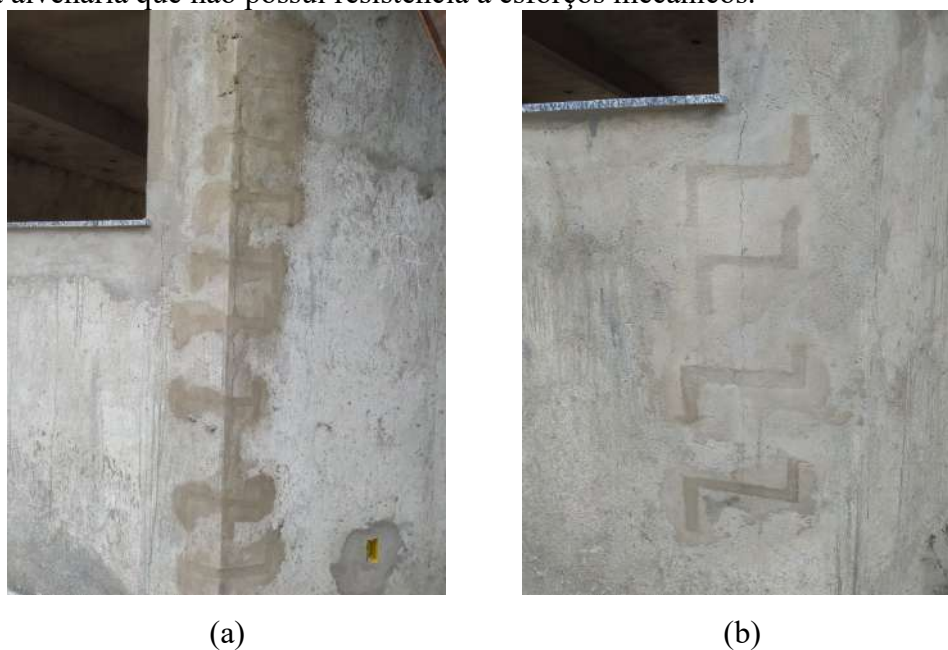


Figura 13. Procedimentos de reparos para controle de algumas fissuras (a) e (b).

Para as manifestações patológicas observadas foram expostos na Tabela 1 alguns procedimentos de prevenção e solução que podem servir como base e ser aplicadas na obra objeto de estudo.

Tabela 1. Procedimentos de prevenção e Correção das manifestações identificadas.

Diagnóstico patológico	Solução	Prevenção	Referências
Mofo, bolor	-Lavar toda área afetada com escova de aço ou pano e uma mistura de água sanitária e água potável na proporção 1:1; deixar a solução agir aproximadamente 4 (quatro) horas lavar com água a fim de eliminar resíduos de água sanitária; repetir até o mofo seja eliminado.	- Projetar locais arejados, bem ventilados e evitar infiltração de umidade nas paredes por água da chuva ou ascendente do solo ou por falha nas instalações com água.	Gaspar (2009) Helene (1992) NBR 7200 (1998) Verçoza (1991)
Goteiras e manchas de umidade	-Retirada de todo reboco desprendido; -Execução de novo reboco com aditivo impermeabilizante.	-Aplicação de elementos arquitetônicos (pingadeiras).	
Fissuras em vigas de retração hidráulica ou térmica	- Evitar a secagem prematura do concreto (cura inadequada); -Recuperar ou reforçar o componente estrutural.	- Fissuras abaixo de 0,1mm sem consequência; - Abertura < ou igual 0,1 mm, é dispensado qualquer tratamento; - Abertura > ou igual 0,3 mm ativa, colmatar com selante.	Thomaz (1989), Casotti (2007), NBR ABNT 9575/2010; Zanzarini (2016).
Fissuração mapeada	- Novo revestimento empregando adesivo base acrílica ou base epóxi como ponte de aderência; - Colmatar as fissuras com estucamento.	-Melhorar a cura; -Melhorar o acabamento - Controle do excesso de água de amassamento.	Thomaz (1989), Souza; Ripper (1998), Zanzarini (2016).
Fissura em pilar	- Retirar o concreto afetado e produtos da corrosão; - Repor a seção original da armadura; - Se houver agentes agressivos, efetuar a correção com primer para proteção da armadura; - Aumentar a seção do pilar; - Aplicar revestimento de proteção.	- Dimensionar corretamente o pilar de acordo com a sobrecarga; - Controle de qualidade da concretagem; -Garantir cobrimento adequado.	Brito (2017)

Tabela 1. Continuação.

Diagnóstico patológico	Solução	Prevenção	Referências
Eflorescência	- Renovação do revestimento com escova de aço, limpeza com solução de ácido muriático; - Retirar a película, eliminar a causa da infiltração, secar substrato antes de pintar.	- Verificação de possíveis infiltração.	Helene (1992) GONÇALVES (2007) NBR 7200:1998
Fissuras por ausência de vergas e contravergas	- Execução de vergas e/ou contravergas.	Execução das vergas e contravergas por meio de blocos canaletas, pré-moldados e até mesmo executadas diretamente no local conforme dimensionamento correto.	Souza; Ripper (1998), NBR 6118 (ABNT, 2014), Zanzarini (2016).

4. CONCLUSÕES

Neste estudo foram observadas manifestações patológicas na fase construtiva da edificação, tais como fissuras, manchas de umidade, bolor e exsudação do hidróxido de cálcio do cimento hidratado. A presença de umidade proveniente da água de chuva em componentes da construção sem proteção por longo período que proporcionou o surgimento da maioria das manifestações observadas ou as agravou.

Outros problemas observados foram ausência ou execução incorreta de verga e contravergas que alertam para obras executadas sem fiscalização adequada, já que estes componentes são essenciais e amplamente conhecidos no meio da construção. Também foram identificadas fissuras em alvenaria causadas por função incorreta desta, utilizando-as como elementos estruturais para cobertura.

Os problemas patológicos observados evidenciam erros construtivos e de planejamento da obra. As manifestações patológicas na fase construtiva acarretam prejuízos financeiros e atraso na entrega da obra, de modo a evitá-las, o controle de execução da obra é essencial, visando garantir o desempenho e durabilidade da edificação ao longo do tempo. Porém quando percebidas na fase construtiva, deve-se realizar a intervenção correta rapidamente, visto que após finalizada a obra, as intervenções tornam-se mais custosas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Ciências e Empreendedorismo (FACEMP) pelo apoio e incentivo fornecido ao desenvolvimento do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais*, Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais*, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*, Rio de Janeiro.
- Brito, T. F. (2017). “*Análise de Manifestações Patológicas na Construção Civil pelo Método GUT: estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior*”, João Pessoa.
- Caporrino, C. F. (2018). “*Patologias em alvenarias*”, 2. ed, Oficina de Textos, São Paulo.
- Costella, M.F. et al. (2015). “*Determinação da Tensão de Ruptura de Materiais Utilizados na Recuperação de Fissuras em Parede de Alvenaria de Vedação*”. Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Faculdade Meridional IMED, Mestrado em Tecnologia e Gestão da Inovação e Projeto de Mestrado em Engenharia Civil.
- Farias, L.E.A. et al (2017). “*Análise de Causas e Custos para Recuperação de Fissuras em uma Fachada de um Condomínio de Pequena Idade*”. Faculdade Educacional Araucária, Curitiba, Paraná.
- Gonçalves, E. A. B. (2015). “*Estudo de Patologias e suas Causas nas Estruturas de Concreto Armado de Obras de Edificações*”, Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2015.
- Helene, P. R. L. (1992). “*Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*”. 2. ed, PINI, São Paulo.
- Holanda, M. J. de O. (2015). “*Técnicas Preventivas e de Recuperação de Estruturas de Concreto*”. Universidade Estadual da Paraíba.
- Lapa. J. S. (2008). “*Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto*”. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.
- Lottermann, A. F. (2013). “*Patologias em Estruturas de Concreto: Estudo de caso*”, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Ijuí, Rio Grande do Sul.
- Milititsky, J, Consoli, N.C e Schnaid, F. (2015). “*Patologia das fundações*”. Oficina de textos, São Paulo.
- Oliveira, G. M. V. et al. (2019). “*Análise de fissuras em alvenaria de vedação – Estudo de caso: uemg unidade de João Monlevade*”, Research, Society And Development, [S.L.], 8 (12), p. 368121617.
- Souza, V. C. de; Ripper, T. (1998). “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*”. 1. ed, Pini, São Paulo.
- Thomaz, E. (1989). “*Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*”. 1. ed, Pini, São Paulo.
- Verçozza, E. J. (1991). “*Patologia das Edificações*”. Sagra.
- Werneck, L. P., Costa, T. A e Ferreira, B. C. S. (2020). “*Estudo e avaliação do ciclo de vida do ambiente construído: uma análise sobre as possíveis manifestações patológicas que afetam edificações*”, Brazilian Journal Of Development, [S.L.], 6, (9), p. 70460-70475.

Análise de manifestações patológicas associadas a umidade em residências unifamiliares em Santo Antônio de Jesus – Bahia

D. Nascimento*, L. Farias², L. De Sousa^{3*}

*Autor de Contato: lucarb08@gmail.com

^{1,3} Faculdade de Engenharia civil, Faculdade de Ciências e Empreendedorismo, FACEMP, Santo Antônio de Jesus, Brasil

² Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

As manifestações patológicas, na construção civil, evidenciadas por manchas de umidade, bolhas em pinturas, corrosão do aço e eflorescência tem relação forte com a alta umidade do ambiente. Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo identificar manifestações patológicas e, de forma preliminar, apresentar os processos necessários de recuperação em residências onde o solo possui nível de água alto. O estudo foi realizado por meio de um estudo de caso da rua Nestor Santos do município de Santo Antônio de Jesus – Bahia, Brasil, através de visitas técnicas, *checklists* e registros fotográficos das manifestações patológicas. Constatou-se que as manifestações patológicas relacionadas à umidade como umidade ascendente por capilaridade foram as mais observadas acarretando manchas, proliferação de fungos, corrosão e eflorescências. As residências foram construídas sem projeto ou execução de impermeabilização. Todos os tratamentos destes sintomas de deterioração devem ser feitos após conter a fonte de infiltração de água no componente da edificação com a correta impermeabilização.

Palavras-chave: Manifestações patológicas; construção civil; umidade; impermeabilização.

ABSTRACT

Pathological manifestations in civil construction, evidenced by damp stains, bubbles in paint, steel corrosion and efflorescence, are strongly related to the high humidity of the environment. In this context, this work aimed to identify pathological manifestations and, in a preliminary way, present the necessary recovery processes in homes where the soil has a high water level. The study was carried out through a case study of Nestor Santos street in the municipality of Santo Antônio de Jesus – Bahia, Brazil, through technical visits, checklists and photographic records of pathological manifestations. It was found that pathological manifestations related to moisture, such as rising damp by capillary action, were the most observed, causing stains, proliferation of fungi, corrosion and efflorescence. The houses were built without project or execution of waterproofing. All treatments for these deterioration symptoms must be carried out after containing the water infiltration source in the building component with the correct waterproofing.

Keywords: Pathological manifestations; construction; moisture; waterproofing.

RESUMEN

Las manifestaciones patológicas en la construcción civil, evidenciadas por manchas de humedad, burbujas en la pintura, corrosión del acero y eflorescencias, están fuertemente relacionadas con la alta humedad del ambiente. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo identificar las manifestaciones patológicas y, de manera preliminar, presentar los procesos de recuperación necesarios en los hogares donde el suelo tiene un alto nivel de agua. El estudio se realizó a través de un estudio de caso de la calle Nestor Santos en la ciudad de Santo Antônio de Jesus - Bahía, Brasil, a través de visitas técnicas, listas de verificación y registros fotográficos de manifestaciones patológicas. Se encontró que las manifestaciones patológicas relacionadas con la humedad como la humedad ascendente por capilaridad fueron las más observadas, provocando manchas, proliferación de hongos, corrosión y eflorescencias. Las casas fueron construidas sin proyecto ni ejecución de impermeabilizaciones. Todos los tratamientos de estos síntomas de deterioro deben realizarse después de contener la fuente de infiltración de agua en el componente del edificio con la correcta impermeabilización.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas; construcción civil; humedad; impermeabilización.

1. INTRODUÇÃO

O termo patologia, oriundo das palavras gregas pathos (doença) e logia (ciência) é empregado na engenharia civil para a ciência que investiga causas do aparecimento de fissuras, manchas, entre

outras manifestações consideradas patológicas em uma construção (Peres, 2001). O surgimento de manifestações patológicas se deve à idade avançada das edificações ou, quando ocorre precocemente, associadas a falhas no projeto ou execução.

O estudo das manifestações patológicas é complexo pois estão envolvidos vários fatores, entre os quais pode-se citar: erros no projeto, falha na execução, ausência de manutenção preventiva, material de baixa qualidade ou dosado incorretamente, não considerar a agressividade do meio ambiente (Santos, 2010). Dentre estes fatores, a falta de impermeabilização é agravante para o desempenho da edificação, pois, sem a qual, ficam expostos à água elementos tais como vigas baldrames, paredes, pisos de ambientes molhados, vazamento de água pluvial por calhas de drenagem ou pelo telhado na cobertura, acúmulo de água nos peitoris das janelas e no topo de muros por falta de caimento (Segat, 2005).

O processo de impermeabilização envolve o uso de materiais impermeabilizantes e atenção aos padrões normativos de projeto NBR 9575 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010) e execução NBR 9574 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008). Sempre se faz necessário a mão de obra especializada aliado a um projeto eficiente para que se evite problemas advindos da água infiltrada (Bezerra, 2013).

Segundo Souza e Ripper (2009) na concepção do projeto é fundamental evitar problemas construtivos e procurar soluções técnicas otimizadas visando a segurança, servicibilidade e vida útil da construção. No entanto, é notório a inexistência do projeto de impermeabilização especialmente em construções de pequeno porte, que, em geral, não são assistidas do Engenheiro Civil, Arquiteto ou algum profissional capacitado tecnicamente (Hussein, 2013; Vieira e Barreiros, 2019; Fronza, 2019). A maioria destas construções são, então, passíveis de ter desempenho reduzido após a entrega da obra.

A água tem capacidade de absorver substâncias e transportar íons, logo pode potencializar a corrosão do aço e o surgimento de fissuras ou a desagregação em concreto armado, levando ao aumento do risco de ruptura ou limitações de uso estrutural. Ademais, afirma Suplicy (2012) que quando a água permeia o material cimentício, sucede o aumento de porosidade com o tempo, provocado pela dissolução dos compostos microestruturas e fissuras resultantes da precipitação de compostos expansivos. Então, a permeabilidade de agentes agressivos é facilitada e o material cimentício é deteriorado mais cedo.

A lixiviação, devido ao fluxo de água pelo material cimentício, de compostos químicos hidratados do cimento como o hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ pode resultar em manchas superficiais de cor esbranquiçada e aumento de porosidade do concreto (Metha e Monteiro, 2017). Relata-se ainda surgimento de mofo, empolamento nas pinturas, desagregação da argamassa que prejudicam estaticamente a edificação (IBI Brasil, 2018, Brasil, 2014). O mofo, acúmulo de bactérias e fungos tornam o local frio e prejudicial à saúde humana (Suplicy, 2012).

Estes problemas não se restringem, no entanto, a países em desenvolvimento, pois países como a Noruega estudos relatam que problemas relacionados com a água somam 76% das patologias de edificações (Freitas, 2013). De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2009) cerca de 75% a 80% das manifestações patológicas surgem no revestimento de uma edificação tem suas origens na umidade. Neste contexto, a presença contínua da água nas edificações é problemática na durabilidade e evidencia-se a importância da impermeabilização.

Uma falha recorrente em construções de pequeno porte consiste ausência da impermeabilização de baldrames (fundação em contato com o solo). Isto permite que a umidade ascendente do solo passe pelos elementos da fundação, alcançando até 1 metro de altura em paredes com revestimento de argamassa devido a forças capilares (Cichinelli, 2012).

Algumas soluções para problemas de água ascendente por capilaridade são ineficazes, em caso de paredes com pintura refeita, no futuro será necessário nova intervenção, pois a umidade causará mesmo problema. Em outra situação, pode-se aplicar o revestimento cerâmico para esconder o

problema, no entanto, a umidade pode atingir maiores alturas, ainda causar um ambiente úmido e desconfortável aos moradores.

De acordo com Marques (2005) a fonte de infiltração da água no componente da edificação deve ser inibida antes de qualquer reparo. Embora existam diversas soluções e produtos de impermeabilização, ainda existem falhas ou mesmo inexistência de projetos de impermeabilização em edificações de pequeno porte ou profissionais pouco qualificados para este serviço. Visto isto, este trabalho se propõe a analisar manifestações patológicas em residências que foram construídas sem acompanhamento técnico em ambientes com nível de água em camadas superficiais do solo. Além disso, também pretende apresentar, de forma preliminar, os processos previstos para recuperação.

2. METODOLOGIA

Para o estudo foi escolhida a Rua Nestor Santos do município de Santo Antônio de Jesus (Bahia, Brasil) com tipologias de construções similares (estruturas de concreto armado, alvenaria de blocos cerâmicos, revestimento com argamassa, construções de pequeno porte de até 2 pavimentos). As residências foram construídas sem um acompanhamento técnico. A rua possui perímetro de 376,21 metros e área de 3.662,38 m², e coordenadas geográficas 12°58'07"S, e 39°15'54"W (Figura 01). A pesquisa foi realizada de forma sistemática em 17 residências. Esta rua foi escolhida pois há nível de água superficial do solo, sendo quem em proximidades há uma fonte de água. Todas as residências foram autoconstruídas, ou seja, conforme o conhecimento técnico do proprietário e da mão de obra executante, sem acompanhamento de profissionais tais como engenheiro ou arquiteto.



Figura 1. Delimitação da rua estudada.

Fonte: Google Earth, 2020.

Na visita às edificações foi feito um levantamento de manifestações patológicas conforme o *checklist* do Tabela 1, este foi baseado em trabalhos que investigaram manifestações patológicas causadas por umidade ascendente (Viera e Barretos, 2019; Hussein, 2013). Para a coleta de dados, tendo como princípio o estudo da umidade ascendente do solo, limitou-se ao pavimento térreo das residências em paredes que não possuíam instalações hidráulicas ou sanitárias.

Tabela 1. *Checklist* com manifestações observáveis nas residências.

Identificação de manifestações patológicas na residência.	
() Fissuras/Trincas	() Bolhas em pinturas
() Mofos	() Descolamento de piso/azulejo
() Corrosão de armadura	() Umidade ascendente por capilaridade
() Outros	

Foram realizados registros fotográficos para identificar as manifestações patológicas no interior das residências, sendo expostas no presente trabalho aquelas que foram considerados pelos autores como mais representativas em relação às manifestações patológicas elencadas no *checklist*.

Ressalta-se que por se tratar de análise em residências de terceiros com limitações de acesso, não foram realizadas medições e avaliações, portanto as fissuras ou trincas foram identificadas somente quando estavam presentes em elementos estruturais. A corrosão da armadura somente foi constatada quando observado o destacamento do concreto de cobertura e identificação visual de comprometimento da seção transversal das barras de aço.

3. RESULTADOS

3.1 Estudo exploratório sobre manifestações patológicas na região de estudos

A Figura 2 detalha quantitativamente as manifestações patológicas observadas nas residências em diferentes classificações (trincas, mofos, bolhas, descolamento de cerâmica, corrosão de armadura, ascensão de água por capilaridade e outros).

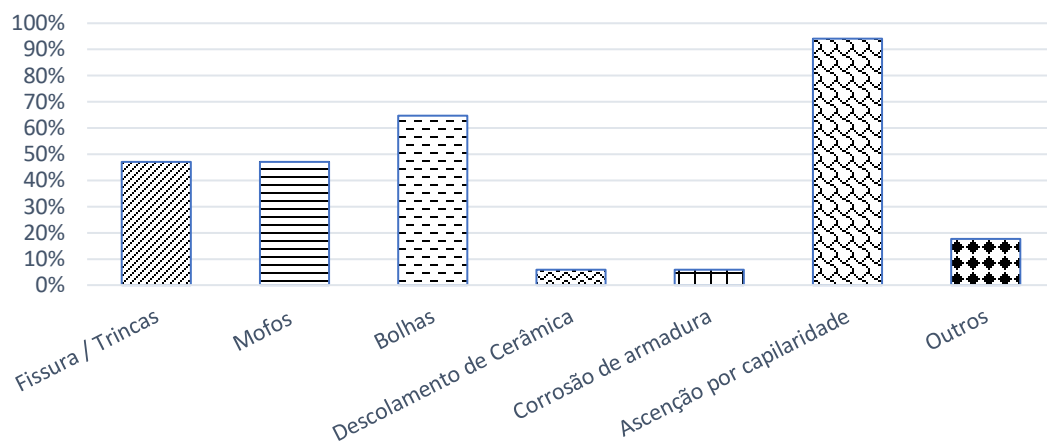


Figura 2. Tipos de manifestações patológicas observadas nas residências.

Ao longo das visitas para coleta de dados os proprietários informaram não ter sido realizado procedimentos de impermeabilização nas vigas baldrames. Percebe-se que entre as manifestações patológicas, na Figura 7, se observa a alta recorrência nas residências da umidade ascendente por capilaridade nas alvenarias que está relacionada diretamente a ação da água oriunda especialmente do solo transportada pelos poros do material cimentício, agravado pela água de chuva. Isto se deve ao fato de que as manifestações foram observadas em paredes que não possuem instalações hidráulicas ou sanitárias próximas.

Os mofos e bolhas nas pinturas são efeitos diretos da água em alvenarias, algumas machas observadas em paredes em altura próximos ao forro foram causadas pela incidência de chuvas, sendo verificado que a impermeabilização externa não foi efetuada corretamente constatada pela ausência de pintura no lado externo da alvenaria ou desgaste na mesma. As fissuras ou trincas são

bastante recorrentes, muitas vezes atreladas à corrosão de armaduras podem ser potencializadas pela umidade ou por falhas no projeto e execução das estruturas.

3.2 Estimativa das causas e propostas de soluções para as manifestações patológicas observadas.

A umidade por capilaridade (Figura 3) surge através da água presente no solo úmido que percorre os elementos porosos da fundação de concreto, ascendendo à alvenaria por forças capilares. Tal fenômeno ocorre quando não há uma barreira, ou seja, uma película asfáltica ou uma manta asfáltica que reveste as vigas baldrame impossibilitando que a umidade ascenda pelas paredes.



Figura 3. Manchas causadas pela ascensão de água por capilaridade.

Tal qual aponta Rangel (2014), os materiais porosos como concreto, tijolos e argamassas permitem a circulação de água por fenômenos de pressão e diferença de concentração. No primeiro caso, por pressão hidrostática, a água percola os poros em qualquer direção devido à forte pressão. No segundo, por diferença de concentração da água, a exemplo quando a água é presente superficialmente no solo, nesta situação ascende pelos poros alcançando altura, em geral, até 1 metro em alvenarias. A altura em que a umidade de capilaridade pode chegar depende da forma dos poros capilares, do diâmetro e da “limpeza”, ou seja, sem preenchimento por resíduos ou outras substâncias.

A Tabela 2 mostra um procedimento terapêutico para o tipo de patologia, incluindo a identificação do local do problema, aberturas na alvenaria para aplicação de um impermeabilizante na viga baldrame e na base das primeiras fiadas da alvenaria utilizar argamassa polimérica (produto que confere menor porosidade), impedito assim o fluxo de água ascendente.

Segundo Juliani (2015), como prevenção, tem-se a impermeabilização das vigas baldrame em contato com o solo. De início deve-se limpar a superfície da viga e a remoção do revestimento das três primeiras fiadas da parede; deve-se aplicar pintura asfáltica na viga e descer lateralmente no mínimo 15 cm (se necessário retirar parte do solo em contato); e após estar seco, aplicar argamassa impermeabilizante na viga e até as três primeiras fiadas da alvenaria.

Tabela 2. Levantamentos realizados para a patologia da Figura 3.

Descrição por inspeção visual	Manchas, descolamento de película, desagregação do reboco
--------------------------------------	-----------------------------------------------------------

Possível Causa	Inexistência de impermeabilização das fundações e das vigas baldrame
Diagnóstico	Ascensão de água por capilaridade
Terapia	1 – Identificação do local com problema; 2 – Remoção do reboco e se possível da alvenaria afetada; 3 – Escoramento do local, onde foi removido a alvenaria; 4 – Aplicação do impermeabilizante na viga baldrame; 5 – Vedação do local com alvenaria; 6 – Impermeabilização com argamassa polimérica nas 3 primeiras fiadas e acabamento; 7 – Aplicação de argamassa e película; 8 – Realização de manutenções periódicas.

Além do acabamento estético que confere a pintura, esta passa a ser um elemento indispensável na edificação para proteger os elementos construtivos e aumentar a durabilidade da construção. Isto porque, segundo Deutsch (2011) as tintas e massa corrida são utilizados para proteção e acabamento de superfícies são formados por composições líquidas ou pastosas capazes de formar películas após a secagem ou cura.

Após a secagem podem surgir bolhas na pintura isto indica que a alvenaria de vedação está sujeita à umidade ascendente ou infiltração, quando a umidade chega até o substrato ela impulsiona a película da pintura formando as bolhas, como apresenta a Figura 4.



Figura 4. Formação de bolhas na pintura de acabamento.

Na Tabela 3 mostra a terapêutica para resolver problemas de bolhas em pinturas, no entanto, deve ser feito antes o reparo da infiltração ou inibir a umidade ascendente.

Tabela 3. Levantamentos realizados para a patologia da Figura 4.

Descrição por inspeção visual	Deslocamento da película de tinta devido a umidade
Possível Causa	Inexistência de impermeabilização ou infiltração

Diagnóstico	Bolhas na pintura
Terapia	1 – Remoção das bolhas com espátula de aço; 2 – Aplicação de um fundo preparador a base d'água; 3 – Aplicação de massa corrida; 4 – Lixar toda a parede; 5 – Aplicação da pintura. (Silva et al. 2011).

A Figura 5 expõe um ambiente com bolor que é uma manifestação patológica comum em ambientes úmidos devido à falta de circulação de ar ou umidade excessiva no ambiente.



Figura 5. Surgimento de bolor em ambientes internos.

Hussein (2013) descreve que o bolor tende a prolifera-se facilmente em paredes atingidas por umidade, agravadas ainda quando não há incidência de luz solar. Portanto, a presença desta manifestação patológica indica excesso de umidade no ar, devido ao clima, ainda podem ser por umidade ascendente do solo por falta de impermeabilização ou quando feita incorretamente ou por ausência de projetos acompanhados por profissionais com conhecimento técnico. O bolor pode ser corrigido conforme mostra o Tabela 4.

Tabela 4. Levantamentos realizados para patologia da Figura 5.

Descrição por inspeção visual	Bolor na alvenaria
Possível Causa	Infiltração e falha na aplicação do reboco
Diagnóstico	Infiltração
Terapia	1 – Identificação do local com problema; 2 – Limpeza do local afetado; 3 – Impermeabilização com argamassa polimérica e acabamento pelo lado onde surge a infiltração; 4 – Limpeza do local com Bolor e pintura; 5 – Realização de manutenções periódicas.

Na NBR 7200 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998) consta que para remover bolor e fungos: pode-se escovar a superfície com escova de cerdas duras com solução de fosfato trissódico (30 g Na_3PO_4 em 1 L de água) ou com solução de hipoclorito de sódio (4% a 6% de cloro ativo) e enxaguar com água limpa em abundância.

Nas residências também foi percebido a manifestação patológica fotografada e exposta na Figura 6. Nota-se em uma parte com o acabamento em massa corrida e pintura deteriorados e com a presença de sais de eflorescência.



Figura 6. Eflorescência (depósitos de sais).

Segundo Sales e Silva (2013) as eflorescências são formações de sais precipitados na superfície da parede. Isto acontece devido ao fenômeno de lixiviação de compostos do cimento hidratado (Especialmente o hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ pela água dos poros, por diferença de concentração ou percentual de umidade, em faces opostas do concreto ou da argamassa de revestimento.

De acordo com Suplicy (2012) acrescenta que a água percola os poros em um material componente da parede (tijolos, blocos, no cimento, na areia, no concreto e na argamassa) que contenha sais solúveis como metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalinos terrosos (cálcio e magnésio) podem resultar em compostos químicos tais como o Carbonato de Cálcio ($CaCO_3$) e Carbonato de Magnésio ($MgCO_3$). Assim, dissolvendo-se na água eles percorrem até a superfície, onde a água evapora e os sais se cristalizam e se instalam na superfície, conforme apresentado na Figura 6.

Conforme a NBR 7200 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998), para remover eflorescências pode-se escovar a seco a superfície com escova de cerdas de aço e proceder a limpeza com solução de ácido muriático. Caso a manifestação atinja grandes áreas, pode-se ainda empregar jateamento.

Na Tabela 05 mostra um passo a passo para corrigir o problema da eflorescência sendo necessário corrigir o problema de infiltração ou percolação de umidade.

Tabela 5. Levantamentos realizados para patologia da Figura 6.

Descrição por inspeção visual	Desagregação da argamassa e depósitos de sais
--------------------------------------	-----------------------------------------------

Possível Causa	Umidade
Diagnóstico	Percolação de umidade e depósitos de sais na argamassa
Terapia	1 – Limpeza do local afetado com ácido muriático; 2 – Aplicação de uma nova camada de revestimento com argamassa polimérica; 3 – Aplicação de massa corrida e película de pintura para acabamento; 4 – Realização de manutenções periódicas.

Durante a pesquisa foi observado uma fundação sendo construída no local de estudo conforme mostra a Figura 7.



Figura 7. Nível de água alto.

Na Figura 7 foi observado o nível de água em camadas superficiais do solo, observou-se a presença de água foi “compensada” com o acréscimo de cimento, sem outros cuidados com impermeabilização ou aprofundamento do nível de água. O solo do local, segundo a análise tátil-visual tem coloração escura, provavelmente, por causa da matéria orgânica, com granulometria fina similar ao solo argiloso e a umidade, similar a um ambiente de mangue.

A observação feita na Figura 7 tem importância para entender a origem das manifestações observadas, visto que a cultura de construção no local é similar, sem acompanhamento de profissionais técnicos como engenheiros ou arquitetos. Isto mostra que além do profissional responsável pela execução não conhecer os procedimentos teóricos de técnicas construtivas, também os proprietários não estão conscientes dos problemas futuros oriundos da falta de impermeabilização ou drenagem da água subterrânea na fundação e demais componentes da edificação.

A Figura 8 a) mostra uma fissura em um local próximo à área de fixação do portão, onde provavelmente há um pilar. O contato com diferentes metais (metal do portão e o aço da armadura) também pode resultar em corrosão (Pannoni, 2007). A fissura pode ser causada por corrosão da armadura em que a expansão provoca tensões internas no concreto, provocando a desagregação do

concreto. Na Figura 8 b) em que se nota a armadura aparente em processo de corrosão, o concreto desagregado e o aspecto de armadura exposta enferrujada.

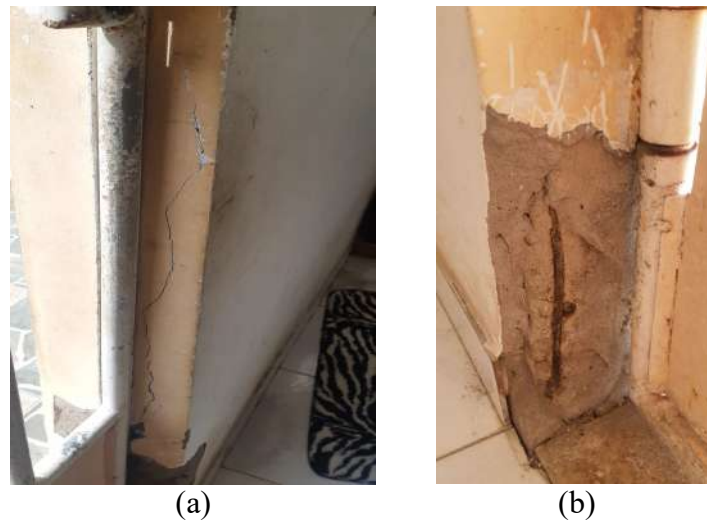


Figura 8. Fissura devido à expansão da armadura (a) e armadura exposta em processo de corrosão (b).

Segundo Marcelli (2007), a corrosão da armadura pode gerar trincas no concreto devido ao aumento de volume do aço em até oito vezes na parte afetada. A corrosão é um fenômeno de natureza eletroquímica, quando o aço tem contato com a água, o processo de corrosão é acelerado pela presença de íons e oxigênio, estabelecimento de uma célula de corrosão eletroquímica (Marcelli, 2007).

Marcelli (2007) relata ainda que as fissuras em concreto podem ocorrer devido: a corrosão, as falhas na execução; concreto com dosagem incorreta ou materiais de baixa qualidade ou contaminados; agressividade do ambiente; cobrimento da armadura insuficiente; inadequada manutenção; gradiente térmico e ação de íons cloreto.

A Tabela 6 expõe o procedimento realizado para corrigir pilares com corrosão de armadura, nota-se que como pilares são elementos de sustentação da construção deve-se utilizar o escoramento adequado antes de qualquer intervenção.

Tabela 6. Levantamentos realizados para patologia da Figura 8.

Descrição por inspeção visual	Fissura vertical no pilar
Possível Causa	Corrosão e expansão da armadura
Diagnóstico	Corrosão da armadura
Terapia	1 – Realizar o escoramento; 2 – Retirar o reboco, concreto deteriorado e limpeza; 3 – Utilizar escova de aço para retirar possível ferrugem das armaduras; 4 - Aplicação de anticorrosivo; 5 – Em caso da armadura está em estágio avançado de corrosão, a armadura antiga será revestida com uma armadura nova; 6 – Aplicação da forma e lançamento do graute; 7 – Aplicação de revestimento e acabamento.

4. CONCLUSÕES

O levantamento de dados das manifestações patológicas nas residências unifamiliares da Rua Nestor Santos do município de Santo Antônio de Jesus (Bahia, Brasil) mostrou problemas provocados por ascensão de água por capilaridade, trincas, rachaduras, manchas, desagregação do revestimento, corrosão de armaduras e eflorescência. Foi possível notar que o nível de água nesta localidade é alto e aliado a ausência de impermeabilização são os principais motivos das manifestações observadas.

Algumas destas patologias, como o mofo, podem ser inclusive prejudiciais à saúde humana, bem como a umidade pode causar queda de temperatura, mal-estar e doenças nos moradores. Isto alerta da importância da intervenção correta sobre estes problemas. Após a realização desta pesquisa, entende-se que os moradores das edificações ainda não estão conscientes sobre as causas do surgimento das manifestações patológicas, bem como desconhecem a relevância de técnicas de impermeabilização para solucioná-las.

Com isso são necessárias medidas para conscientizar a população da importância de impermeabilização e de medidas corretivas adequadas para garantir a durabilidade da edificação e o bem-estar dos moradores. Além disso, é notória a necessidade de treinamento de profissionais ou a criação de empresas de reformas para restabelecer eficientemente a condição de bom desempenho da edificação, realizando a impermeabilização necessária. .

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Ciências e Empreendedorismo pelo apoio e incentivo fornecido ao desenvolvimento do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998). *NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos em argamassas inorgânicas; procedimentos*, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010). *NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e projeto*, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2008). *NBR 9574: Execução de impermeabilização*, Rio de Janeiro.

Barreiros, J. V. e Vieira, B. V. (2019). “*Patologias em residências unifamiliares associadas à falta ou falha de impermeabilização: estudo de casos*”. Engenharia Civil, Pedra Branca.

Bezerra, G. M. (2013). “*Estudo da influência do arisco na formação do salitre em argamassas na região de Mossoró-RN*”. Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, Rio Grande do Norte, p. 42.

Cichinelli, G. (2012). “*Estanqueidade garantida*”. 189, Revista Técnica, São Paulo. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/189/artigo288006-2.aspx>>. Acesso em: 08 Ago 2020.

- Deutsch, S. F. (2011). *“Perícias de engenharia: a apuração dos fatos”*. Leud, São Paulo.
- Freitas, V. P. de. (2013). *“A State-of-the-Art Report on Building Pathology”*. CIB –W086, Building Pathology, Portugal.
- Fronza, M. P. (2020). *“Análise e tratamento de patologias causadas pela umidade em edificações residenciais térreas, devido à falha ou ausência de impermeabilização”*. 2020.
- Helene, P. R.L. (1986). *“Corrosão em armadura para concreto armado”*. 1. ed. Pini, São Paulo.
- Hussein, J. S. M. *“Levantamento de patologias causadas por infiltrações devido à falha ou ausência de impermeabilização em construções residenciais na cidade de Campo Mourão – PR”*. 2013. 54f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.
- IBI Brasil. (2018). *Guia de aplicação da norma de desempenho para impermeabilização: especificação, aplicação e contratação com foco no atendimento à ABNT NBR 15575:2013*. IBI Brasil (Instituto de Impermeabilização), São Paulo, p. 7.
- Juliani, M. A. (2015). *“Análise de manifestações patológicas em condomínio construído com alvenaria estrutural: estudo de caso”*. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, p. 119.
- Marcelli, M. (2007). *“Sinistros na construção civil: Causas e soluções para danos e prejuízos em obras”*. Pini, São Paulo, p. 270.
- Marques, R. (2005). *“Proteção Subterrânea”*. 96, Téchne, São Paulo, p. 49.
- Mehta, P. K e Monteiro, P. J. M. (2017) *“Concrete microstructure, properties and materials”*. McGraw-Hill.
- Organização Mundial da Saúde (OMS). (2009). *“WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould”*. Copenhagen, Denmark.
- Pannoni, D. F. (2007). *“Fundamentos da corrosão”*. Pintura industrial, 48 (16), p. 32-35.
- Peres, R. M. *“Levantamento e identificação de manifestações patológicas em prédio histórico – um estudo de caso”*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- Rangel, L. (2014). *“Impermeabilização é o ponto de partida”*. Revista Condomínio, 63, p. 8.
- Sales, J. C. e Silva, I. S. (2013). *“Patologias ocasionadas pela umidade: estudo de caso em edificações da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA”*. IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. Cinpar 2013.
- Santos, T. C. S. (2010). *“Plano de ação voltado a manutenção de sistemas de pintura em escolas públicas”*. UFPR, Londrina.
- SEGAT, G. T. (2005). *“Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: Estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)”*. Tese

(Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 166.

Silva, D. J. e Lopes, P. (2011). “*Relatório de Vistoria de Patologias Prediais*”. Florianópolis, disponível em: <http://dfo.ufsc.br/files/2011/10/RELATORIO_CCB_J_V8.pdf>. Acesso em 03 de Maio de 2021.

Souza, V. e Ripper, T. (2009). “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*”. PINI, São Paulo.

Suplicy, G. F. S. (2012). “*Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações*”. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

Estudo das manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado por meio de análises estatísticas

D. C. Gomes^{1*}, R. de A. Garcia Sobrinho², R. V. Ribeiro³, Lima M. K. G. de¹

*Contato do Autor: eng.demostenes@gmail.com

¹ Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Uberaba, Uberlândia, Brasil

² Instituto Master de Ensino Presidente Antônio Carlos, Araguari, Brasil

³ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia Brasil

RESUMO

O presente trabalho mostra a análise de patologias em reservatórios de concreto, considerando análise estatística de variância e testes não paramétricos de comparação de grupos independentes. Foram analisadas diversas variáveis que representam condições de execução, concentrações de cloro residual as quais as paredes dos reservatórios estão expostas, idade do reservatório, tipo de reservatório, análise do cobrimento e dos tipos de tratamentos de junta de concretagem. Tal análise buscou estabelecer um método estatístico para explicar a variação da quantidade de patologias em função das variáveis independentes analisadas. Foi possível verificar que o modelo proposto consegue mostrar quais variáveis são realmente significativas na formação de manifestações patológicas.

Palavras-chave: Manifestações patológicas, reservatório de concreto, análise estatística

ABSTRACT

The present work shows the analysis of pathologies in concrete reservoirs, considering statistical analysis of variance and non-parametric tests for comparing independent groups. Several variables were analyzed that represent execution conditions, concentrations of residual chlorine to which the walls of the reservoirs are exposed, age of the reservoir, type of reservoir, analysis of the coverage and types of concreting joint treatments. Such analysis sought to establish a statistical method to explain the variation in the number of pathologies as a function of the independent variables analyzed. It was possible to verify that the proposed model can show which variables are really significant in the formation of pathological manifestations.

Keywords: Pathological manifestation; concrete reservoir; statistical analysis

EL RESUMEN

El presente trabajo muestra el análisis de patologías en reservorios concretos, considerando análisis estadístico de varianza y pruebas no paramétricas para comparar grupos independientes. Se

analizaron varias variables que representan condiciones de ejecución, concentraciones de cloro residual a las que están expuestas las paredes de los embalses, edad del embalse, tipo de embalse, análisis de la cobertura y tipos de tratamientos de juntas de hormigonado. Dicho análisis buscó establecer un método estadístico para explicar la variación en el número de patologías en función de las variables independientes analizadas. Se pudo comprobar que el modelo propuesto puede mostrar qué variables son realmente significativas en la formación de manifestaciones patológicas.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas, reservorio de hormigón, análisis estadístico.

1. INTRODUÇÃO

A vida útil e o desempenho das estruturas estão relacionados com as especificações previstas em projetos e com os métodos construtivos adotados. Verifica-se que os requisitos propostos no sistema normativo nacional, especialmente na ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 14931:2014, trazem diversas recomendações com o intuito de mitigar problemas advindos de falhas em projetos e erros em execuções.

Nos mesmos sistemas normativos, observa-se a fixação de um prazo de vida útil ideal para estruturas de concreto armado. Na ABNT NBR 15575-1:2013, tem-se que o tempo de vida útil para estruturas é de no mínimo 50 anos, com valor intermediário de 63 anos e valor máximo de 75 anos.

Para se obter o desempenho adequado das estruturas, não se deve apenas considerar os critérios para elaboração de projetos e execução de estruturas. Além deles, tem que se cumprir um plano de manutenção, de acordo com o preconizado na ABNT NBR 5674:2012, que também é essencial para garantir a vida útil dos elementos estruturais.

Apesar das várias recomendações normativas, dos critérios prefixados e dos estudos sobre o tema, é possível observar que diversas estruturas apresentam manifestações patológicas afetando diretamente seu desempenho. Dentre estas estruturas tem-se os reservatórios executados em concreto armado com a finalidade de distribuição de água potável. Estes tipos de estruturas são destinadas ao armazenamento de grandes volumes de água tratada em centros urbanos. O sistema de abastecimento de água depende diretamente do desempenho desses reservatórios, portanto, falhas em seu funcionamento acarretam problemas de desabastecimento, gastos excessivos de reparo e desperdício de água tratada.

Considerando a relevância dos reservatórios e sua necessidade de operação sem a paralisação do abastecimento de água, torna-se importante o estudo das manifestações patológicas deste sistema construtivo. Com o intuito de traçar diagnósticos mais confiáveis e precisos para avaliação e análise de problemas em estruturas de concreto, tem-se como alternativa a análise das anomalias por intermédio de métodos que envolvam análises estatísticas. Dessa forma, pode-se elaborar procedimentos e métodos matemáticos para análise das patologias e apresentar resultados com maior confiabilidade.

Para Mehta e Monteiro (2014), a modernização e o avanço das pesquisas e dos métodos de dosagem possibilitaram a criação de concretos mais duráveis e com melhor desempenho, contudo, o conceito de durabilidade não é absoluto, pois limita-se à vida útil dos elementos estruturais em análise. Com o intuito de contribuir com a melhoria de reservatórios de concreto e proporcionar condições para que estes atinjam satisfatoriamente sua vida útil, diversos pesquisadores investigaram manifestações patológicas e analisaram terapias construtivas nestas estruturas, conforme Tabela 1. De acordo com Souza e Ripper (1998), Sollero e Bolorino (2016) e Lima (2011) apud Gomes (2020) a infiltração de água em reservatórios é um fator preponderante para o surgimento de anomalias. Segundo os autores, ainda existem diversas anomalias estruturais que podem ocorrer

neste tipo de estrutura. Dentre elas, destacam-se: umidade, fissuras e trincas, carbonatação, corrosão de armadura, eflorescência/lixiviação e desagregação/desplacamento.

Tabela 1 – Panorama de pesquisas em patologias em reservatórios de concreto no Brasil

Autores	Pesquisa sobre reservatórios de concreto
Olivan <i>et al.</i> (2010)	Vistoria de 197 reservatórios e as suas anomalias estruturais no Estado de São Paulo.
Pereira (2010)	Vistoria sobre anomalias estruturais em 27 reservatórios em Portugal.
Tavassoli e Afshar (2017)	Estudo de deterioração de reservatórios de concreto na cidade de Bandar Abbas, no Irã.
Rachid e Londero (2013)	Análise de patologias em 10 reservatórios de distribuição no Paraná
Corrêa e Girardi (2018)	analisaram 19 reservatórios na cidade de Porto Alegre

Além desses fatores, verificasse que o teor de cloro na água tratada também pode influenciar na vida útil dos reservatórios. De acordo com a Portaria MS 888/2021, toda a água tratada destinada ao consumo humano deve manter valores mínimos de concentração de cloro. Para que se atenda a este requisito, as estruturas de concreto que armazenam água tratada são expostas constantemente a este agente químico. Segundo Pereira (2010), o cloro age diretamente como causador de deterioração do concreto armado e corrosão de armaduras, diminuindo significativamente sua vida útil.

Portanto, tem-se como objetivo apresentar procedimentos estatísticos para análise de manifestações patológicas, levando-se em conta a ocorrência de anomalias como variáveis dependentes e propor procedimento de análise estatística, considerando-se os fatores que contribuem para a formação de patologias em reservatórios de concreto utilizados para distribuição de água potável.

2. PROCEDIMIENTO

A pesquisa foi realizada na cidade de Uberlândia, localizada no estado de Minas Gerais no Brasil. Foram investigados 10 reservatórios que correspondem ao total de reservatórios de concreto de Uberlândia. A produção do trabalho pautou-se na implementação dos seguintes procedimentos:

- Coleta de dados laboratoriais: Coletou-se dados laboratoriais com os valores de teor de Cloro livre nos reservatórios (localizados no interior das Estações de Tratamento de Água) e nas redes de distribuição (interligadas aos reservatórios de distribuição).
- Visitas técnicas a todos os reservatórios: Foram elaboradas visitas técnicas com o objetivo de registrar, analisar e catalogar as patologias de cada estrutura e coletar dados sobre as edificações.
- Tratamento estatístico dos dados da amostra: Após a coleta dos dados procedeu-se ao trabalho estatístico com os dados, definindo-se os tipos de variáveis independentes, os níveis de cada variável, os valores dos parâmetros e os intervalos de confiança. Após o tratamento estatístico dos dados, foi possível fazer organização dos dados, de maneira a possibilitar a aplicação de critérios estatísticos de análise.
- Análise estatística dos dados: Elaborou-se análise de variância e análise das variáveis independentes em relação à homogeneidade da variância, teste de normalidade e teste do

p -valor. Com as demais variáveis independentes que não atenderam aos requisitos necessários para análise de variância, efetuou-se os testes estatísticos não paramétricos.

- **Discussão dos resultados:** Com os resultados obtidos, procedeu-se à discussão dos valores, apresentação da correlação entre as variáveis e o surgimento das patologias analisadas na amostra.

Com a coleta dos dados laboratoriais e as visitas realizadas, levantou-se as variáveis que foram utilizadas para as análises do estudo. Elas são: A incidência de manifestações patológicas; o teor de cloro residual livre; o tipo do reservatório; a idade do reservatório; a especificação técnica da junta de concretagem; o revestimento da armadura e a impermeabilização da parte superior.

Para cada variável qualitativa foram atribuídos valores para a modelagem estatística. A incidência de manifestações patológicas foi definida como a variável dependente, sendo o ponto de investigação do estudo. Em relação aos tipos de manifestações encontrados, foram detectadas 6 tipologias específicas:

- Carbonatação - Ca;
- Corrosão de armadura - Co;
- Desagregação/ Deslocamento - Dd;
- Eflorescência/ lixiviação - Ef;
- Fissuras e trincas - Ft;
- Umidade - Um.

Para as investigações, foi considerado a quantidade de incidência de tipos diferentes de anomalias em cada reservatório, podendo variar de 1 a 6, de acordo com as manifestações levantadas acima. Essa variável foi definida como quantitativa.

Em relação ao teor de cloro, obteve-se média populacional (μ) do teor de cloro residual livre na água a partir dos dados laboratoriais do Departamento de Água Esgoto ano de 2017 até o ano de 2019, nas redes de distribuição e nas estações de tratamento de água. Considerou-se, para a modelagem estatística, essa variável como sendo do tipo qualitativa dicotômica, com média de 95% de confiança que assume os valores 1 ou 2, de acordo com a descrição:

- $(0,7 < \mu < 0,8)$: Concentração de cloro residual livre, em mg/L, nas redes de distribuição – assume o valor 1
- $(1,04 < \mu < 1,11)$: Concentração de cloro residual livre, em mg/L, nas estações de tratamento de água – assume o valor 2

Os reservatórios analisados foram enquadrados em dois tipos, definindo-se como uma variável estatística qualitativa e dicotômica da seguinte forma:

- Reservatório de concreto armado semienterrado – assume o valor 1
- Reservatório de concreto armado elevado – assume o valor 2

De acordo com a data do término da execução de cada obra, definiu-se a idade do reservatório como sendo uma variável qualitativa ordinal, que assume valores 1, 2 ou 3, de acordo com a descrição:

- 5 a 30 anos – assume o valor 1
- 30 a 55 anos – assume o valor 2
- 55 a 80 anos – assume o valor 3

A variável especificação técnica de junta foi considerada como do tipo dicotômica, pois na amostra há ocorrência de apenas dois tipos tais variáveis. Para a coleta dos dados a respeito dessas variáveis, foram analisados projetos dos reservatórios e verificado se em tais documentos tinha especificação técnica das juntas de concretagem ou projeto executivo dessas juntas de concretagem. De acordo com a coleta de dados, definiu-se os seguintes parâmetros para a variável qualitativa:

- **Sem** especificação técnica construtiva da junta de concretagem – assume o valor de 0
- **Com** especificação técnica construtiva da junta de concretagem – assume o valor de 1

O cobrimento da armadura foi levantado por meio dos projetos estruturais e inspeções no local. Durante a pesquisa, observou-se duas espessuras médias de cobrimento das paredes dos reservatórios de concreto. Diante do fato, foi considerado a variável do tipo qualitativa continua que pode assumir os valores de 3 e 4 cm.

A impermeabilização da parte superior do reservatório, definiu-se tal parâmetro de forma dicotômica, que pode assumir os seguintes valores:

- Parte Superior **não** impermeabilizada – assume o valor de 0
- Parte Superior impermeabilizada – assume o valor de 1

Na modelagem estatística, utilizou-se os testes de Shapiro Wilk e de Bartlett para verificar a normalidade e homogeneidade na incidência de patologias. As variáveis cobrimento de armadura e especificação técnica de junta de concretagem foram submetidas a análise de variância – ANOVA. Já as variáveis concentração de cloro, tipo de reservatório, impermeabilização da parte superior e idade do reservatório não atenderam o pressuposto para execução da análise de variância, sendo assim, realizou-se testes não paramétricos para definir as influências destas na ocorrência de patologias. Para concentração de cloro, tipo de reservatório e impermeabilização da parte superior foi feito o teste de Mann Whitney; para a idade do reservatório, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Com todos os resultados, foram realizadas as discussões e levantadas as contribuições da pesquisa para o ambiente tecnológico e científico.

3. RESULTADOS

Na Tabela 2 é possível verificar todas as variáveis levantados por reservatório de acordo com os valores atribuídos para a modelagem estatística. É possível observar, qualitativamente, que os reservatórios 1, 2 e 3 são os que apresentam mais tipologias de manifestações patológicas sendo eles: semi-enterrados, com maior quantidade de cloro livre, menor idade, sem especificação de junta técnica, menor cobrimento e sem impermeabilização da parte superior.

A partir da tabela foram realizadas as análises estatísticas para verificar a influência das variáveis na incidência das manifestações patológicas de forma quantitativa.

A variável de incidência de patologias apresentou significância de 1% nos testes de Sapiro Wilk e Bartlett confirmando, assim, o pressuposto de homogeneidade de suas variâncias. Em relação a aplicação da ANOVA nas variáveis cobrimento de armadura e especificação do tratamento da junta de concretagem, constatou-se que o p -valor de ambos e a interação entre os fatores foi significativa, rejeitando-se a hipótese nula de igualdade de médias entre os tratamentos.

A variável de incidência de patologias apresentou significância de 1% nos testes de Sapiro Wilk e Bartlett confirmando, assim, o pressuposto de homogeneidade de suas variâncias. Em relação a aplicação da ANOVA nas variáveis cobrimento de armadura e especificação do tratamento da junta de concretagem, constatou-se que o p -valor de ambos e a interação entre os fatores foi significativa, rejeitando-se a hipótese nula de igualdade de médias entre os tratamentos.

Foi elaborado o gráfico de interação entre os fatores cobrimento de armadura (cm) e especificação técnica do tratamento da junta de concretagem, dado que as duas variáveis independentes apresentaram combinações entre os níveis de cada fator. Por intermédio da análise estatística, comprovou-se que ambos os fatores influenciam de maneira individual nas patologias e que as combinações dos fatores aumentam significativamente a quantidade de patologias nos reservatórios analisados.

Tabela 2 – Variáveis investigadas de acordo com as atribuições para a modelagem estatística

Reserv.	Incid. de Manifest. Pat.	Teor de cloro resid.	Tipo de reserv.	Idade	Especi. técnica de junta de concret.	Cobri. de arma.	Imperme. da parte superior
Reserv. 1	6	2	1	1	0	3	0
Reserv. 2	5	2	1	1	0	3	0
Reserv. 3	5	2	1	1	0	3	0
Reserv. 4	3	1	2	3	1	3	1
Reserv. 5	3	1	2	3	0	4	1
Reserv. 6	3	1	2	2	0	4	1
Reserv. 7	2	2	2	2	1	4	0
Reserv. 8	2	1	2	2	1	4	1
Reserv. 9	2	1	2	3	1	3	1
Reserv. 10	2	1	2	2	1	4	1

Observa-se que quando há a combinação de especificação técnica ou elaboração de projeto executivo de juntas de concretagem, aliado com aumento do cobrimento de armadura, a quantidade de patologias diminui de forma significativa. Tal combinação de dados mostra interação direta entre os fatores, indicando que dentro da amostra analisada tais critérios devem ser rigorosamente observados na fase de elaboração de projetos e fiscalização da execução das obras deste tipo de reservatório, conforme mostra a Figura 1.

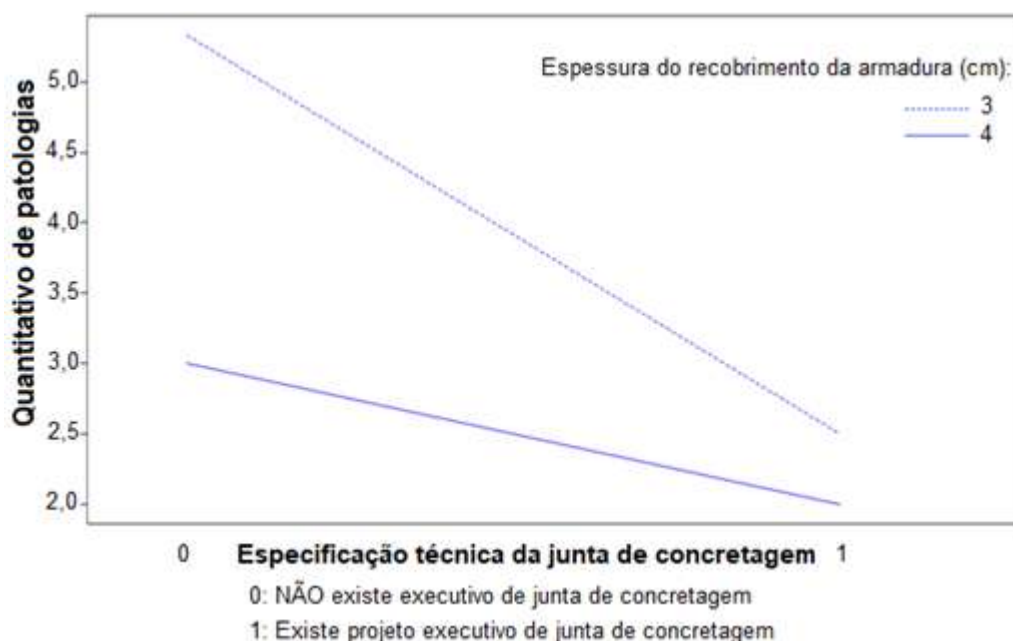


Figura 1. Interação de variável dependente com cobrimento e especificação de junta

Com a análise de variância obteve-se os resultados dos testes e do P-valor que confirmam a analiticamente a hipótese analisada, de acordo com a Tabela 3.

Os testes não paramétricos, utilizados para as variáveis concentração de cloro, tipo de reservatório e impermeabilização da parte superior e idade do reservatório, possibilitam realizar comparação entre grupos independente. Desse modo verificou-se se há diferença entre os grupos e se cada variável influencia a variável dependente, ou seja, quantidade de patologias. Na Tabela 4 constam os resultados de *p*-valor para cada variável.

Tabela 3. Anova com dois fatores

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	P-valor
Especificação de juntas	1	12,1	12,1	62,23	0,000
Cobrimento	1	4,82	4,82	24,77	0,003
Especificação de juntas: cobrimento	1	2,02	2,02	10,37	0,018
Resíduo	6	1,17	0,19		

Tabela 4. Valores comparação entre grupos

Variável	p-valor
Idade	0.03
Concentração de cloro	0.55
Tipo de Reservatório	0.02
Impermeabilização da parte superior	0.11

De acordo com os pressupostos teóricos, o grau de confiança do método proposto é 95%, portanto, todas variáveis que apresentam valores maiores que 5% nos testes não paramétricos, não contribuem significativamente com a variável dependente.

Conclui-se que dentre as variáveis independentes analisadas, apenas as variáveis idade e tipo de reservatório atenderam ao pressuposto de 5% de significância, ou seja, tais variáveis são significativas e devem ser analisadas no momento da concepção do projeto.

A análise da variável “Tipo de Reservatório” indica que os reservatórios elevados possuem tendência a apresentar ocorrências de patologias inferiores à quantidade de patologias observadas em reservatórios semienterrados, indicando que os projetos e métodos construtivos de reservatórios semienterrados devem ser melhorados em relação aos executados atualmente.

A pesquisa em relação à variável “idade” mostra que de acordo com sua significância e após a realização da comparação múltipla dois a dois, apenas as faixas etárias de idade de 5 a 30 anos apresentaram média de quantidade patologias diferentes, com valores próximos aos limites máximos estudados para amostra, indicando que os projetos e técnicas construtivas atuais não são mais adequados para construção dos reservatórios de concreto, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Média de patologias por idade

Idade	Média de patologias
5 a 30	5,33
30 a 55	2,25
55 a 80	2,67

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho buscou-se propor uma análise estatística de patologias, utilizando-se variáveis qualitativas. Esta metodologia foi adotada, com intuito de elaborar métodos científicos de análises aplicáveis a situações em que se trabalha também com variáveis dicotômicas. Este trabalho pautou-

se em sugerir método analítico de estruturas, de maneira a proporcionar grau de confiança na otimização das construções e diminuição de patologias em reservatórios de concreto.

Com a revisão da literatura, pôde-se avaliar a confiabilidade da análise estatística elaborada nesta pesquisa, pois em ambos casos fica demonstrado que o cobrimento da armadura e o detalhamento executivo das juntas de concretagem são preponderantes no bom desempenho de reservatórios de distribuição.

A principal contribuição deste trabalho foi estabelecer um método estatístico de análise de patologias. Tal método possibilita que seja feita uma análise científica de tais problemas sem depender exclusivamente da subjetividade. Ressalta-se que o método proposto possibilita fixar critérios científicos de análise em situações estatisticamente adversas, ou seja, com grande número de variáveis independentes, variáveis qualitativas e amostra pequena.

Com o método de modelagem proposto, mesmo sem a concepção de um modelo numérico que pudesse representar todas as situações, foi possível verificar a forma, interação entre as variáveis e as contribuições que cada fator apresenta em relação ao surgimento de patologias em reservatórios. Este método de análise, mesmo com grande quantidade de variáveis independentes qualitativas, revela que pode ser feita análise matemática de patologias por meio de estatística não paramétrica. Mesmo que a área abordada seja carente de mais estudos, pelo conteúdo dos testes, se observa que é possível incorporar técnicas de análise de segurança e risco na metodologia proposta. Destaca-se que a utilização das ferramentas expostas neste trabalho revela que a análise pode ser implementada em conjunto com estudos de métodos probabilísticos de análise de patologias. O conceito proposto nesta pesquisa poderá ser utilizado em trabalhos que se propõem a estudar riscos e explicar patologias estruturais a partir da coleta de dados quantitativos e qualitativos.

5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA de NORMAS TÉCNICAS. (2013) NBR 15575-1: *Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA de NORMAS TÉCNICAS. (2014) NBR 14931: *Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2012) NBR 5674: *Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA de NORMAS TÉCNICAS. (2014) NBR 6118 (NB 1/2014): *Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro
- BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021. *Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Diário Oficial da União, 2021.
- CORRÊA, P. R. D.; GIRARDI, R. (2018) Análise da evolução dos parâmetros de dimensionamento de reservatórios em concreto: estudo de caso. “*Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo*”, v. 5, n. 1, p. 52-66.
- GOMES, D. C. “*Análise experimental do desempenho de tensores de fôrmas para reservatórios de concreto*.” (2020) Dissertação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia,
- LIMA, M. G. In: ISAIA, G. C. (ed.). (2011) “*Ações do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto. Concreto: Ciência e tecnologia*.” 1. ed. São Paulo, IBRACON, v. 1. P. 733- 772.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2014) “*Concrete – Microstructure, Properties, and Materials – 4ª Ed. Ed.*” MC Graw Hill Education. ISBN: 978-0-07-179787-0. Inglês. p.675.
- OLIVAN, L. I.; GREGORE, L.; GARRIDO, R.; TAKI, O.; FERREIRA, T. (2010) Estruturas de concreto para abastecimento de água. Um estudo das incidências das anomalias e causas. In: “*52º Congresso Brasileiro de Concreto IBRACON*”, Fortaleza, CE, Brasil.

- PEREIRA, E. A. (2010) “*Patologias em reservatórios de água potável e sua correção.*” Dissertação (Mestrado), SEL - Eng. Civil, Lisboa.
- RACHID, L. E. F.; LONDERO, C. (2013) Levantamento de patologias em reservatórios de concreto armado no município de Cascavel-PR. “*Revista técnico-científica do CREA-PR*”, v.1, n. 1.
- SOLLERO, M.; BOLORINO, H. (2016) Investigation and diagnosis of a reinforced concrete reservoir with intense crack formation from several sources. “*Journal of Building Pathology and Rehabilitation*,” v. 1, n. 6.
- SOUZA, V. C.; RIPPER, T. (1998) “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.*” 1ª ed. São Paulo, Pini.
- TAVASSOLI, A. H.; AFSHAR, F. Investigating the effect of chlorine ion on corrosion of Bandar Abbas reservoir roof. **American Society for Engineering Education**, v. 6, n. 2, 2017.

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONDOMÍNIO ROGACIANO LEITE NA CIDADE DE FORTALEZA

J. C. Sales^{1*}

*email: juscelinochaves@hotmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, Brasil

RESUMO

O presente trabalho faz uma análise das manifestações patológicas em edifícios de um condômino residencial Rogaciano Leite na cidade de Fortaleza no estado do Ceará. Para a realização desse trabalho foram feitas visitas in loco as edificações onde foi feita uma inspeção visual, como também foi feito um acompanhamento da recuperação de pilares que estavam comprometidos pela corrosão da armadura em pilares e vigas. Dentre as manifestações patológicas encontradas foram a corrosão da armadura, umidade, destacamento da pintura, destacamento da argamassa, bolo, fissuras, corrosão em tubulação de gás (GLP) e em portão etc. Foi possível concluir que as edificações apresentaram várias patologias que foram feitas a sua recuperação e que o aumento da corrosão das armaduras decorre principalmente do efeito da carbonatação do concreto devido ao grande aumento do fluxo de veículos no entorno das edificações emitindo CO₂ como também a espessura do cobrimento menor do que o especificado na norma técnica.

Palavras-chave: edifícios, manifestações patológicas, corrosão na armadura, condômino Rogaciano Leite.

ABSTRACT

The present work analyzes the pathological manifestations in buildings belonging to a residential condominium Rogaciano Leite in the city of Fortaleza, in the state of Ceará. To carry out this work, on-site visits were made to the buildings, where a visual inspection was carried out, as well as monitoring the recovery of columns that were compromised by corrosion of the reinforcement in columns and beams. Among the pathological manifestations found were corrosion of the armor, moisture, detachment of paint, detachment of mortar, cake, cracks, corrosion in gas pipes (LPG) and in gates, etc. It was possible to conclude that the buildings presented several pathologies that were made their recovery and that the increase in corrosion of the reinforcement is mainly because of the carbonation of the concrete due to the large increase in the flow of vehicles around the buildings emitting CO₂ as well as the thickness of the coverage less than specified in the technical standard.

Keywords: buildings, pathological manifestations, reinforcement corrosion, condominium Rogaciano Leite.

1. INTRODUÇÃO

Muitas edificações em todo o mundo são feitas com concreto armado como os edifícios do Condomínio Rogaciano Leite na cidade de Fortaleza e ao longo de sua vida útil vão aparecendo as manifestações patológicas.

A construção civil é uma ciência comum desde a antiguidade e vem se modificando com o passar do tempo, sobretudo no que diz respeito às novas técnicas construtivas e materiais utilizados. Porém, mesmo com os avanços na construção, é notável o grande número de residências com manifestações patológicas construtivas, podendo aparecer logo após a construção ou durante a vida útil da residência (Andrade, 2020).

A carbonatação é causada pela penetração de agentes agressivos no concreto através dos poros/aberturas, como o gás carbônico (CO_2), que se dilui na umidade presente na estrutura, formando o ácido carbônico (H_2CO_3) (Carvalho, 2020).

Corrosão do aço em concreto armado é a causa mais comum de degradação. O aço é atualmente protegido pela alta alcalinidade da estrutura. No entanto esse estado passivo pode ser rompido pela ação de íons agressivos, iniciando o processo corrosivo (Neri, 2013).

Infiltrações normalmente são causadas por falta de impermeabilização ou elementos danificados, como telhas quebradas. Esse tipo de patologia também pode ocorrer devido a falhas nas instalações hidráulicas, como rompimento da tubulação ou vedação comprometida; ou até mesmo por mal planejamento da tubulação de aviso e extravasão da caixa d'água (Carvalho, 2020).

Acreditava-se, antigamente, que o concreto armado era um material eterno, uma vez que apresentava um ótimo comportamento perante o uso e a exposição ao ambiente. Hoje, sabe-se que não é assim (Bolina, 2019).

Pesquisadores concluíram que algumas ocorrências de patologia construtiva nos postos de saúde da cidade de Criciúma no Estado de Santa Catarina, se devem sobretudo à falta de manutenção periódica, bem como vícios construtivos. A umidade é a patologia mais encontrada, e evidencia que quando a manutenção é inexistente desencadeia outras anomalias (Nazario, 2011).

O dióxido de carbono presente na atmosfera ao penetrar através dos microporos do concreto atinge lenta e gradativamente pequenas profundidades medidas a partir da superfície. A frente de carbonatação então formada, dependendo da capa de cobertura poderá atingir o nível da armadura. A massa de concreto carbonatada reduz o pH do valor original situado entre 12,7 e 13,8 para valores situados entre 8 e 9. Diante das novas condições resultante do pH o filme que envolve a armadura será atingido por barras despassivadas (Oliveira, 2013).

Através da análise das alternativas de intervenção propostas para cada sistema construtivo que apresentou manifestações patológicas na edificação, gerou-se uma sequência seguindo uma ordem de importância para realização dos reparos conforme o nível dos agravos, atribuições estruturais do elemento danificado, ação contínua das causas geradoras sobre as manifestações patológicas existentes, facilidade na execução dos reparos, disponibilidade de ferramentas e materiais necessários na região onde se encontra o edifício (Zuchetti, 2015).

Sales (2021) detectou a existência da manifestação patológica da corrosão de armadura na Igreja de Santa Edwírges na cidade de Fortaleza no Estado do Ceará no Brasil decorrente da existência de carbonatação e íons cloretos.

A região amazônica tem um clima úmido e tropical (com clima equatorial), onde há muita incidências de chuvas, essas ocorrências patológicas de umidade nas edificações são maiores. Isso também favorece para o desenvolvimento de fungos, porque a própria umidade do ar ajuda no aparecimento dessas anomalias. Então esses cuidados na elaboração do projeto, impermeabilização, e na manutenção preventiva, tende a ser mais criterioso (Machado, 2021).

A corrosão dos aços tem sido umas das principais manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado, trazendo grandes danos e prejuízos. Devido a isso, deve-se entender este processo por completo para impedir sua ocorrência, ou ao restaurar elementos estruturais atacados, evitar que depois de curados, não sofram novamente esta anomalia. Com o surgimento da oxidação,

haverá uma expansão da armadura, de modo que o concreto sofrerá fissuração e terá sua aderência reduzida com o aço (Trindade, 2015).

O presente trabalho teve objetivo analisar as manifestações patológicas existentes em dois blocos de apartamentos existentes em fortaleza e mostrar a recuperação de pilares de sustentação de um dos blocos da edificação.

2. METODOLOGIA

Para a realização desse trabalho foram feitas visitas *in loco* as edificações onde foi feita uma inspeção visual, como também foi feito um acompanhamento da recuperação de pilares que estavam comprometidos pela corrosão da armadura em pilares e vigas. Foram feitos registros fotográficos dos dois prédios que compõem o Condomínio Rogaciano Leite.

3. AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONDOMÍNIO ROGACIANO LEITE

Os edifícios que foram analisados estão localizados na Rua Socorro Azevedo número 150 no Bairro Luciano Cavalcante da cidade de Fortaleza no Estado do Ceará. O Condomínio Rogaciano Leite é composto de dois blocos de apartamentos com cada bloco possuindo 24 apartamentos e possuindo quatro pavimentos sem contar o térreo, ou seja, possuem quatro andares. As edificações foram construídas a mais de 30 anos em um bairro residencial que tinha pouco movimento de veículos e uma área ainda não habitada no entorno do bairro. Cada apartamento possui 82m² de área.

As manifestações patológicas aparecem devido à baixa qualidade no projeto, os materiais de baixa qualidade utilizados, a execução com algumas falhas e a falta de manutenção ao longo da vida útil da edificação.

Em março de 2021 as colunas (pilares) do edifício foram pintadas só com a massa e a tinta e quando deu a primeira chuva que molhou os pilares soltou tanto a massa como a tinta.

Para fazer correto o pintor aplicou o selador, para depois aplicar a massa acrílica e em seguida colocar a tinta.

A massa corrida pode ser riscada e dissolve com a água e só é usada em ambiente interno. Já a massa acrílica não dissolve com a água e nem risca. O selador serve como uma resina e é possível perceber que quando ele é passado sobre as telhas ela deixa a telha brilhosa.

Devido ao vazamento ocasionado por uma fissura na tubulação de água, acarretou uma grande umidade na parede (vedação) do edifício, onde foi necessário quebrar a alvenaria para retirar o vazamento que ocorreu em um dos banheiros de um apartamento conforme mostra a Figura 1.



Figura 1. Fissura na tubulação de água, acarretou uma grande umidade na parede (vedação).
Fonte: própria, 2019.

Para a recuperação e retirada da manifestação patológica da umidade ocasionada pelo vazamento da tubulação da instalação hidráulica foi primeiramente tirado o vazamento na parede do banheiro externamente e posteriormente foi feito um novo reboco na área em que foi quebrada a parede para a retirada do vazamento e posteriormente seria feita a pintura da parede (Figura 2).



Figura 2. Recuperação e retirada da manifestação patológica da umidade ocasionada pelo vazamento da tubulação. Fonte: própria, 2019.

Na Figura 3 é possível perceber o destacamento da pintura de revestimento da fachada externa do edifício. O destacamento ocorreu principalmente na parede de banheiros de um dos blocos de apartamento. Também foi possível perceber a existência de bolor nas paredes da fachada do edifício externamente.



Figura 3. Destacamento da pintura de revestimento da fachada externa. Fonte: própria, 2019.

A Figura 4 mostra a umidade no quarto andar em uma parede externa, que foi a manifestação patológica mais encontrada nos dois blocos de edifícios analisados. Quando foi construído não existiam nenhum edifício próximo da construção, porém com o passar dos anos foram construídos edifícios bem mais altos na vizinhança da edificação.



Figura 4. Umidade no quarto andar em uma parede externa. Fonte: própria, 2019.

A Figura 5 mostra corrosão nos vergalhões dos combogós feito de concreto que foram colocados para melhorar o conforto térmico dentro das áreas internas dos edifícios, como é o caso do acesso aos apartamentos. Foi possível perceber também que existem combogós trincados onde posteriormente o destacamento do concreto e o vergalhão ficará exposto acelerando assim o processo corrosivo do aço.



Figura 5. Corrosão nos vergalhões dos combogós feito de concreto. Fonte: própria, 2020.

Foi possível perceber a ocorrência de corrosão na armadura em pilares e vigas de concreto armado. O aumento da corrosão das armaduras decorre principalmente do efeito da carbonatação do concreto devido ao grande aumento do fluxo de veículos no entorno das edificações emitindo CO_2 como também a espessura do cobrimento menor do que o especificado na norma técnica. Devido a corrosão da armadura ocorreu o esmagamento do concreto que gerou trincas no pilar e posterior destacamento do cobrimento da armadura (Figura 6).



Figura 6. Esmagamento do concreto que gerou trincas no pilar. Fonte: própria, 2019.

A Figura 7 mostra corrosão na armadura em um pilar de concreto armado onde é possível perceber também a trinca vertical seguindo a mesma direção do vergalhão dos dois lados do pilar. O vergalhão já se encontra bastante oxidado (com ferrugem) com acelerado processo corrosivo. Como consequência da corrosão da armadura ocorreu o esmagamento do concreto. A corrosão da

armadura ocorreu devido a presença do dióxido de carbono, ou seja, devido a carbonatação do concreto.



Figura 7. Corrosão na armadura em um pilar de concreto armado. Fonte: própria, 2019.

Como profilaxia para reparar os efeitos da carbonatação e fazer a recuperação dos pilares que estavam com corrosão na armadura foi utilizado o método de reparo convencional, onde foi destacado todo o revestimento que estava sobre as armaduras corroídas principalmente devido a carbonatação do concreto, depois foi passado a escova de aço sobre os vergalhões corroídos para retirar toda a ferrugem posteriormente foi passada a tinta de cor verde (pintura de proteção superficial) à base de ferrolack óxido para fazer a proteção por barreira na armadura evitando o ataque do oxigênio (Figuras 8 do lado esquerdo e Figura 9 do lado direito). Foi possível perceber o agregado graúdo do concreto do pilar é que o lado direito do pilar estava bem mais comprometido com a corrosão da armadura do que o lado esquerdo do pilar. Sabe-se que a carbonatação é a penetração do CO_2 nos poros do concreto.



Figura 8. Recuperação dos pilar lado esquerdo. Figura 9. Recuperação dos pilar lado direito.
Fonte: própria, 2019.

Na Figura 10 foi possível perceber o pilar recuperado depois que ele foi concretado, ou seja, colocado um novo cobrimento e posteriormente o pilar seria pintado.

Foi utilizado o processo convencional de recuperação de armadura corroídas em estruturas de concreto armado.

No Estado do Ceará localizado no nordeste do Brasil se usa muito pouco a técnica de realcalinização (eletroquímica, química ou passiva) para se recuperar estruturas de concreto armado com corrosão na armadura, onde sabe-se que a partir dos anos de 1980 essa técnica já é utilizada.

Houve um erro na confecção do pilar pois não foi seguida corretamente a espessura do cobrimento que ficou menor que que é especificado na norma técnica.



Figura 10. Pilar recuperado pelo método convencional. Fonte: própria, 2019.

A Figura 11 mostra o pilar com destacamento da pintura e de pequena quantidade de concreto, onde é possível também perceber umidade na base do pilar e no piso de concreto.



Figura 11. Pilar com destacamento da pintura e de pequena quantidade de concreto. Fonte: própria, 2019.

Além dos pilares foi possível encontrar corrosão na armadura de uma viga de concreto armado, onde a armadura está exposta é um pequeno ponto depois do destacamento do concreto. Também parte do estribo já está exposto com o destacamento do concreto (Figura 12).



Figura 12. Corrosão na armadura de uma viga de concreto armado. Fonte: própria, 2017.

A Figura 13 mostra a corrosão da tubulação de gás GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) em acelerado processo de corrosão (ferrugem) como também o portão que dar acesso ao local onde se coloca o botijão de gás que foi construído com o vergalhão corrugado de aço CA-50 utilizado para confeccionar pilares e vigas de concreto armado com pontos de corrosão, sendo o ferrolho a parte que está mais corroída.



Figura 13. Corrosão da tubulação de gás GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Fonte: própria, 2018.

Os revestimentos, principalmente das fachadas são verdadeiros formadores da imagem do imóvel. O declínio funcional do revestimento provocado pelo surgimento de uma manifestação patológica, soma-se um prejuízo de natureza estética e simbólica, causado pela deterioração visual da edificação (Segat, 2006).

A Figura 14 mostra o destacamento da pintura e o deslocamento da argamassa de uma parede próximo ao piso feito de cerâmica esmaltada. Também foi possível perceber a caixa de passagem da fiação elétrica feita de aço com acelerado processo de corrosão, valendo ressaltar que as caixas eram feitas de aço devido a edificação ser antiga.



Figura 14. Destacamento da pintura e o deslocamento da argamassa de uma parede. Fonte: própria, 2018.

Cada bloco de apartamento possui o aterramento do para raio. O aterramento está localizado abaixo de um piso feito de concreto e fica próximo a saída da água pluvial que é drenada por uma tubulação de PVC. O piso de concreto apresenta rachaduras inclusive onde está a ponta da haste de aterramento de cobre e está nascendo vegetação próxima a tubulação de água e a parede. Foi possível perceber também a existência de bolor na parede do lado direito da tubulação e destacamento da tinta da parede do lado esquerdo com fissuras no reboco (Figura 15).



Figura 15. Bolor na parede do lado direito da tubulação e destacamento da tinta da parede. Fonte: própria, 2019.

Foi possível perceber na Figura 16 a existência da manifestação patológica destacamento da pintura, como também bolor na base de um dos pilares devido a umidade em uma das edificações do Condomínio Rogaciano Leite.



Figura 16. Destacamento da pintura, como também bolor na base de um dos pilares devido a umidade. Fonte: própria, 2019.

4. CONCLUSÃO

Dentre as manifestações patológicas encontradas foram: a corrosão da armadura, umidade, destacamento da pintura, destacamento da argamassa, bolo, fissuras, corrosão em tubulação de gás (GLP) e em portão etc.

Os dois edifícios apresentaram várias manifestações patológicas onde vem sendo feita a profilaxia ao longo dos anos.

No Bairro Luciano Cavalcante onde está localizado o Condomínio Rogaciano Leite ao longo dos anos vem aumentando muito a construção de novos edifícios e acarretando o aumento da população, e com isso aumentou sensivelmente o trânsito de veículos passando no entorno do condomínio, que fica localizado em uma esquina. A liberação do CO₂ do escapamento dos veículos acelerou a carbonatação do concreto armado dos edifícios.

REFERÊNCIAS

Andrade, P. R. S.; Silva, L. B.; Sotero, C. S. (2020). “*Estudo de patologias em uma residência térrea*”. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. ano 05, ed. 10, vol. 17, pp. 158-172. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/residencia-terrea>>. Acesso em: 07 mai. 2021.

Bolina, F. C.; Tutikian, B. F.; Helene, P. R. L. (2019). “*Patologia das Estruturas*”. Editora Oficina de Textos, São Paulo.

Carvalho, M. (2020). “*Patologias na Construção Civil – Tipos e Causas*”. Disponível em: <<https://carluc.com.br/manutencao-predial/patologias-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 07 mai. 2021.

Machado, K. M.; Alencar, E. A. B. (2021). “*Levantamento de patologia causadas por umidade nas edificações na cidade de Manaus – AM*”. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_1_8.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2021.

Nazario, D.; Zacan, E. C. (2011). “*Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde*”. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense.

Neri, K. ; Alves, H.; Ferreira, P.; Meira, G.; Vilar, E. (2013). “*Avaliação de estruturas concretas submetidas ao ataque de cloreto de sódio e ácido sulfúrico*”. 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Gramado.

Oliveira, R.; Zarzar Junior, F.; Bittencourt, T. (2013). “*Estimação probabilística da vida útil de componentes estruturais de pontes submetidas a carbonatação*”. 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Gramado.

Sales, J. C. (2021). “*Análise das manifestações patológicas na igreja de Santa Edwirges na cidade de Fortaleza no Estado do Ceará no Brasil*”. XVII Congreso International sobre Patologiy and Rehabilitation de la Construcciones. CINPAR. online.

Segat, G. T. (2006). “*Manifestações patológicas em revestimentos de argamassa: um estudo do caso em um conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)*”. Dissertação (Metrado Profissionalizante). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Trindade, D. S. (2015). “*Patologia de estruturas de concreto armado*”. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria

Zuchetti, P. A. B. (2015). “*Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari/RS*”. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Taquari. UNIVATES, Lajeado. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/939>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

Manifestações patológicas em vedações verticais inovadoras: origens, causas e técnicas de recuperação.

TS. Barros^{1*}, GM. Da Costa¹, CVSA. De Vasconcelos¹, EL. Da Silva Júnior¹, JM. De Oliveira¹, JFB. Baía¹, AC. Lordsleem Júnior¹
*teosousa94@gmail.com

¹ Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

RESUMO

As vedações verticais inovadoras, surgem como alternativa a alvenaria tradicional, devido a busca por produtividade. O objetivo consiste em apresentar as principais causas de suas manifestações patológicas. A metodologia baseia-se na revisão bibliográfica, o critério para classificação está fundamentado no Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT). Desta forma, escolheram-se cinco tecnologias de vedações verticais sem função estrutural que possuísem maior diversidade entre os materiais constituintes de sua composição. Os resultados da pesquisa demonstraram que dentre as manifestações patológicas incidentes, as mais recorrentes são fissuras e problemas de umidade, resultantes de deficiência no projeto e no processo de construção. As principais contribuições deste trabalho consistem em agrupar o conhecimento das manifestações patológicas mais frequentes em vedações verticais inovadoras, descrevendo as principais causas.

Palavras-chave: Vedações verticais inovadoras; manifestações patológicas; causas.

ABSTRACT

The innovative vertical seals appear as an alternative to traditional masonry, due to the search for productivity. The purpose of the present work is to present the main causes of the problems from the studied sealings. The methodology is based on the bibliographic review, the classification criterion is based on the National System of Technical Assessments (SINAT). In this way, five vertical sealing systems without structural function were chosen, which had greater diversity among the constituent materials of its composition. The results of the research showed that among the incident problems, the most recurrent are cracks and moisture problems, resulting from deficiency in the design and construction process. The main contributions of this work are to group the knowledge of the most frequent pathological manifestations in innovative vertical sealings, describing the main causes.

Keywords: Innovative vertical sealings; pathological manifestations; causes.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil está constantemente se aprimorando conforme o avanço tecnológico e lançando inovações no mercado. De acordo com a Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE), uma inovação corresponde à implementação de um produto novo ou de um mesmo produto com melhorias significativas, seja este um bem ou serviço (OCDE, 2005). Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016) as inovações no âmbito da construção civil podem ser classificadas de diversas maneiras, sendo uma delas definida pelos seguintes termos de inovações: institucional, organizacional, comercial e tecnológica. Ainda, a CBIC afirma que as inovações tecnológicas estariam relacionadas à utilização de novos componentes, produtos, sistemas, procedimentos e equipamentos.

Por sua vez, a NBR 15.575:2013 define uma inovação tecnológica como um aperfeiçoamento tecnológico, proveniente de atividades de pesquisa, aplicado ao processo de produção do edifício, tendo como objetivo a melhoria de desempenho, qualidade e custo do edifício ou de um sistema. No que tange às tecnologias construtivas de uma edificação, pode-se citar como exemplo de inovação tecnológica as tecnologias de vedações verticais.

São pouco utilizadas nas edificações, como salienta Sobrinho (2018) ao destacar o caso da alvenaria de bloco de gesso que ainda é dificilmente empregada pelas construtoras no Brasil. Desta forma, por serem pouco aplicadas e/ou passarem a ser utilizadas recentemente na construção civil, quando comparado à alvenaria tradicional, as tecnologias construtivas inovadoras de vedações apresentam a necessidade de um maior aprofundamento de estudos científicos no âmbito das manifestações patológicas e técnicas de recuperação.

Neste sentido, o objetivo dessa pesquisa é fazer um levantamento, a partir da análise bibliográfica, das principais manifestações patológicas que são encontradas em algumas tecnologias de vedação vertical inovadoras. Desta maneira, busca-se apresentar aspectos como origens, causas, técnicas de terapia e medidas de prevenção visando elencar as medidas/cuidados que se deve ter ao utilizar as inovações tecnológicas das vedações verticais. Ainda, é apresentado um plano de manutenção preventiva que engloba todas as tecnologias estudadas, a fim de garantir a manutenção do desempenho da edificação ao longo do tempo.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho é caracterizado como exploratório visto que busca uma melhor descrição sobre os objetos do estudo. A pesquisa foi dividida em duas etapas, sendo a primeira a seleção das vedações verticais inovadoras e na segunda a aplicação da metodologia Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses - PRISMA. Desta forma, no que tange à escolha das vedações inovadoras, tomou-se como referência as diretrizes do Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais (SINAT), onde informa que uma tecnologia construtiva inovadora consiste em sistema ou subsistema construtivo que não seja objeto de norma brasileira prescritiva e não tenha tradição de uso no território nacional. Estes processos constituem inovações em relação ao processo convencional da construção civil no Brasil. Assim sendo, foram selecionadas as cinco tecnologias de vedações verticais sem função estrutural previstos pelo SINAT:

- Painéis pré-fabricados de chapas delgadas vinculadas por núcleo de isolante térmico rígido;
- Fachadas leves em Steel Frame;
- Vedações verticais interna de bloco de gesso;
- Sistema de vedações verticais internas e externas sem função estrutural de painéis vazados de geopolímero;
- Pannel de vedação sem função estrutural pré-fabricado em concreto.

Após esta fase, aplicou-se os procedimentos do PRISMA para a seleção e sintetização da literatura existente. Os artigos potencialmente úteis selecionados para esse estudo foram encontrados no

Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e no Google Acadêmico.

A busca no Portal de Periódicos da Capes foi realizada no campo “por assunto” e as palavras-chaves em inglês empregadas foram:

- Em inglês: “innovative vertical sealing”, “pathological manifestations”, “performance”, “hollow geopolymer panels”, “problems”, “wall masonry”, “external wall”, “block”, “brick”, “plaster” e “Light Steel Frame”;
- Correspondência ao português: “vedações verticais inovadoras”, “manifestações patológicas”, “desempenho”, “painéis vazados de geopolímero”, “problemas”, “alvenaria de parede”, “bloco”, “tijolo”, “gesso” e “estrutura de aço leve”.

Tais palavras foram combinadas entre si para cada tecnologia pesquisada. Adicionalmente, utilizou-se os operadores booleanos “END” e “OR”, com o objetivo de delimitar os resultados das buscas. Na fase de seleção, foram incluídos os artigos revisados por pares, com até treze anos de publicação (de 2007 a 2020) e publicados nos idiomas português e inglês. Posteriormente, foram excluídos os artigos que não continham tópicos de interesse aos temas da pesquisa, por meio da leitura dos títulos e dos resumos. Acrescenta-se que foram incluídos no estudo alguns trabalhos (artigos, dissertações e teses) oriundos de busca por outras fontes como o Google Acadêmico e portais de instituições de ensino superior. A Figura 1 apresenta o fluxograma da seleção dos artigos.

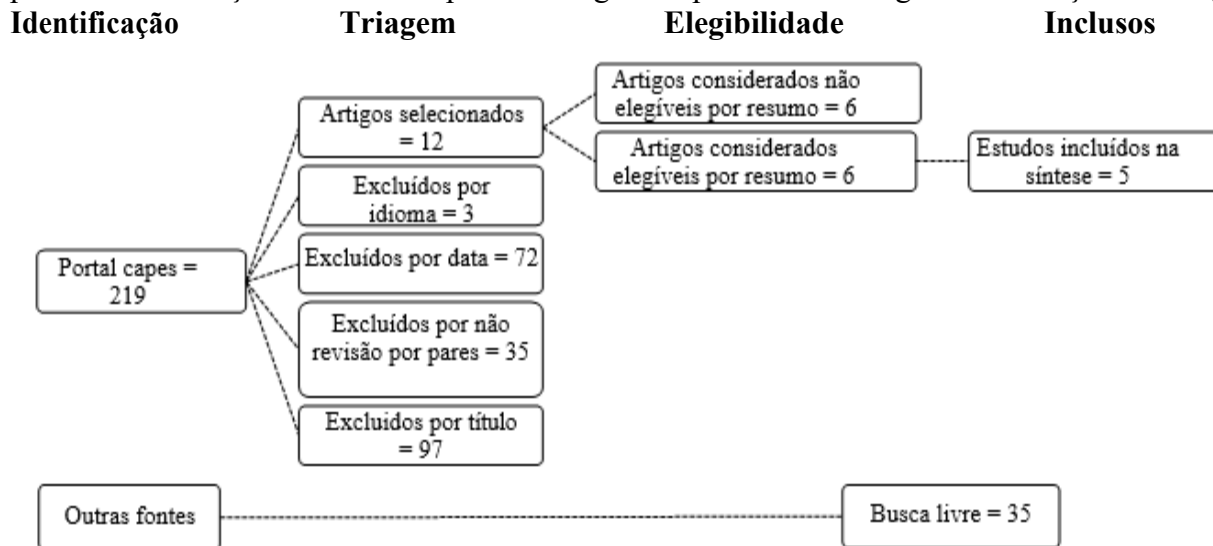


Figura 1 – Fluxograma da seleção dos artigos.

Fonte: Autores (2020)

3. PATOLOGIA DAS VEDAÇÕES VERTICAIS INOVADORAS

No âmbito da engenharia civil, patologia corresponde à ciência responsável por estudar as causas, mecanismos de ocorrência e consequências dos erros nas construções (LIMA, 2015). Segundo Lira (2019), as manifestações patológicas ocorrem quando uma edificação apresenta algum problema em sua integridade, comprometendo o desempenho do edifício ou de suas partes, por meio de sinais externos, também denominados de sintomas.

As vedações verticais, assim como qualquer outro sistema de uma edificação, estão sujeitas à perda de desempenho devido ao surgimento de manifestações patológicas. Em decorrência disso, o comprometimento de suas funções é eminente. Segundo a NBR 15575, os problemas supracitados decorrem, sobretudo, de falhas no projeto, na fabricação, na instalação, na execução, na montagem, no uso ou na manutenção dos produtos ou sistemas da edificação (ABNT, 2013). Nas seções seguintes, será apresentado uma abordagem sistemática sobre os principais problemas

identificados por alguns pesquisadores, no que se refere às tecnologias selecionadas para o presente estudo.

3.1 Painéis pré-fabricados de chapas delgadas vinculadas por núcleo de isolante térmico rígido.

A tecnologia construtiva formada por painéis pré-fabricados de chapas delgadas vinculadas por núcleo de isolante térmico rígido podem ser constituídas por chapas delgadas de aço pré-pintadas (SINAT N-10, p.4, 2014).

No que tange ao núcleo dos painéis, a Diretriz SINAT N-010 informa que podem ser de poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudado (XPS), poliuretano (PUR) e poli-isocianurato (poliuretano modificado - PIR).

Segundo Lima (2016), existem no mercado chapas com ou sem perfis estruturais de aço (guias e montantes), que podem ser incorporados ao painel na fase de fabricação ou serem montados no local definitivo juntamente com a montagem dos painéis. De acordo com a Diretriz SINAT N-10, não é recomendável o uso da tecnologia reforçada com perfis de aço em ambientes de atmosferas industriais e marinhas, tendo em vista o alto grau de agressividade associado (classe de agressividade III e IV, da NBR 6118/2014), Figura 2. As manifestações patológicas mais comuns estão relacionadas com a estrutura metálica dos painéis. Desse modo, no tocante aos problemas mais recorrentes em estruturas de aço, Pravia e Betinelli (2016) classificam em seis tipos principais, conforme elencados no Quadro 1.

Quadro 1 – Síntese das principais manifestações patológicas no aço

Manifestação Patológicas	Origem	Principais Causas
Corrosão localizada	Projeto e/ou execução	Causada por deficiência de drenagem das águas pluviais e deficiências de detalhes construtivos, permitindo o acúmulo de umidade e de agentes agressivos.
Corrosão generalizada	Projeto e/ou execução	Causada pela ausência de proteção contra o processo de corrosão.
Deformações excessivas	Projeto e/ou execução	Causadas por sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos, ou ainda, deficiências na disposição de travejamentos.
Flambagem local ou global	Projeto e/ou execução	Causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou deficiências no enrijecimento local de chapas, ou efeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto e cálculo.
Fratura e propagação de fraturas	Projeto e/ou execução	Falhas estas iniciadas por concentração de tensões, devido a detalhes de projeto inadequados, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas no projeto.

Fonte: Pravia e Betinelli (2016)

De acordo com Souza e Sacchi (2017) as manifestações patológicas presentes nas estruturas metálicas originam-se nas mais diversas fases do empreendimento, desde a fase de projeto até a fase executiva como deficiência em detalhes construtivos ou até mesmo adquiridas, gerando o processo da corrosão.

Pode-se observar no Quadro 1 que a corrosão (Figura 3) está entre as principais manifestações patológicas que ocorrem em estruturas de aço, além de deformações relacionadas à flambagem e a fraturas excessivas.

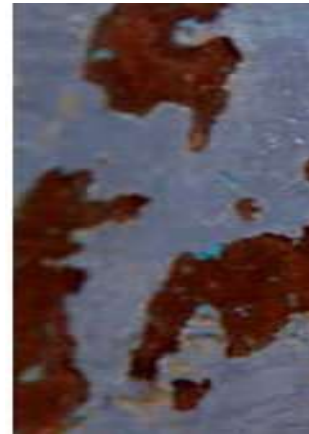
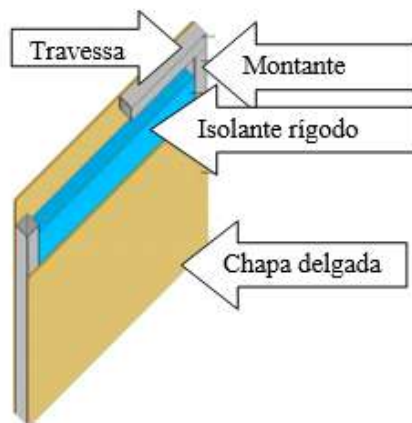


Figura 3 – Corrosão em Painel de chapas delgadas de aço

Fonte: IBDA (2020)

Fonte: Diretriz SINAT N-10 (2020)

Segundo Pannoni, (2007), recomenda que os elementos que apresentarem sinais de corrosão ou que venham a receber algum tratamento em suas superfícies devem passar previamente por uma lavagem com água e tensoativos neutros, esfregando-se com uma escova de nylon. Após a lavagem, seca-se a superfície naturalmente ou com ar comprimido limpo e seco (SIS 05 59 00, 1967). Pannoni (2007) cita a pintura como principal meio de proteção dos elementos metálicos. Para isso, são utilizados pigmentos constituídos por partículas sólidas finamente divididas e insolúveis ao meio, com a finalidade de conferir, sobretudo, cor, opacidade, certas características de resistência e outros efeitos. Segundo o mesmo autor, tais pigmentos são divididos em dois grupos, ativos e inertes, os quais conferem respectivamente, cor e proteção aos metais. Os pigmentos anticorrosivos mais utilizados nas tintas de proteção ao aço são: zarcão, fosfato de zinco, zinco metálico, cromato de zinco, óxido de ferro e alumínio. A diretriz SINAT – DAtec N° 038, que apresenta as diretrizes para execução das Casas Fisher que utilizam de painéis de chapas delgadas com núcleo isolante térmico rígido, recomenda um período mínimo de 8 anos para a substituição ou avaliação criteriosa do estado das pinturas existentes nas casas.

3.2 Fachadas leves em Steel Frame.

O Light Steel Framing (LSF) é uma tecnologia construtiva industrializada, de concepção racional, que permite uma construção a seco, padronizada e muito utilizado nos EUA (ANDRADE, 2017). Segundo Crasto (2005), no final da década de 90 algumas construtoras brasileiras começaram a importar kits em LSF para construção de residências unifamiliares, desde então essa tecnologia tem passado por um processo de melhoria na sua cadeia produtiva.

Segundo Handa (2019), no que tange às recomendações técnicas nacionais, além das diretrizes N°003 e N°009 publicadas pelo SINAT, tramita uma comissão de estudo de sistemas construtivos LSF (Comissão de Estudo ABNT/CE 002: 125.004), que objetiva estabelecer critérios de desempenho, projeto e execução, a qual passa por revisões semanais e resultará na norma intitulada “Light Steel Framing – Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamento em chapas delgadas”. Trata-se de uma tecnologia constituída por perfis metálicos leves com fechamento executado em painéis de gesso acartonado, placas cimentícias ou tiras de madeira. Devido seu ótimo desempenho térmico, seu uso pode contribuir significativamente para redução do consumo de energia em locais de clima frio (LOHMANN e SANTOS, 2020).

Apesar dos preconceitos enfrentados no Brasil, o LSF tem se mostrado uma tecnologia rápida, durável e flexível, atendendo às condições exigidas para construções residenciais e comerciais, sendo, portanto, uma alternativa viável frente a outros sistemas tradicionais (HANDA, 2019).

Em se tratando dos problemas patológicos, escopo principal desse trabalho, salienta-se que a literatura existente é escassa. Apesar disso, é possível constatar que os problemas mais recorrentes são oriundos, majoritariamente, por falhas de projeto e execução. A Figura 4 permite visualizar claramente o contorno das placas de uma fachada em LSF, tal problema é decorrente de juntas com tratamentos defeituosos (HOFMANN, 2015).



Figura 4 – Contorno de placas em fachadas LSF

Tais problemas são ainda mais recorrentes em edificações de interesse social. Andrade (2017) menciona uma grande reincidência dos problemas identificados no conjunto habitacional objeto de seu estudo, apontando para possíveis falhas na concepção do projeto, uma vez que o autor verifica indícios de que a construtora em questão seguiu satisfatoriamente as recomendações técnicas. Ainda segundo Andrade (2017), muitos problemas nesse tipo de edificação são decorrentes de ampliações sem a devida compatibilização entre os diferentes sistemas construtivos, resultando no aparecimento de fissuras e trincas devido às diferentes movimentações nos encontros entre os sistemas de vedação.

O Quadro 2 apresenta os principais problemas mencionados na literatura existente, elencando-os com suas respectivas origens e consequências.

Quadro 2 – Síntese das principais manifestações patológicas identificadas por pesquisas envolvendo o estudo de LSF

Autores	Manifestações Patológicas	Origem	Causas
Handa (2019); Campos e Souza (2010)	Problemas com estanqueidade nas interfaces, permitindo a ocorrência de infiltrações e conduzindo à formação de fissuras	Projeto ou Execução	Falta de utilização de fita adesiva (flashing) ou cantoneira metálica nos vértices das aberturas das janelas; Cortes indevidos nos painéis para passagem de instalações; Falhas quanto a instalação de telas no tratamento de juntas
Handa (2019)	Desalinhamento da fachada e imperfeições no acabamento	Execução	Falta de alinhamento e prumo entre os painéis cimentícios
Handa (2019)	Corrosão dos perfis	Projeto ou Execução	Inexistência ou danos em manta impermeabilizante (asfáltica) entre os painéis e o piso dos pavimentos
Handa (2019)	Problemas com ruídos decorrentes do uso	Projeto ou Execução	Inexistência de manta acústica entre os painéis e o piso dos pavimentos
Handa (2019); Andrade (2017)	Fissuras e trincas contornando as placas	Projeto ou Execução	Falhas na paginação das placas ou irregularidades no tratamento de juntas de movimentação, por não seguir recomendações do fabricante
Handa (2019)	Estanqueidade e integridade dos materiais prejudicadas	Execução	Cortes indevidos nos painéis para passagem de instalações

Autores	Manifestações Patológicas	Origem	Causas
Campos e Souza (2010)	Manchas de umidade, bolor, destacamento do revestimento e estofamento visível e imediato das placas	Projeto ou Execução	Danos provocados por falhas no sistema hidráulico e de coleta de água de chuva (calhas, rufos etc.)
Campos e Souza (2010)	Danos estéticos e funcionais	Utilização	Fixação de objetos nas paredes da edificação de maneira inadequada
Campos e Souza (2010)	Trincas e fissuras rente ao teto	Projeto ou Execução	Falta de juntas de dilatação com o objetivo de promover um espaçamento no encontro entre as paredes com o teto, permitindo a movimentação térmica natural.
Carvalho (2015) apud Hofmann (2015)	Fissuras, trincas inclinadas e deslocamento das placas cimentícias	Projeto	Especificação de fundações inadequadas, com comportamento flexível, proporcionando deformações além da considerada admissível
Hofmann (2015)	Redução no desempenho do sistema, podendo gerar movimentações e deslocamentos indesejados	Execução	Não obediência rigorosa das indicações fornecidas pelos fabricantes sobre a quantidade de parafusos necessária para a fixação das placas e outros elementos do sistema

Fonte: Autores (2020)

Dentre os danos mencionados, observa-se que afetam, predominantemente, o aspecto estético da edificação. No entanto, algumas medidas terapêuticas precisam ser adotadas.

Lira e Lordsleem Júnior (2018) apontam para a conveniência da substituição dos elementos danificados. Os autores discorrem sobre a identificação de desaprumos verticais da edificação, que pode ser pontual – em uma placa específica - ou generalizada. A depender da situação, observa-se a necessidade de procedimentos distintos de reparo, uma vez que desaprumos pontuais podem ser solucionados com a substituição da placa e desaprumos generalizados deve-se recuperar a verticalidade da estrutura de suporte. Sobre as técnicas de recuperação, a literatura é ainda mais escassa, sendo as principais recomendações relacionadas com a boa prática construtiva, a fim de mitigar problemas futuros. Dentre as principais recomendações gerais, encontra-se a necessidade de seguir rigorosamente as indicações construtivas fornecidas pelos fabricantes, de promover o constante treinamento da mão de obra e de fomentar a boa orientação das particularidades da tecnologia aos usuários, por meio de manuais de usos (bem elaborados) disponibilizados no ato da entrega do imóvel.

3.3 Vedações verticais interna de bloco de gesso.

A gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), material utilizado para a fabricação dos blocos de gesso, já era empregada pelos egípcios na antiguidade, observando seu emprego em 2700 a.C como material de vedação na pirâmide de Quéops (PESTANA et al., 2014). No Brasil, o uso desse material teve destaque nos anos 50, mas com poucos registros (ibid.). Atualmente, o Brasil possui uma reserva de rochas calcárias e dolomíticas estimada em cerca de 350 milhões de toneladas (LEITÃO, 2005). Conforme Barbosa, Ferraz e Santos (2014), o maior produtor de gesso do país é o estado Pernambuco, que concentra 95% da produção. Notando-se que do gesso natural obtido através da calcinação da gipsita, cerca de 96% destina-se diretamente ao emprego na construção civil para a confecção de blocos e placas. A vedação vertical interna constituída de bloco de gesso é definida, segundo o SINAT (p. 4, 2017), como alvenaria construída “utilizando blocos de gesso, maciços ou vazados, intertravados e unidos entre si com aplicação de gesso-cola ao longo de todas as arestas”. No Brasil, são fabricados blocos com comprimento e altura de 666 mm x 500 mm, nas espessuras de 70 mm, 76 mm e 100 mm, podendo ser maciços ou vazados, sendo os de 100 mm produzidos somente na versão maciça (SILVA; PERES, 2016).

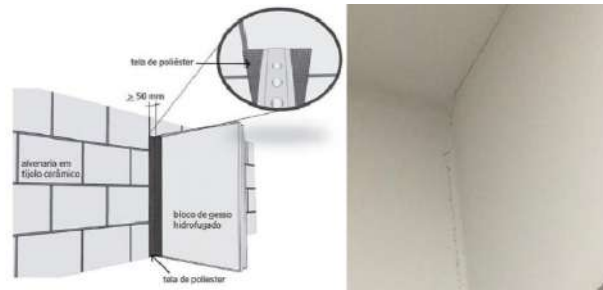


Figura 5 – Modelo e manifestação patológica em vedação de Bloco de gesso

Fonte: Silva e Peres (2016)

Conforme o levantamento realizado, um sintoma comumente observado nesse tipo de sistema de alvenaria é a presença de fissuras. Elas ocorrem, geralmente, ao redor das esquadrias e no encontro entre a parede e os elementos estruturais e na interface entre a parede e forro ou entorno das esquadrias. Esses locais são propícios ao surgimento de manifestações patológicas, principalmente, devido à concentração de tensões (MOCH, 2011).

Essa problemática, não obstante, também é observada nas vedações de bloco de gesso. Lira (2019) ao analisar uma edificação do Recife, cujas paredes internas eram constituídas por blocos de gesso, pôde perceber a presença dos supracitados sintomas. Segundo a autora, o provável mecanismo relacionado à fissura entre a parede de bloco de gesso e a estrutura de concreto ou forro de gesso é o movimento diferencial dos elementos. O Quadro 3 apresenta alguns problemas identificados por alguns pesquisadores.

Quadro 3 – Síntese das principais manifestações patológicas identificadas por pesquisas em vedações internas de bloco de gesso

Autor	Manifestação Patológica	Origem	Causa
LIRA, 2019	Fissuras ao longo das juntas	Execução	Irregularidades nas juntas demovimentação, por não seguir recomendações do fabricante
MOCH, 2011 LIRA, 2019	Fissura no entorno das aberturas	Execução	Ausência de verga e contra-verga conforme recomendações dos fabricantes
WALKER; PAÍVA; DALTON, 2015	Umidade	Execução	Utilização de blocos inadequados na construção

Fonte: Autores (2020)

Apesar de notar que a maioria das manifestações tem origem na execução, em um estudo realizado por Galiza et al. (2017), conclui-se que muito problemas surgem devido inadequações observadas nas condições iniciais do local de trabalho. Dentre as negligências presentes nessa fase, destacam-se a falta de chapisco, contrapiso e limpeza no local onde será construída a vedação, não segmento do projeto de logística para armazenamento dos blocos e ausência de ficha de verificação de serviço, o que tem contribuído para realização do serviço de maneira inadequada.

Além disso, em uma avaliação pós-ocupação feita por Sobrinho (2018) em 15 empreendimentos na região metropolitana de Recife, percebeu-se que a origem das poucas manifestações patológicas encontradas nas edificações decorreu das falhas de projeto e a falta do cumprimento de especificação. Com base no exposto, destaca-se que muitas manifestações patológicas podem ser evitadas se o projeto e a execução da alvenaria de bloco de gesso seguir as recomendações previstas em normas, diretrizes, manuais e determinadas referências bibliográficas.

Lira (2019) acrescenta a necessidade de aplicação de uma tela de poliéster de largura mínima de 50 mm em cada lado da vedação para unir a parede e o pilar, conforme apresentado na figura 3. Após o aparecimento das manifestações, é importante definir as terapias que devem ser aplicadas a fim de solucionar o problema. De acordo com Lira (2019), as fissuras podem ser reparadas com a utilização de massa de gesso. Todavia, essa é uma solução para fins estéticos, sendo necessário sanar também a causa da fissura para que ela não volte a ocorrer na vedação de bloco de gesso. Desta forma, recomenda-se a reconstrução da vedação seguindo as recomendações de execução citadas acima.

3.4 Sistema de vedações verticais internas e externas sem função estrutural de painéis vazados de geopolímero.

O primeiro estudo que surgiu no mundo sobre geopolímeros foi realizado por Davidovits (1988), que desenvolveu uma investigação experimental que culminou na formulação de compostos inorgânicos de base polimérica, com produtos de propriedades cimentícias, redução de tempo de pega e elevada estabilidade, entre outros. Desde então, muitos trabalhos foram dedicados nos últimos 30 anos ao desenvolvimento de materiais de construção, como geopolímeros, com o objetivo de reduzir os custos ambientais e econômicos de edificações verticais ao longo de toda a sua vida (GALLIPOLI, 2017).

Dentre esses materiais, destaca-se os painéis vazados de geopolímero, que com surgimento recente, estão sendo utilizado no mercado da construção civil brasileiro. De acordo com o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT, 2020), os painéis vazados de geopolímero são produzidos por processo de extrusão, com a inclusão de adições em sua composição, como pó da borracha de pneu ou de poliestireno expandido (EPS).

Estes painéis se caracterizam por serem intertravados entre si, construídos com aplicação de argamassa cimentícia convencional, em todas as arestas. As Figura 6 e 7 apresentam um modelo de vedação com painéis vazados de geopolímeros com as dimensões máximas de cada peça a fim de evitar possíveis esforços de flexão que danifique o painel durante o seu transporte. Para isso, a largura deve ser compreendida entre 0,80 a 12,0 cm, altura e comprimento máximo de 35,0 e 30,0 cm, respectivamente.

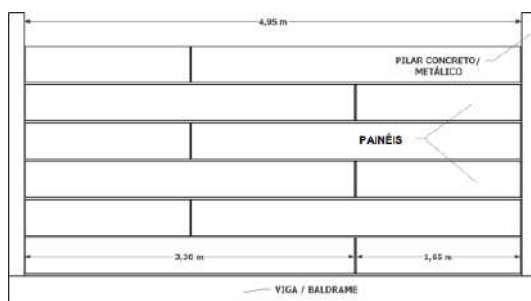


Figura 6 – Características dos painéis vazados de geopolímeros
Fonte: SINAT (2020)

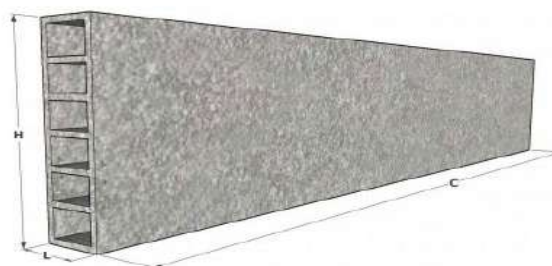


Figura 7 – Exemplo de peça vazada de geopolímero
Fonte: SINAT (2020)

A fim de evitar o aparecimento de possíveis manifestações patológicas o SINAT (2020) cita algumas restrições de uso, como: durante o uso da edificação é de grande importância que seja realizada a com o piso; é proibido o uso de revestimentos compostos com solventes nos painéis geopoliméricos; e deve ser feita uma análise do potencial de surgimento de problemas de umidade nos projetos antes da sua instalação, devido a condensação de umidade interna às unidades.

Além de ser completamente sustentável (PROVIS et al, 2015), Zhang et al (2013), aponta outras múltiplas vantagens do material, como alta resistência a compressão e alta resistência ao fogo.

Contudo, os geopolímeros também apresentam desvantagens, como alta suscetibilidade ao fenômeno da eflorescência (ZHANG et al, 2013).

Para Cassel (2018), geopolímeros em geral apresentam uma tendência natural à eflorescência, que é causada pelo fato de sua microestrutura ser aberta e porosa, com materiais que possuem uma menor extensão de reação, parcialmente devido à alta concentração de álcalis, como o sódio e em contrapartida ligantes com fraca reatividade (e permutabilidade) do sódio na estrutura de geopolímeros. De acordo com Guterres (2016), o processo de deterioração causado pela eflorescência está mais diretamente ligado à fatores como: migração da água do solo na direção das faces livres das paredes; infiltrações da água da chuva, por condensação do vapor de água contido no interior dos edifícios; água advinda dos materiais de construção e/ou do processo construtivo. No Quadro 4, pode ser visualizado a relação dessa manifestação patológica com a sua causa e origem.

Quadro 4 - Origens e causas da eflorescência em geopolímeros

Autor	Manifestação Patológica	Origem	Causa
Guterres (2016)	Eflorescência	Projeto ou execução	Ascensão capilar, infiltração, água de materiais de construção.

Fonte: Autores (2020)

Se as manifestações patológicas em painéis vazados de geopolímeros são geradas através de umidade excessiva proveniente da falha do sistema de impermeabilização ou de materiais de construção, os reparos estão associadas simplesmente as soluções do problema externo (gerador da presença excessiva da água) e a escovação a seco a superfície com escova de cerdas de aço e proceder a limpeza com solução de ácido muriático a lavagem da superfície exterior para eliminar os depósitos de sais que nela se manifestam (NBR 7200, 1998).

3.5 Painel de vedação sem função estrutural pré-fabricado em concreto.

Por volta dos anos 50, período pós-guerra, os painéis de concreto foram introduzidos no mercado mundial, destacando sua utilização nos Estados Unidos, Canadá e Europa. Na década de 60 houve um declínio devido as limitações de padronização e estética. Atualmente, no Brasil, São Paulo é o estado que se destaca nesta tecnologia (M. SILVA; V. SILVA; 2017).

O pré-fabricado em concreto (PFC) para vedação consistem em um sistema reforçado que não possui finalidade estrutural, sendo-os acoplados aos elementos estruturais do empreendimento (CAMPOS, 2019). Podem ser utilizados na parte interna da edificação, como divisórias de ambientes, ou na parte externa, também conhecidos como painéis cortinas, em que as solicitações aos painéis são transferidas aos elementos estruturais (MEDEIROS et al., 2014).

O PFC é comumente utilizado em substituição à alvenaria de vedação com blocos cerâmicos, que consiste em um conjunto de tijolos ou blocos coesos e unidos entre si. Esse conjunto é rígido e possui interposição de argamassa em combinação de juntas que são utilizados em elementos construtivos de vedação como paredes internas e externas. Podem ser fabricados em cerâmica ou concreto (AMBROZEWICZ, 2015). Os PFC são utilizados para vedação devido à redução no cronograma da obra e velocidade de execução nos processos construtivos, em comparação à alvenaria de vedação com blocos cerâmicos. Podendo também promover o aumento de produtividade através da utilização de pré-moldados ou pela produção in loco em que há a facilidade do know-how da mão-de-obra (CRUZ et al., 2018). Além disso, há outras vantagens como a padronização dos painéis, durabilidade compatível com a vida útil do projeto, variedade de dimensões e incorporação de outros materiais na composição do concreto (REIS; RIBEIRO, 2019). Apesar das diferentes vantagens que os PFC possam apresentar para o uso em vedações, existem

também suas desvantagens como o alto custo, grande peso, falta de normalização e necessidade de precisão em suas dimensões (SILVA, M.; SILVA, V.; 2017).

Além disso, algumas manifestações patológicas podem ser encontradas nos PFC em decorrência de diferentes fatores, mas sendo os mais comuns com origens no projeto e no processo de execução. O Quadro 5 apresenta as manifestações patológicas no PFC.

Quadro 5 – Síntese das principais manifestações patológicas identificadas por pesquisas envolvendo o estudo de PFC

Autor	Manifestação Patológica	Origem	Causa
Silva, M.; Silva, V. (2017); Barth; Vefago (2016)	Fissura e problemas com estanqueidade	Projeto ou execução	Falhas no armazenamento, transporte, içamento e fixação das peças acarretam movimentações na peça e solicitações excessivas
Acosta (2019)	Fissuras	Projeto ou execução	Painéis com pouca espessura e Baixa resistência ao fogo e baixo desempenho térmico
Silva, M.; Silva, V. (2017)	Manchas	Projeto ou execução	Ação de agentes agressivos que provocam manchas devido a umidade

Fonte: Autores (2020)

De acordo com Silva, Campos e Santos Filho (2017) as fissuras podem ser reparadas com a injeção de ligantes epoxídicos não plastificados ou polissulfetos. Lembrando-se que o material deve apresentar resistência à tração maior que a da peça e deve ser relativamente flexível para acompanhar movimentação da fissura. Já com relação às manchas, os autores supracitados recomendam a limpeza do local através de lixamento e escovação, além da utilização de soluções aquosas de bicarbonato de sódio, jatos de ar ou água, como ilustrado da Figura 8.

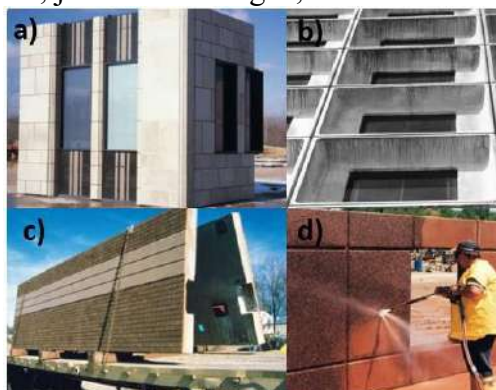


Figura 8 – a) Exemplificação de PFC; b) Manchas causadas por umidade; c) Transporte correto de peças; d) Limpeza das peças utilizando jato de água

Fonte: Precast/Prestressed Concrete Institute (2007)

4. PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

O plano de manutenção é um componente que contribui para a conservação das características do empreendimento, como também garante o seu correto funcionamento e condições de utilização. Com o objetivo de reduzir ou impedir o surgimento de eventuais manifestações patológicas nas diversas instalações apresentadas nesta pesquisa, o capítulo em epígrafe constitui brevemente um plano de manutenção preventiva que agrega a confiabilidade dos sistemas e conservação dos seus elementos constituintes, possibilitando a antecipação e redução de falhas indesejadas.

As atividades apresentadas no Quadro 7 do plano de manutenção preventiva que é direcionado para as vedações verticais internas e externas (inclusive muros), podem ser realizadas por profissional devidamente habilitado ou por uma equipe de manutenção terceirizada pelo usuário, sendo em ambos os casos necessário realizar a emissão de ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) e elaborar um relatório técnico contendo todas as informações necessárias para futuras inspeções,

como atividades realizadas e falhas encontradas com registros fotográficos. Para um melhor entendimento dos responsáveis pela execução do plano apresentado a seguir, os sistemas constituintes são todos abordados nos capítulos anteriores, cabendo salientar que deve ser tomada a devida atenção na execução da atividade relacionando ao sistema corretamente.

Quadro 7 – Plano de Manutenção Preventiva

Atividade	Procedimentos	Periodicidade
Verificação de vazamentos nas instalações	Deve ser resolvido de imediato para evitar a ação prolongada da água sobre o bloco de gesso. Evitar o uso de ferramentas contundentes como talhadeiras e ponteiros, que possam provocar vibração excessiva na parede e comprometê-la. Consultar um profissional qualificado para a realização do reparo.	Constantemente
Limpeza em placas de aço	Em áreas molhadas pode ser realizada com água, esponjas, escovas macias, pano úmido e produtos de limpeza neutros, que não agridam os componentes de acabamento. Em áreas secas deve ser feita com pano seco para não danificar o sistema.	Cada 01 mês ou a critério do usuário
Pintura em placas de aço	Caso haja microfissuras aparentes na peça, consultar um profissional qualificado para avaliar a necessidade de substituição total ou parcial da peça	Cada 24 meses
Verificação de alterações nas juntas de movimentação	Caso haja algum problema visível na peça, consultar um profissional qualificado para avaliar a necessidade de substituição ou reparo da peça	Cada 12 meses
Verificar a segurança e integridade do sistema como um todo	Documentar com fotos todas as não conformidades encontradas	Cada 24 meses
Verificar os sistemas de impermeabilização		Cada 24 meses
Verificar a estanqueidade dos encontros entre o sistema de vedação e as esquadrias		Cada 24 meses
Verificar manchas de umidade		Cada 24 meses

Fonte: Autores (2020)

5. CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho foi apresentar as manifestações patológicas mais frequentes em vedações verticais inovadoras, expondo suas principais causas e origens e propondo soluções de reparos dos problemas. Com o estudo, pôde-se entender as características e especificidades de cada tecnologia, apontando, falhas frequentes em múltiplas fases da construção que, por sua vez, podem vir a desencadear diversos problemas. Com o exposto, observou-se que grande parte dos problemas patológicos é resultado de deficiência no projeto e no planejamento da construção, onde houve carência de cuidado no seguimento de normas e parâmetros já pré-estabelecidos. Dentre os tipos de manifestações notados nas tecnologias, destacam-se a fissura e problemas com a umidade.

Além de deficiências na fase de projeto e planejamento de execução, uma parte significativa dos problemas patológicos é resultado de falta mão de obra qualificada, sendo um fator primordial na garantia do bom desempenho das edificações. Profissionais bem formados para entender e executar os projetos desenvolvidos é imprescindível.

Espera-se que o apanhado de conhecimento adquirido possa contribuir para a área acadêmica da área da engenharia civil, como também para uma maior conscientização de empresas inseridas na indústria da construção.

6. REFERÊNCIAS

- ACOSTA, M. J. M. Desempenho da resistência ao fogo de elementos construtivos de vedação vertical de concreto com formas permanentes de PVC. Tese (doutorado em Engenharia) UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre-RS. 94f., 2019
- AMBROZEWICZ, P. H. L. Construção de Edifícios do início ao fim da obra. 1ª edição. São Paulo, 2015.
- ANDRADE, T. C. de. Inspeção no Pós Ocupação de Empreendimento de Interesse Social em “Light Steel Frame”. 2017. 97 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Gerenciamento de Obras, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto e execução de obras de concreto. Rio de Janeiro, 1982.
- _____. NBR 15575: Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Características químicas, mecânicas e morfológicas do gesso β obtido do pólo do Araripe. *Ceramica*, v. 40, n. 1, p. 501 – 508, 2014.
- CÂMARA BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO CIVIL (CBIC). Catálogo de inovação na construção civil. Brasília: CBIC, 2016. 137p.
- CAMPOS H. C., SOUZA H. A. Avaliação pós-ocupação de edificações estruturadas em aço, focando edificações em light steel framing. *CONSTRUMETAL – CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA*, São Paulo. Anais [...]. São Paulo, 2010.
- CAMPOS, S. A. Análise comparativa de sistemas de vedações externas para edificações habitacionais com apoio à decisão multicritério. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- CASSEL, L. D. Manifestação patológica em sistemas geopoliméricos produzidos com metacaulim: avaliação da susceptibilidade no desenvolvimento de eflorescências. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- CRASTO, R. C. M. Arquitetura e Tecnologia em Sistemas Construtivos Industrializados. 2005. 231p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais, 2005.
- CRUZ, H. M.; SANTOS, D. G.; MENDES, L. A. Causas da variabilidade do tempo de execução dos processos em diferentes sistemas construtivos. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 1, p. 49–65, 2018.
- CONFERÊNCIA NACIONAL DE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURA, 2017, Recife. Anais [...], CONPAR, 2017, 2017.
- DAVIDOVITS, J. Geopolymer chemistry and properties, proceedings of the geopolymer, v.1, p. 25-48, 1988.
- GALIZA, L.; JUNIOR, M. J. S.; ALBUQUERQUE; M. V. F.; BEZERRA, M. Manifestações patológicas em vedações de gesso e a importância de uma gestão eficaz no processo.

- GUTERRES, P. R. C. Argamassas de reabilitação: Estudo da sua utilização e do seu comportamento para o tratamento e recuperação de construções afetadas por eflorescências. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade da Beira Interior, Corvilhã, Portugal. 2016.
- HANDA, D. K. C.. Identificação das Principais Manifestações Patológicas em Fachadas em Chapas Delgadas Estruturadas Em Light Steel Framing – Estudos de Caso. 2019. 204 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.
- HENRIQUES, F. M. A. Noção de Qualidade em Edifícios. Comunicação ao Congresso Nacional da Construção. Lisboa, 2001.
- HOFMANN, G. A. A. Tratamentos de Juntas Invisíveis em Placas Cimentícias no Fechamento de Sistemas Light Steel Framing. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós- Graduação do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.
- Isoeste. Disponível em: <https://kingspan-isoeste.com.br/> Acesso em: 10 Set. 2020.
- IBDA – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/ibda.php>. Acessado em: 25 de out. de 2020.
- LEITÃO, M. A. S. Gesso: conhecimento e uso na engenharia. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. 2005, Recife. Anais [...], 2005.
- LIMA, B. S. Principais manifestações patológicas em edificações residenciais multifamiliares. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- LIRA, V. Q. Manifestações patológicas em vedações verticais inovadoras: estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2019.
- LIRA, V.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. Manifestações Patológicas em Inovações Tecnológicas das Vedações Verticais de Edificações Habitacionais. In: Congresso De Patología y Rehabilitación de Edificios, 6., 2018, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: POLI/UFRJ, 018. p. 1-10.
- PIETRANTONIO, V. B. Tecnologia de Vedação e Revestimentos por fachadas. Instituto Aço Brasil. Rio de Janeiro, 2014.
- MOCH, T. Interface esquadria/alvenaria e seu entorno: análise das manifestações patológicas típicas e proposta de soluções. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Manual de Oslo: diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. Publicado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), 3ª ed., 2005.
- PESTANA, E. H. A.; MASCARENHA, K. M.; PINHEIRO, L. H. S.; QUEIROZ, M. G. S. A alvenaria estrutural e seu desenvolvimento histórico: Materiais e sistemas estruturais. 2014. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/felipelimadacosta/a-alvenaria-estrutural-e-seu-desenvolvimento-historico>. Acesso em: 14 de out. 2020.
- PRÁVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A. Conceito e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas. Construção Metálica, [São Paulo], p 56-61. 4º trimestre de 1998.

- PROVIS, J. L.; ANGEL, P.; CAIJUN S. Advances in understanding alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research* 78 (2015): 110-125.
- REIS, J. V. A.; RIBEIRO, N. C. Comparação decusto entreparede de alvenaria convencional e parede de concreto moldada in loco. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Cesmac, 2019, Maceió.
- SANTIAGO, A. K. O Uso do Sistema Light Steel Framing Associado a Outros Sistemas Construtivos como Fechamento Vertical Externo Não Estrutural. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, 2008, 168 p.
- SILVA, A. C. G.; CAMPOS, G. R.; SANTOS FILHO, M. L. Análise de Manifestações Patológicas em Obras de Arte Especiais – Estudo de Caso e Propostas de Recuperação. *Revista Técnico Científica do CREA-PR*, Curitiba, p. 1-15, 2017.
- SILVA, M. G.; SILVA, V. G. Painéis de Vedação. Rio de Janeiro: Centro de Informações do Aço Brasil CBCA. 59 p. Série Manual de Construção em Aço – Reimpressão, 2017.
- SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÃO TÉCNICA (SINAT). Diretriz para avaliação técnica de produtos: Sistema de vedações verticais internas e externas sem função estrutural de painéis vazados de geopolímero. Documento técnico nº 015. Brasília, 2020.
- _____. (SINAT). Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos Nº 010 - Sistemas construtivos formados por painéis pré-fabricados de chapas delgadas vinculadas por núcleo de isolante térmico rígido. Brasília, 2015.
- _____. (SINAT). Diretrizes para avaliação técnica de produtos Nº 008 - Alvenaria de blocos de gesso para vedações verticais internas sem função estrutural. Brasília, 2017.
- SOBRINHO, C. W. A. P. Utilização de divisórias internas de edifícios em alvenaria de blocos de gesso – foco na sustentabilidade. In: *Construções: reabilitar e construir de forma sustentável*, 1019, Porto. Anais [...] Porto, 2018.
- SOBRINHO, C. W. A.; BEZERRA, N. M.; SILVA, C. B.; COSTA, T. C. T. Vedações verticais em alvenaria de blocos de gesso para estruturas aporcadas de concreto armado- projeto, execução e desempenho. In: *52 Congresso brasileiro do concreto*, 2010, Curitiba. Anais [...] 52 COBRACON, 2010.
- TREVO. Procedimento de execução de alvenaria de bloco de gesso. Documento técnico. Disponível em: <http://www.trevogether.com.br/biblioteca/publicacoes-tecnicas/Procedimento-para-execucao-de-alvenaria-em-blocos-de-gesso.pdf>. Acessado em: 13 de ago. de 2020.
- TUNNELTECH. Concreto geopolimérico para revestimentos duráveis. Disponível em: <https://www.tunneltalk.com/TunnelTECH-Jan2014-Sustainable-Earth-Friendly-Concrete-for-high-durability-tunnels.php>. Acessado em: 16 de ago. de 2020.
- WALKER, R.; PAÍVA, S.; DALTON, M. Measurement of moisture content in solid brick wall using timber dowel. *Materials and structures*, v. 49, n.7, 2015.

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS CONSTRUÇÕES: UMA DISCUSSÃO DE ENGENHARIA X DIREITO

Anderson Henrique Barbosa^{1*}

* anderhb80@gmail.com

¹ Bacharel em Direito, Dr. em Engenharia, Colegiado de Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale São Francisco, Juazeiro/BA, Brasil

RESUMO

As manifestações patológicas estão cada vez mais presentes nas edificações, que podem ser oriundas de diversas ações, e que geram um custo de reparação significativo. Além disso, aumenta-se, com estas falhas, as cobranças pela via judicial. Neste trabalho, busca-se fazer uma abordagem das implicações legais para a parte responsável pela execução. Ressalta-se com isso a necessidade de seguir os documentos normativos da ABNT, de maneira a assegurar a estabilidade e a segurança das edificações, minimizando o surgimento de falhas e as implicações legais, que acarretam além dos custos significativos, o dano psicológico e/ou físico para o usuário.

Palavras-Chave: Manifestações patológicas; Engenharia; Construção, Direito; Consumidor.

1. INTRODUÇÃO

As falhas estão presentes nas edificações, mesmo com o emprego de técnicas construtivas mais eficientes e equipamentos mais sofisticados.

O crescimento acelerado da construção civil para atender às demandas diante de um mercado competitivo, faz com que em alguns momentos as etapas que constituem a execução da obra não obedecem ao tempo e procedimentos necessários, em busca de maiores lucros e produtividade. Desta maneira a qualidade do empreendimento vai ficando em segundo plano e contribuindo para a ocorrência das patologias nas edificações.

Neste contexto, torna-se necessário estudar e descobrir as possíveis causas e soluções para os defeitos encontrados nas construções, buscando maneiras de execução que minimizar/eliminar o problema.

A Patologia das construções é uma ciência que estuda as origens, causas, mecanismos de ocorrência, manifestações e consequências das situações em que os edifícios, ou suas partes, não apresentem um desempenho mínimo pré-estabelecido.

Para Marcelli (2007), é mister que os profissionais da construção civil não se deixem iludir por soluções de caráter duvidoso, de fácil execução e de baixo custo, caso elas não estejam em conformidade com as normas e as boas técnicas da engenharia civil. Pode parecer o ideal em curto prazo, mas deve-se ter a certeza de que será uma solução com grandes chances de vir a dar problemas no futuro, acarretando sempre danos pessoais e grandes prejuízos financeiros.

Isso mostra a necessidade do profissional da área da construção civil ter conhecimento sobre os fenômenos patológicos, sendo capaz de prevenir, assim como identificar as possíveis causas e origens das patologias encontradas, para diagnosticar correto e escolher a melhor intervenção a ser realizada.

Surge neste momento a discussão entre o cliente e o construtor sobre as responsabilidades sobre os problemas gerados, o que muitas das vezes a demanda se resolve apenas na via judicial, crescendo o número de casos para a solução deste tipo de conflito.

Os códigos nacionais, quando aplicados a este tipo de caso, trazem consigo a responsabilidade direta pelas falhas e a necessidade de seguir as normas de projeto e execução para as construções. Neste trabalho será realizada uma discussão acerca das ideias basilares presentes na normativa nacional sobre a temática da construção, mostrando a importância para a engenharia do uso e respeito às normas.

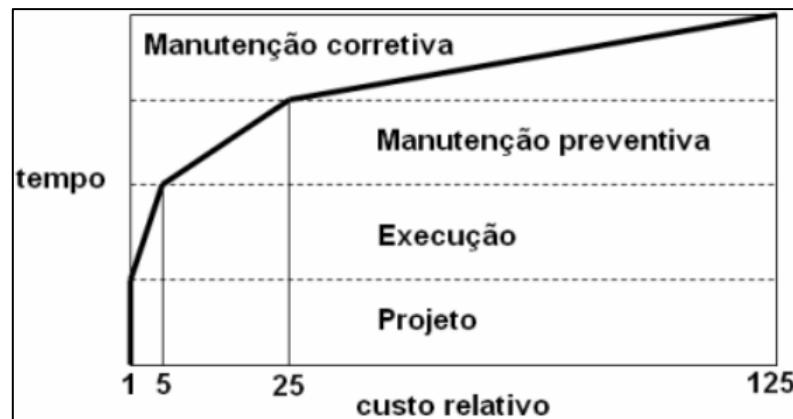
2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS CONSTRUÇÕES

O aparecimento recorrente de patologias nas construções está relacionado com falhas de projeto, falhas de execução e falta de uma política de manutenção, principalmente preventiva. Além do desempenho abaixo do esperado pelos usuários, devem ser considerados os prejuízos financeiros e materiais.

A ausência ou demora de manutenção nas edificações torna os futuros reparos mais onerosos e trabalhosos. A Lei de Sitter, também conhecida como lei de evolução dos custos, divide este parâmetro em relação às etapas construtivas em: projeto, execução, manutenção preventiva (realizada nos primeiros cinco anos) e manutenção corretiva (realizada após o surgimento de distúrbios).

Segundo esta lei, o impacto causado pelos custos de um erro detectado em cada uma destas etapas corresponderá a um custo que cresce segundo uma progressão geométrica de razão 5, representada na Figura 1.

Figura 1 – Evolução dos custos pela fase de intervenção (Lei de Sitter).



Percebe-se a importância da elaboração de projetos para evitar elevados custos, uma vez que quanto mais precisos sejam os projetos menores serão as possibilidades de falhas e, conseqüentemente, de necessidade de correção.

As patologias encontradas nas construções são as mais variadas possíveis, e surgem devido: falhas no projeto estrutural, travamento inadequado dos pilares, falhas em formas e escoramentos, surgimento de recalques diferenciais, erros no lançamento e na cura do concreto, falta de junta de dilatação e movimentação, corrosão do aço, entre outros motivos (MARCELLI, 2007).

Para Thomaz (1989), acidentes também são motivos que causam o surgimento de patologias nas edificações, desde incêndios, explosões, impactos de veículos, desastres naturais, até mesmo a má utilização do edifício. Executar outras edificações nas proximidades também pode ser um risco à segurança das edificações vizinhas, principalmente quando essas são antigas ou de pequeno porte. Para Souza e Ripper (1998), o aparecimento de defeitos nas construções podem ser tanto um fator de envelhecimento natural, assim como a utilização de materiais com baixo desempenho ou a irresponsabilidade de profissionais.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), os principais efeitos de deterioração são os físicos, que influenciam diretamente na durabilidade da edificação, como o desgaste de superfície e a exposição a temperaturas extremas, facilitando também o processo das reações químicas. Estes efeitos podem ser diagnosticados principalmente por meio de trincas, fissuras, exsudação de água e desagregação das argamassas.

Muitos dos profissionais não acompanham às obras regularmente, deixando à construção prosseguir sem as devidas vistorias, e detalhes que influenciam no desenvolvimento da obra vão passando despercebidos.

Para que o projeto da edificação não seja motivo de execução de falhas, tudo deve estar devidamente explicado e especificado, além de atender as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo objetivo, e claro, para que não haja dúvidas no instante da construção.

Pode-se indicar como agentes de manifestações nas etapas de concepção, execução e uso da edificação:

- Concepção: ausência de projeto, má concepção, desconhecimento do solo, informações insuficientes, entre outros.
- Execução: má qualidade dos materiais, mão-de-obra despreparada, erro de interpretação de projetos, falta de fiscalização.
- Utilização: ações diferentes das consideradas em projeto, variação de temperatura e vento, efeitos da fluência e retração.

Sobre as ações naturais, podem ser citados:

- Ações físicas: temperatura, vento.
- Químicas: oxidação, carbonatação do concreto, salinidade, reações deletérias.

Das situações que são acima indicadas como causadoras de manifestações patológicas, fica claro que, além de todo o controle necessário para os materiais empregados nas construções, treinamento de mão-de-obra, há a necessidade de utilização de medidas que minimizem impactos da variação térmica e do comportamento do solo, este último muitas das vezes negligenciados, causando problemas de difícil reparação.

3. DISCUSSÃO SOBRE OS ASPECTOS DO DIREITO

A discussão quando se coloca em evidência o direito nas causas de engenharia é muito vasta, perfazendo o caminho desde os códigos civil e do consumidor, que serão enfatizados neste trabalho, até o código penal, com suas implicações criminais advindas de situações relacionadas às construções.

Um dos primeiros códigos a ser destacado é o Código de Defesa do Consumidor (CDC), previsto na Lei 8.078/1990.

Do art. 39, VIII, tem-se:

Art. 39 – É vedado ao fornecedor de produtos ou serviços, dentre outras práticas abusivas:

VIII - colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro).

Do artigo supracitado, já percebe-se a necessidade de estar de acordo com as normas vigentes, tanto no aspecto estrutural quanto na execução, pois percebe-se a vedação legal.

Neste tocante, tem-se o embate entre as normas de projeto e a NBR 15575-2/2013, que explicita a necessidade que as condições de desempenho devem ser comprovadas analiticamente, demonstrando o atendimento ao estado-limite último, devendo as ações respeitarem as normas vigentes e as considerações estabelecidas em projeto.

Uma exceção presente na NBR 15575-2/2013 se refere a dispensa de aplicação das normas de projeto:

Para casas térreas e sobrados, cuja altura total não ultrapasse 6,0 m (desde o respaldo da fundação de cota mais baixa até o topo da cobertura), não há necessidade de atendimento as dimensões mínimas dos componentes estruturais estabelecidas nas normas de projeto estrutural específicas (ABNT NBR 6118, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 10837 e ABNT NBR 14762), resguardada a demonstração da segurança e estabilidade pelos ensaios previstos nesta Norma (7.2.2.2 e 7.4), bem como atendidos os demais requisitos de desempenho estabelecidos nesta Norma.

Frise-se que, no citado acima, reassaltando-se a necessidade de demonstração da segurança, das partes responsáveis pelo projeto e execução, para que se possa dispensar a aplicação das normas de projeto.

Observando a ocorrência das manifestações patológicas, o próprio CDC também faz menção ao fato do produto e do serviço, caracterizando o acidente de consumo, atingindo além da parte

econômica do consumidor, também o seu lado físico e/ou psicológico, como destacado no art. 12 do referido código:

Art. 12. O fabricante, o produtor, o construtor, nacional ou estrangeiro, e o importador respondem, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto, fabricação, construção, montagem, fórmulas, manipulação, apresentação ou acondicionamento de seus produtos, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua utilização e riscos.

Percebe-se, neste momento, que tanto o executor quanto o projetista respondem pelo surgimento de problemas surgidos na construção, pelo tempo legal de responsabilidade, previsto de 5 anos, conforme art. 618, do Código Civil de 2002.

Art. 618. Nos contratos de empreitada de edifícios ou outras construções consideráveis, o empreiteiro de materiais e execução responderá, durante o prazo irredutível de cinco anos, pela solidez e segurança do trabalho, assim em razão dos materiais, como do solo.

Um ponto interessante a ser ressaltado é o surgimento do vício oculto, que representa uma falha que só se manifesta depois de um certo tempo de uso do produto, sendo de difícil constatação pelo consumidor. Quando se refere a este tópico, traz o art. 18 do CDC:

Art. 18. Os fornecedores de produtos de consumo duráveis ou não duráveis respondem solidariamente pelos vícios de qualidade ou quantidade que os tornem impróprios ou inadequados ao consumo a que se destinam ou lhes diminuam o valor, assim como por aqueles decorrentes da disparidade, com a indicações constantes do recipiente, da embalagem, rotulagem ou mensagem publicitária, respeitadas as variações decorrentes de sua natureza, podendo o consumidor exigir a substituição das partes viciadas.

A menção aqui feita é a característica deste efeito no qual o consumidor, geralmente leigo em relação à projetos e construção, observa em sua edificação. Pela indicação até aqui discutida, é necessária a reparação do dano. Mas, fica o questionamento, qual o prazo para reclamar os vícios ocultos?

O prazo para reclamar sobre o surgimento dos vícios de construção são tratados nos art. 26 e 27 do CDC, fixando os prazos de prescrição e decadência:

Art. 26. O direito de reclamar pelos vícios aparentes ou de fácil constatação caduca em:

I - trinta dias, tratando-se de fornecimento de serviço e de produtos não duráveis;

II - noventa dias, tratando-se de fornecimento de serviço e de produtos duráveis.

§ 1º Inicia-se a contagem do prazo decadencial a partir da entrega efetiva do produto ou do término da execução dos serviços.

[...]

§ 3º Tratando-se de vício oculto, o prazo decadencial inicia-se no momento em que ficar evidenciado o defeito.

Art. 27. Prescreve em cinco anos a pretensão à reparação pelos danos causados por fato do produto ou do serviço prevista na Seção II deste Capítulo, iniciando-se a contagem do prazo a partir do conhecimento do dano e de sua a

Sobre a questão tratada no artigos acima, observe o resumo da ementa do Acórdão do TJ/DF:

“O Código de Defesa do Consumidor institui prazo decadencial para reclamar dos vícios dos produtos e serviços (art. 26). Um produto ou serviço apresentará vício de adequação sempre que não corresponder à legítima expectativa do consumidor quanto à sua utilização ou fruição, ou seja, quando a desconformidade do produto ou do serviço comprometer a sua prestabilidade. Independentemente do prazo de garantia, tratando-se de vício de adequação, os prazos para reclamação do consumidor são decadenciais, nos termos do art. 26, CDC, sendo de 90 (noventa) dias para o caso de se tratar de produto ou serviço durável e, se o vício é oculto, o prazo só começa a correr a partir do momento em que ficar evidenciado o defeito, prazo esse, registre-se, obedecido na presente demanda.”

Acórdão 1234501, 07355365020198070016, Relator: FABRÍCIO FONTOURA BEZERRA, Primeira Turma Recursal dos Juizados Especiais do Distrito Federal, data de julgamento: 5/3/2020, publicado no DJE: 4/5/2020.

Se, entretanto, a obra apresentar problemas de solidez e segurança e, através de perícias, ficar constatado erro do profissional, este será responsabilizado, independente do prazo transcorrido, conforme jurisprudência existente;

Na linha do Código Civil de 2020 (Lei 10.406/2002), observam-se os art. 186 e 187:

Art. 186 Aquele que, por ação ou omissão voluntária, negligência ou imprudência, violar direito e causar dano a outrem, ainda que exclusivamente moral, comete ato ilícito.

Art. 187. Também comete ato ilícito o titular de um direito que, ao exercê-lo, excede manifestamente os limites impostos pelo seu fim econômico ou social, pela boa-fé ou pelos bons costumes.

Note-se que os dispositivos legais vão além das manifestações patológicas, que são comumente observadas em diversas construções. Faz-se referência ao dano, principalmente ao dano físico, que geraria as implicações previstas no Código Penal (Decreto-Lei 2.848/1940), a título de exemplo, destaca-se o art. 256:

Art. 256 - Causar desabamento ou desmoronamento, expondo a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem: Pena - reclusão, de um a quatro anos, e

Parágrafo único - Se o crime é culposo – Pena: detenção, de seis meses a um ano.

O que se depreende dos poucos artigos dos códigos citados, são percebidas as implicações legais as quais tanto o projetista quanto o executor estão sujeitos.

Não menos importante, cabendo menção neste momento, a necessidade do manual de uso e manutenção, prevista na NBR 14037/2011, que indica as responsabilidades do usuário face às

ações que este tem de tomar com o uso da edificação, de forma a manter a qualidade e vida útil da edificação e dos materiais.

4. CONCLUSÕES

De posse das avaliações realizadas, pode-se concluir sobre:

- A necessidade de seguimento das normas de projeto e execução da ABNT, que trazem consigo as boas práticas de projeto e condições de segurança para os usuários, que por vezes é negligenciada.
- As implicações decorrentes da não aplicação das normas e do surgimento de manifestações patológicas são claras e rígidas, ressaltando ainda mais a necessidade de observação das indicações normativas.
- Com base nas breves considerações sobre os tópicos da lei, a situação ideal era de que, nas diversas regiões do Brasil, fosse possível observar uma mudança de cultura, seguimento às boas práticas, com construções mais estáveis e seguras, evitando os custos com reparos e ações judiciais.

5. REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-2: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Lei n. 8.078, de 11 de setembro de 1990: Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Brasília, 1990.

_____. Lei n. 10.406, de 10 de janeiro de 2002: Institui o código civil. Brasília, 2002.

_____. Decreto-Lei n. 2.848, de 7 de dezembro de 1940: Código penal. Rio de Janeiro, 1940.

MARCELLI, M. Sinistro na Construção Civil. Editora PINI, São Paulo, março 2007.

METHA, K. P; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. Editora IBRACON, 2008.

THOMAZ, E. Trincas em edifícios. São Paulo, IPT/EPUSP/PINI, 1989.

SOUZA, V. C. ; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. Editora Pini, São Paulo, 2008.

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CAIXAS D'AGUA CONSTRUÍDAS DE CONCRETO ARMADO E AÇO NA CIDADE DE SOBRAL

J. R. Sabino¹, G. L. A. Albuquerque¹, J. C. Sales^{1*}

*email: juscelinochaves@hotmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, Brasil

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar e fazer propostas de soluções e tratamentos das manifestações patológicas existentes em duas caixas d'água (reservatórios de água) existentes no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, no Campus da cidade de Sobral no Estado do Ceará. Como metodologia usada para realizar esse trabalho, foram feitas visitas *in loco* aos reservatórios (caixas d'água), para diagnosticar as manifestações patológicas, onde também foram feitos registros fotográficos das manifestações patológicas. Dentre as manifestações patológicas que foram encontradas estão as fissuras, corrosão da armadura, destacamentos na estrutura e falhas na concretagem no reservatório 1 (Caixa d'água em concreto armado), como também corrosão na estrutura metálica do reservatório 2 (Caixa d'água em estrutura metálica). Foi possível concluir que a caixa d'água de concreto armado (Reservatório 1) construída a cerca de 10 anos atrás possui mais manifestações patológicas que a caixa d'água feita em estrutura metálica (Reservatório 2) que foi construída a cerca de 80 anos atrás.

Palavras-chave: manifestações patológicas, corrosão, reservatórios de água.

ABSTRAT

The present work aimed to analyze proposals for solutions and treatments of pathological manifestations existing in two water tanks (water reservoirs) at the Federal Institute of Science and Technology of Ceará - IFCE, in the Campus of the city of Sobral in the state of Ceará. As a methodology used to carry out this work, on-site visits were made to the reservoirs (water tanks) to diagnose the pathological manifestations, where photographic records of the pathological manifestations were also made. Among the pathological manifestations that were found are cracks, corrosion of the reinforcement, detachments in the structure and failures in the concreting in reservoir 1 (Waterbox in reinforced concrete), as well as corrosion in the metallic structure of reservoir 2 (Waterbox in metal structure). It was possible to conclude that the reinforced concrete water tank (Reservoir 1) built about 10 years ago has more pathological manifestations than the metallic structure water tank (Reservoir 2) that was built about 80 years ago.

Keywords: pathological manifestations, corrosion, water reservoirs.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar y realizar propuestas de soluciones y tratamientos de manifestaciones patológicas existentes en dos tanques de agua (reservorios de agua) en el Instituto Federal de Ciencia y Tecnología de Ceará - IFCE, en el Campus de la ciudad de Sobral en el estado de Ceará. Como metodología utilizada para realizar este trabajo, se realizaron visitas in situ a los reservorios (tanques de agua) para diagnosticar las manifestaciones patológicas, donde también se realizaron registros fotográficos de las manifestaciones patológicas. Dentre as manifestações patológicas que foram encontradas estão as fissuras, corrosão da armadura, destacamentos na estrutura e falhas na concretagem no reservatório 1 (Caixa d'água em concreto armado), como também corrosão na estrutura metálica do reservatório 2 (Caixa d'água em estrutura metálica). Se pudo concluir que el tanque de agua de hormigón armado (Embalse 1) construido hace unos 10 años tiene más manifestaciones patológicas que el tanque de agua de estructura metálica (Embalse 2) que se construyó hace unos 80 años.

Palabras-clave: manifestaciones patológicas, corrosión, reservorios de agua.

1. INTRODUÇÃO

A patologia das estruturas é um campo da engenharia das estruturas que tem como principal objetivo o estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. A patologia, além de ser um campo de estudos e atuação que identifica anomalias, também se refere à concepção e ao projeto das estruturas (Souza e Ripper, 1998).

A investigação patológica de um edifício para posterior formulação de um plano de ações interventivas envolve uma série de decisões técnicas e não lineares, havendo necessidade de entendimento dos fenômenos como um todo para que a decisão tomada seja a mais adequada conforme o quadro de patologias apresentado (Zuchetti, 2015).

Os reservatórios hidráulicos são estruturas destinadas a armazenar água para depois distribuir a água para as casas, prédios e outros tipos de construções. Por ter como função principal, o armazenamento de água, estes reservatórios devem ter atenção redobrada, pois a água é um dos principais agentes causadores das mais diversas patologias, tais como: infiltrações, mofo/bolores, eflorescências, manchas úmidas, entre outros. Dessa forma, suas estruturas devem ser estanques, impedindo que a água saia ou penetre dentro da estrutura.

Pesquisadores fizeram uma redistribuição de esforços em um reservatório de água devido à recalques nas fundações (Souza, 2021). O recalque nas fundações gera manifestações patológicas nas estruturas como os reservatórios de água.

Esse estudo foi desenvolvido com dois reservatórios no Campus do IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE, Campus Sobral, e localizam-se próximo a Biblioteca do IFCE e próximo ao Bloco do Recursos Hídricos do IFCE. Desta forma, o estudo engloba todos os reservatórios hidráulicos elevados do campus.

Sendo assim, o problema das manifestações patológicas nos reservatórios é algo importante e que merece ser estudado, pois caso estas patologias não sejam tratadas, podem evoluir para uma forma mais grave, que pode até mesmo gerar o colapso da estrutura. No Campus do IFCE existem dois reservatórios de água que apresentam muitas patologias, então, com a realização deste trabalho pretende-se mostrar o panorama geral das patologias nestas estruturas e ao final propor soluções de tratamentos.

Existem várias manifestações patológicas encontradas nos reservatórios hidráulicos, que vão desde simples manchamento até mesmo grandes rachaduras em pilares, comprometendo a segurança das estruturas.

O tema desse trabalho é a identificação e proposta de soluções de tratamentos para as patologias em reservatórios de água elevados, para poder realizá-lo de forma satisfatória, faz necessário que seja delimitado o campo de pesquisa. Para tanto, este estudo foi desenvolvido com dois reservatórios no Campus do IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE-Campus Sobral.

O primeiro objetivo desse trabalho foi realizar a inspeção visual através de visitas *in loco* nos reservatórios de água elevados existentes no Campus do IFCE em Sobral, e identificar as manifestações patológicas em dois reservatórios de água com registro fotográfico e o segundo objetivo foi discutir as causas dessas manifestações patológicas.

2. METODOLOGIA

Como metodologia usada para realizar esse trabalho foram feitas visitas *in loco* as caixas d'água (dois reservatórios de água) do Campus Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE na cidade de Sobral localizada no Estado do Ceará, para diagnosticar as manifestações

patológicas, onde também foram feitos registros fotográficos das manifestações patológicas na hora da inspeção visual.

Foi feita também uma pesquisa de cunho bibliográfico de algumas das principais manifestações patológicas que ocorrem em reservatórios de água.

No final do trabalho foram feitas propostas para solucionar as manifestações patológicas encontradas nos reservatórios de água elevados (caixas d'água).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A engenharia usa o termo patologia para estudar nas construções as manifestações, suas origens, seus mecanismos de ocorrência das falhas e seus defeitos que alteram o aspecto estrutural e visual de uma edificação (Nazario, 2011).

O estudo da patologia na engenharia civil é de suma importância, uma vez que é a garantia de não haver problemas futuros, adquirindo a melhoria da habitabilidade e na durabilidade do empreendimento construído, demonstrando as possíveis intervenções, a fim de solucionar os eventuais problemas patológicos (Andrade, 2020).

As patologias nas construções podem se originar em uma das três fases (ou combinação delas): projeto, execução e manutenção. Sem o planejamento adequado muitas decisões acabam sendo tomadas durante a obra ou são completamente ignoradas, prejudicando a qualidade da edificação (Carvalho, 2020).

O principal e mais frequente mecanismo químico de deterioração das estruturas de aço é a corrosão metálica. A corrosão é definida como um processo espontâneo, provocada pela interação química do metal com o ambiente (Bolina, 2019).

O processo produtivo de um empreendimento, na construção civil, iniciasse pela concepção do projeto. E nessa etapa que são estabelecidos os aportes necessários para o desenvolvimento do empreendimento. As falhas no projeto são apontadas como as principais causas dos problemas patológicos na Construção Civil (Oliveira, 2013).

3.1. Principais manifestações patológicas em reservatórios de água

As principais manifestações patológicas em reservatórios de água são: corrosão nas armaduras, fissuras, destacamento, vazamentos, corrosão na estrutura metálica, mofo e eflorescências.

3.1.1. Fissuras

Segundo Gonçalves (2015), em todas as construções, que tem sua estrutura executada em concreto, fissuras podem surgir depois de anos, dias ou mesmo horas. A Figura 01 mostra um exemplo de fissuras nas vigas em reservatórios de concreto armado.

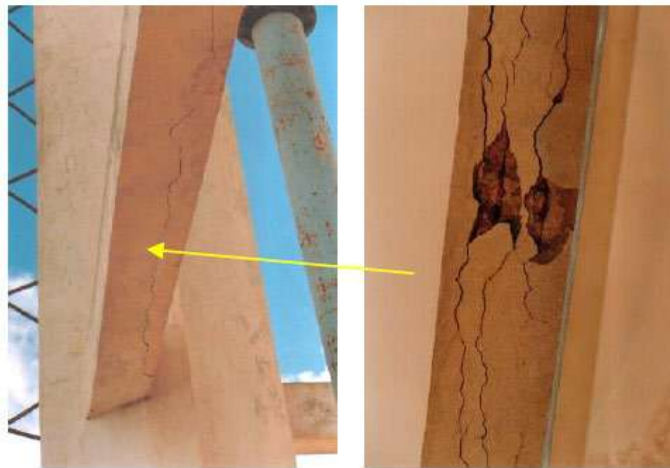


Figura 01. Fissuras na viga de reservatório de concreto armado. Fonte: Borges (2008).

3.1.2. Falhas no projeto

Falhas no projeto final de engenharia podem levar a escolha de elementos de projeto inadequados e gerar problemas, afetando a qualidade, o desempenho e até mesmo a vida útil do elemento. A falta de critério e uma má definição das ações atuantes na edificação, como por exemplo, escolha inadequada do modelo analítico, deficiência de cálculo da estrutura ou da avaliação da capacidade portante do solo, incompatibilidade do projeto arquitetônico com os demais (estrutural, hidráulico, elétrico etc.), especificação do cobrimento incorreto de acordo com agressividade do ambiente dentre outros. Todas estas implicações discorrem durante a fase de concepção do projeto, daí a importância desta fase do processo relacionada com o não surgimento de patologias (Pina, 2013). Se ocorrer erro no projeto isso irá acarretar manifestações patológicas nos reservatórios que armazenam água

3.1.3. Corrosão nas armaduras

Para Souza e Ripper (1998), no caso das barras de aço imersas no concreto, a deterioração é caracterizada pela destruição da película passivante existente ao redor de toda a superfície exterior das barras. Esta película é formada como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto. A corrosão das armaduras é um processo eletroquímico que para ocorrer necessita da presença simultânea de umidade, oxigênio e ddp (diferença de potencial). A Figura 02 mostra a corrosão em pilar de reservatório de concreto armado.



Figura 02. Corrosão em pilar de reservatório de concreto armado. Fonte: Borges (2008).

Na Figura 03, é mostrado um exemplo de destacamento do concreto que envolve a armadura em uma viga de um de reservatório de água. Também é possível perceber a existência de fissuras no pilar do reservatório.



Figura 03. Destacamento em reservatório de concreto armado. Fonte: Borges (2008).

3.1.4. Mofo

O mofo é uma manifestação patológica muito encontrada nos reservatórios de água elevados (caixas d'água) construídos em concreto armado. A Figura 04 mostra a manifestação patológica do mofo em uma estrutura de um reservatório de água construído em concreto armado na cidade de Sobral no Estado do Ceará.



Figura 04. Mofo em um reservatório de concreto armado. Fonte: Autor (2017).

4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS CAIXAS D'ÁGUA FEITAS DE CONCRETO E DE AÇO NO CAMPUS DO IFCE EM SOBRAL

A seguir são apresentadas e discutidas as manifestações patológicas encontradas para cada um dos dois reservatórios inspecionados nessa pesquisas. Para o Reservatório 1- Caixa d'água em concreto armado do IFCE, as manifestações patológicas identificadas foram: fissuras, destacamentos, falhas na concretagem e corrosão de armaduras, enquanto que no Reservatório 2-Caixa d'água metálica IFCE, encontrou-se apenas corrosão.

4.1. Reservatórios no Campus do IFCE

No Campus do IFCE (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará) existem dois reservatórios elevados em que suas estruturas foram construídas de dois tipos de materiais diferentes, onde um é em concreto armado (Reservatório 1) e o outro é feito de aço (Reservatório 2).

4.1.1. Reservatório 1- Caixa d'água em concreto armado IFCE

Na Figura 05 é mostrado uma vista do Castelo d'água, o Reservatório 1-Caixa d'água IFCE, a segunda estrutura inspecionada, constituída por elementos pré-moldados de concreto armado.



Figura 05. Reservatório 1- Caixa d'água IFCE. Fonte: Autor (2017).

Na Figura 06, verifica-se a presença de fissuras podem ter sido ocasionadas pela variação de temperatura, sendo chamadas neste caso de fissuras por retração. Também pode ter ocorrido por esforço de tração, aliado a falta de recobrimento mínimo da armadura.



(A)



(B)

Figura 06. Fissuras na estrutura do Reservatório 1. Fonte: Autor (2017).

Na Figura 07, observa-se que existem destacamentos do cobrimento da armadura. Essa manifestação patológica pode ser ocasionada por movimentação da estrutura de concreto, deficiência do material, pelo cobrimento insuficiente da armadura ou pela ação de intempéries e agentes agressivos externos.



Figura 07. Destacamentos na estrutura do Reservatório 1. Fonte: Autor (2017).

A Figura 08, mostra as falhas na concretagem (bicheiras), que foram ocasionadas durante a execução por uso de formas inadequadas e de materiais de baixa qualidade.



Figura 08. Falhas na concretagem na estrutura do Reservatório 1. Fonte: Autor (2017).

A Figura 09 apresenta a corrosão de armaduras, esta patologia se apresenta no local onde houve destacamento do cobrimento do concreto. A armadura ficou exposta aos agentes agressivos, perdendo assim sua camada passivadora sofrendo corrosão.



Figura 09. Início de corrosão na estrutura do Reservatório 1. Fonte: Autor (2017).

4.1.2. Reservatório 2- Caixa d'água metálica IFCE.

Na Figura 10 é mostrado uma vista do Reservatório 2-Caixa d'água metálica IFCE, a última estrutura inspecionada, no qual é toda metálica.

O reservatório de água 2 foi construído em estrutura metálica diferente no reservatório 1 construído em estrutura de concreto armado.



Figura 10. Reservatório 2-Caixa d'água metálica IFCE. Fonte: Autor (2017).

Para o Reservatório 2-Caixa d'água metálica IFCE, a única manifestação patológica constatada foi apenas corrosão em alguns pontos localizados da estrutura. Na Figura 11 observa-se a corrosão da parte superior do reservatório, indicado pelo círculo vermelho.



Figura 11. Ponto com corrosão na estrutura do Reservatório 2. Fonte: Autor (2017).

Na Figura 12 observa-se outro ponto de corrosão, neste caso na viga horizontal. Observa-se que uma parte da estrutura já foi corroída e que a corrosão avança ao longo da viga metálica.



Figura 12. Outro ponto na estrutura do Reservatório 2 com corrosão. Fonte: Autor (2017).

Por fim, na Figura 13, tem-se a corrosão interna em uma viga horizontal, na qual verifica-se que a corrosão já está passando para o outro elemento que está ligado à viga.



Figura 13. Corrosão na estrutura do Reservatório 2. Fonte: Autor (2017).

Para todos os pontos com corrosão do Reservatório 2, pode-se inferir que a causa dessa patologia está ligada a ausência ou falha na pintura impermeabilizante.

4.2. Propostas de soluções e tratamentos das manifestações patológicas

As propostas de soluções e tratamentos das manifestações patológicas para os dois reservatórios são de grande importância para o aumento da vida útil de ambos os reservatórios.

4.2.1. Reservatório 1-Castelo d'água em concreto armado IFCE

Para o Reservatório 1-Castelo d'água em concreto armado IFCE, as propostas para tratar as patologias encontradas são apresentadas a seguir.

Para a recuperação da estrutura causada pelas fissuras, deve-se inicialmente identificar o comportamento deste tipo de patologia, saber se a fissura se encontra em movimento com o passar do tempo, ou está estabilizada, ou seja, sem movimentação. A partir dessa análise pode-se indicar um tratamento com material elástico ou não, de acordo com a necessidade de cada fissura.

No caso específico do Reservatório 1-Caixa d'água IFCE, deve-se associar a terapia das fissuras à uma impermeabilização, tendo em vista a posição das fissuras pode vir a trazer vazamentos. Indica-se o uso de poliuretano hidroexpansivo em gel e a resina acrílica aquosa para impermeabilização, por injeção, de qualquer trinca que venha possibilitar vazamentos. Todos os locais onde haja a possibilidade de surgência de água através de trincas, fissuras, ninhos de concretagem, juntas frias e juntas de concretagem devem ser impermeabilizados.

Para tratar o problema dos destacamentos neste reservatório, observou-se que pela simplicidade da patologia e por estar no início, será realizado uma simples correção com limpeza da superfície seguido de raspagem e preenchimento do local do destacamento com uma pintura apropriada para tratar tal patologia.

Para recuperação da estrutura devido, as falhas na concretagem, deve-se preencher as falhas ocasionadas pela má vibração do concreto durante a concretagem com a utilização de graute ou adesivo epóxi.

Já nos casos de corrosão de armaduras, vale salientar que, assim como no reservatório as corrosões também estão em fase inicial e não houve perda de seção. Aqui deve-se fazer a escarificação e demolição do concreto no entorno na armadura corroída, posteriormente faz-se a limpeza da armadura, retirando-se a crosta de corrosão com lixa e escova metálica. Com a armadura limpa deve-se aplicar um prime inibidor adequado para proteger de nova corrosão. Por último recompõem-se o concreto com a aplicação de microconcreto com desforma respeitando o tempo de cura.

4.2.2. Reservatório 2- Caixa d'água metálica IFCE

No Reservatório 2-Caixa d'água metálica IFCE, foram observados alguns pontos de corrosão pela estrutura metálica. Para o tratamento deste tipo de manifestação patológica, primeiro devemos analisar o grau de deterioração da peça. Se a corrosão estiver em estágio inicial, pode-se recorrer à limpeza superficial, secagem do interior da fenda e vedação com um líquido selante.

No caso de corrosões que geram corrosões por pites perfurações em peças sem uma perda notável de massa e peso da estrutura, a intervenção deve ser realizada com base no estado em que o processo corrosivo se encontra. Deve-se efetuar a limpeza no local e se a estrutura não estiver comprometida, pode-se cobrir o furo aplicando sobre ele um selante especial. É importante a experiência do fiscal devido a possibilidade de se necessitar de uma intervenção mais complexa, com reforço da estrutura ou até mesmo substituição de peças.

Para o Reservatório 1- Caixa d'água em concreto armado IFCE, este foi o mais crítico apresentando as manifestações patológicas: falhas na concretagem, destacamentos na estrutura, fissuras, corrosão da armadura. As manifestações patológicas mais críticas neste reservatório, foram as fissuras. Por fim, o reservatório em estado menos crítico foi o Reservatório 2- Caixa d'água metálica IFCE, o qual apresentou apenas a corrosão da estrutura metálica como manifestação patológica.

5. CONCLUSÃO

Esse trabalho objetivou identificar as manifestações patológicas em reservatórios de água do Campus do Instituto Federal do Ceará- IFCE em Sobral-CE e propor soluções de tratamento.

Os reservatórios hidráulicos são estruturas de grande importância que tem o objetivo de armazenar água para consumo humano. As manifestações patológicas presente nos reservatórios podem comprometer seriamente a sua estabilidade e a segurança estrutural. Existem vários erros que levam ao aparecimento de patologias, esses erros podem acontecer durante a fase do projeto, já durante a execução ou até mesmo pela falta de manutenção e uso inadequado da estrutura.

Com a identificação das manifestações patológicas encontradas nos reservatórios estudados, foi possível concluir que o reservatório que apresentou o maior número de patologias e, conseqüentemente, o estado mais crítico foi o Reservatório 1- Castelo d'água em concreto armado IFCE. Além disso, dentre as patologias encontradas, a patologia que se encontrava em estado mais crítico de deterioração da estrutura foram as trincas.

A caixa d'água de concreto armado construída a cerca de 10 anos atrás apresentou mais manifestações patológicas que a caixa d'água feita em estrutura metálica (Reservatório 2) que foi construída a cerca de 80 anos atrás. A manutenção bem-feita ao longo dos anos na caixa d'água feita de aço, proporcionou a existência menos manifestações patológicas que a caixa d'água de concreto armado. Os dois reservatórios estão cerca de 60m de distância um do outro.

Os reservatórios de água elevados do Campus do Instituto Federal do Ceará em Sobral-CE, apresentam muitas patologias, estas que se não forem tratadas podem evoluir ainda mais e comprometer seriamente a estrutura. Com isso, a realização deste estudo pode ser justificada pela necessidade de se identificar as origens, as causas e os mecanismos de ocorrências destas patologias.

É importante propor soluções de tratamentos adequadas utilizando procedimentos adequados de recuperação ou proteção da estrutura deteriorada, com o intuito de prolongar a vida útil destes reservatórios, além de garantir a segurança e estabilidade destes.

REFERÊNCIAS

Bolina, F. C.; Tutikian, B. F.; Helene, P. R. L. (2019). *“Patologia das Estruturas”*. Editora Oficina de Textos, São Paulo.

Borges, M. C. (2008). *“Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado”*. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.

Carvalho, M. (2020). *“Patologias na Construção Civil – Tipos e Causas”*. Disponível em: <<https://carluc.com.br/manutencao-predial/patologias-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 07 mai. 2021.

- Gonçalves, E. A. B. (2015). “*Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações*”. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Nazario, D.; Zacan, E. C. (2011). “*Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde*”. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense.
- Oliveira, D.F. (2013). “*Levantamento de causas de patologias na construção civil*” [S.l]: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Pina, G.L. (2013). “*Patologia nas habitações populares*”. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Souza, A.; Monteiro, E.; Batista, T. (2017). “*Manifestações patológicas encontradas em reservatórios de água de edifício residencial*”. In: Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas. Anais...Recife.
- Souza, V.C.M.; Ripper, T. “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*”. [S.l]: Pini, 1998.
- Souza, V. T. C. et al. (2021). “*Redistribuição de esforços em um reservatório de água devido à recalques nas fundações*”. In: XVII Congreso International sobre Patologías and Rehabilitation de la Construcción- CINPAR. Anais... Online.
- Zuchetti, P. A. B. (2015). “*Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari/RS*”. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/939>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

Inspeção e análise das manifestações patológicas na ponte sobre o Rio Canindé, no Piauí.

T. B. M. Alves^{1*}, L. O. Bento¹, A. R. O. Dias¹

*Autor de Contacto: thamilaalves1@aluno.uema.br

¹ Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Estadual do Maranhão, Bacabal, Brasil

RESUMO

O presente estudo teve como foco uma discussão acerca das patologias em pontes de concreto armado, enfatizando um estudo de caso realizado em uma ponte sobre o Rio Canindé, no estado do Piauí, Brasil. A estrutura se mostrou um alvo de estudo necessário quando sofreu um colapso parcial, com a queda de 12 metros de sua proteção lateral. Dessa forma, através de inspeção e análise visual, buscou-se constatar o real estado da ponte e avaliar quais as principais manifestações patológicas estão comprometendo a estrutura. A inspeção permitiu identificar fissurações na superestrutura, desgastes nas juntas de dilatação, deterioração do concreto da fundação e infiltrações. Constatou-se que toda a estrutura necessita de intervenções de reparo imediatas, a fim de evitar novos colapsos.

Palavras-chave: Obras Rodoviárias; Patologias; Concreto Armado; Deterioração.

ABSTRACT

The present study focused on a discussion about pathologies in reinforced concrete bridges, emphasizing a case study carried out on a bridge over Canindé River, in state of Piauí, Brazil. The structure proved to be a necessary study target when it partially collapsed, with the 12 meter collapse of its side protection. Thus, through inspection and visual analysis, aimed to verify the real state of the bridge and evaluate which main pathological manifestations are compromising the structure. The inspection allowed the identification of cracks in the superstructure, degraded expansion joints, concrete foundation deterioration and infiltrations. Realizing that the entire structure needs immediate repair interventions in order to avoid further collapse.

Keywords: Road Works; Pathologies; Reinforced Concrete; Deterioration.

RESUMEN

El presente estudio se centró en una discusión sobre patologías en puentes de hormigón armado, enfatizando un estudio de caso realizado en un puente sobre el río Canindé, en el estado de Piauí, Brasil. La estructura resultó ser un objetivo de estudio necesario cuando colapsó parcialmente, con el colapso de 12 metros de su protección lateral. Así, mediante inspección y análisis visual, se tuvo como objetivo verificar el estado real del puente y evaluar qué principales manifestaciones patológicas están comprometiendo la estructura. La inspección permitió identificar fisuras en la superestructura, juntas de dilatación degradadas, deterioro de cimientos de hormigón e infiltraciones. Al darse cuenta de que toda la estructura necesita intervenciones de reparación inmediatas para evitar un mayor colapso.

Palabras clave: Obras Viales; Patologías; Hormigón Armado; Deterioro.

1. INTRODUÇÃO

O senso comum de durabilidade infinita que cerca as pontes é habitual na sociedade e, segundo Vítório (2002), está associado à robustez e solidez presente nestas obras, no entanto, acrescenta

que as pontes, assim como outras edificações, estão à mercê da deterioração a partir do momento que são postas em funcionamento, onde seu ciclo de vida depende das condições de uso, conservação e manutenção ao longo do tempo.

Considerando tais aspectos, a visão geral das pontes no Brasil é apontada por Euqueres (2011) quando afirma que as pontes e os viadutos começaram a ser construídas a partir das décadas de 70 e 80, onde várias das manifestações patológicas apresentadas nestas obras vêm de práticas construtivas não condizentes com a eficácia de qualidade da atual realidade, a falta de especificações e a falta de manutenção.

No viés de conservação das pontes, Vitório (2002) acrescenta que inspeções objetivando manutenções preventivas e corretivas devem fazer parte do plano de gestão das rodovias, onde vistorias periódicas sejam feitas no sentido de identificar as falhas estruturais e apresentar as ações de recuperação necessárias. No entanto, com relação ao contexto construtivo brasileiro atual, Vitório (2002) acrescenta que há a falta de uma cultura de manutenção, principalmente a preventiva, onde os setores públicos responsáveis por estas obras não se preocuparam ao longo do tempo em definir políticas e estratégias para a conservação das pontes.

No intuito de viabilizar a segurança, funcionalidade e durabilidade com o menor custo possível, Vitório (2002) afirma que estudos e pesquisas feitas nas últimas décadas aferem a importância de sistemas que objetivam a gestão de pontes, e com isso apoia a adoção desses sistemas no Brasil pelos órgãos responsáveis por sua conservação, onde a partir deles permite-se tomar decisões rápidas e eficazes baseadas em parâmetros técnicos e científicos voltados para a otimização dos custos de manutenção e um menor desperdício de verbas advindas do dinheiro público, ou seja, os maiores beneficiários é a sociedade em geral.

Logo, destacando a importância de inspeções em pontes para aferir as suas necessidades de manutenções e garantir a devida durabilidade e segurança, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso acerca de uma ponte sobre o rio Canindé, no estado do Piauí, adotando uma metodologia baseada em inspeção visual, fotográfica e revisões bibliográficas, para que se fosse possível destacar as manifestações patológicas apresentadas na ponte e as possíveis causas de sua aparição.

2. REFERENCIAL

2.1 Elementos estruturais da ponte

As pontes são construções importantes para o desenvolvimento de uma região, uma vez que garante a continuidade de uma via. Segundo Debs e Takeya (2007), a ponte é uma estrutura, cuja finalidade é transpor um obstáculo sobre um curso d'água ou superfície líquida. A estrutura de uma ponte deve ser dimensionada e analisada mediante cenário em que a mesma será construída, sendo uma construção composta por infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

De acordo com Sartorti (2008), a superestrutura é a parte que tem como objetivo vencer o obstáculo e pode ser dividida em estrutura principal, vigas e longarinas, e em estrutura secundária, tabuleiro, tábuas ou chapas metálicas, que recebe diretamente as ações dos carregamentos. A mesoestrutura é composta pelos elementos intermediários, como os pilares e encontro, que tem função de suportar os carregamentos e transferir para a infraestrutura. A infraestrutura é composta pelos elementos de fundação, como os blocos, estacas e tubulões, que transmitem as cargas ao solo. Para Sartorti (2008), ainda há os elementos responsáveis por transmitir os carregamentos e suportar os deslocamentos da superestrutura, que são os aparelhos de apoio.

Ao projetar uma ponte deve-se levar em conta algumas considerações das condições de uso, garantindo manutenção para evitar-se a paralisação da via. Para analisar as manifestações patológicas em estruturas de pontes é necessário entender os motivos dos surgimentos e procurar

meios de solucionar as causas. Dessa forma, para que a análise dos efeitos patológicos seja fidedigna, é essencial buscar a origem do problema para poder realizar os reparos e garantir a durabilidade da estrutura.

Para melhor entendimento Laner (2001) aponta que por pontes serem construções de custo elevado, tanto para construção como para a recuperação, a intervenção deve ser bem planejada, visto que para isso origina-se impasses econômicos e sociais. Com isso, ações preventivas são necessárias para evitar possíveis complicações e até colapso da estrutura.

As manifestações patológicas em uma estrutura, podem surgir por alguns fatores, para Souza e Ripper (2005), esses fatores podem estar presentes na fase de execução de alguma etapa da obra, assim como no controle de qualidade da construção.

2.2 Manifestações patológicas em obras de concreto armado (fundação, junta, muro)

A ocorrência de patologias em obras de concreto armado tem gerado muitos estudos. Silva et. al (2018) aponta que manifestações patológicas podem ser geradas por diversos fatores, dentre eles destaca-se falha na execução, envelhecimento da estrutura, acidentes e irregularidade em manutenções, sendo que a estrutura deve oferecer durabilidade e desempenho.

Dessa forma, com obras em estado crítico de conservação, onde não há manutenções, acompanhamento da estrutura ou vistorias das manifestações apresentadas, o cenário aponta para estruturas com risco de colapso, acarretando tanto em ameaças para a sociedade como em prejuízos financeiros.

As manifestações patológicas em fundações das estruturas, segundo Milititsky et. al (2015), podem acontecer devido falhas em projetos, onde abrange o reconhecimento do solo e o comportamento do mesmo com a aplicação das cargas, no processo construtivo e quando a obra é finalizada com a possibilidade de degradação dos elementos. Além disso as fundações de pontes, por serem submersas, podem apresentar patologias devido a oscilações no nível de água não previstas em projeto, por exemplo quando ocorre rebaixamento do nível de água, podendo gerar erosão e solapamento nas fundações. Por se tratar de uma estrutura em concreto armado, esses fatores podem comprometer consideravelmente a estrutura, sendo que com a degradação do concreto e a armadura exposta em meio agressivo, gera a corrosão e perda das propriedades mecânicas dos elementos.

De acordo com a pesquisa de Pinheiro e Silva (2018) observou-se que as manifestações patológicas mais recorrentes em estruturas de pontes de concreto armado são as fissuras, desagregação de concreto, eflorescência e corrosão da armadura. Pode-se notar que essas manifestações podem ser provocadas pela intensa agressividade do ambiente da construção, utilização de materiais inadequados, erros técnicos e falta de manutenção, podendo comprometer diversos elementos da ponte. De acordo com NBR 7187/2003 as juntas de dilatação são os elementos responsáveis pela movimentação da estrutura e realização da vedação do local, o seu dimensionamento deve ser detalhado no projeto estrutural. Dessa forma, observa-se que as juntas quando comprometidas por alguma manifestação patológica pode comprometer a estrutura tanto por falha de movimentação como infiltração. A literatura aborda que manifestações patológicas em juntas de dilatação são provocadas por diversos fatores como a movimentação das formas, mau detalhamento no projeto, corrosão do concreto e ataques biológicos.

Estruturas de pontes estão submetidas tanto aos esforços mecânicos, proveniente do tráfego ou ocorrência de choques em casos de acidentes, como aos esforços devido ao ambiente em que a estrutura é construída, como ação do vento, tendo que considerar os esforços de massa de solo e inundações.

O muro de contenção nas pontes são os responsáveis por conter a massa de solo nas encostas, evitando o movimento de solo e garantindo a segurança da estrutura. A NBR 7187/2003 determina

que o empuxo de terra em estruturas de pontes seja determinado mediante as propriedades do solo, a partir das características do terreno, indicando as inclinações e os parâmetros que devem ser considerados. Ainda de acordo com a norma, quando os elementos de contenção estão inseridos na superestrutura, a ação do empuxo de terra deve ser considerada no dimensionamento, podendo contribuir nos esforços dos quais os elementos devem resistir.

O empuxo da água é um esforço que deve ser considerado nos elementos de contenção. A NBR 7187/2003 considera que o empuxo da água e a subpressão devem ser majoradas nas piores situações, sendo que em períodos chuvosos o nível de água aumenta e com isso as cargas nos elementos estruturais.

Os muros de contenções em pontes devem ser dimensionados com bases nos esforços mecânicos e naturais da estrutura. Manifestações patológicas nestes elementos são caracterizadas pelos movimentos de terras, deterioração das estruturas e comprometimento da estabilidade da ponte, uma vez que o muro de contenção é responsável por conter a massa de solo e garantir a estabilidade. Um muro de contenção muito comum em estruturas de pontes é o muro de gabião, construído por gaiolas de aço e colocação de pedra. Esse tipo de muro permite a passagem de água, no entanto, contém a massa de solo. No muro de gabião pode surgir patologias por alguns fatores, entre eles, a corrosão dos fios de aço e rompimento dos mesmos, fazendo com que desabe a estrutura de pedras e comprometa a estrutura, e por movimentações de solo não previstas pelo dimensionamento do muro, com isso a estrutura não suporta os esforços e pode vir a colapso.

2.3 Inspeção

A preservação da estrutura de uma ponte é garantida mediante intervenções necessárias para garantir a funcionalidade e desempenho, onde passam por uma série de análises e por fim são determinadas quais manutenções devem ser adotadas. Souza e Ripper (2005) tratam de manutenção como uma série de intervenções a fim de suprir o desenvolvimento da estrutura ao longo do tempo, ou seja, são atividades das quais as estruturas necessitam para manter a integridade.

Vitório (2002) afirma que nas inspeções realizadas em pontes deve haver rigorosa observação em todos os elementos da estrutura. Onde deve ser adotado um roteiro, fazendo com que realize anotações de todas as considerações necessárias para identificação dos problemas. Além disso, devem ser feitos registros fotográficos a fim de contribuir para o relatório final da inspeção e colaborar nas identificações das avarias existentes na obra. Vitório (2002) divide as inspeções em duas etapas, sendo a primeira o exame local da obra e a segunda a análise do projeto original, as modificações e o relatório final, realizando a investigação os elementos da infraestrutura, mesoestrutura, superestrutura, acabamentos e acessos.

Outro método de inspeção é apresentado pelo DNIT 010/2004 que especifica os procedimentos gerais sistemáticos que garantem a necessidade de fichas de inspeção, registros fotográficos abrangendo todas as manifestações patológicas, todas as vistas, assim como os detalhes de apoios, juntas e etc., acrescentando a necessidade de observar a ponte na passagem de cargas pesadas para possibilitar a verificação da existência ou não de vibrações ou deformações excessivas. Somado a isto, o DNIT 010/2004 também especifica os procedimentos particulares de uma inspeção, onde aconselham a observação de: geometria e condições viárias, acessos, cursos d'água, encontros e fundações, apoios intermediários, aparelhos de apoio, superestrutura, pista de rolamento, juntas de dilatação, barreira e guarda-corpos, sinalização e instalações de utilidade pública.

Além do já que já foi apresentado, é importante destacar que o DNIT 010/2004 divide as inspeções em 5 tipos: inspeção cadastral, é a primeira a ser realizada em uma ponte, sendo preferencialmente executada logo após a construção; inspeção rotineira, é periódica e realizada a cada dois anos; inspeção extraordinária, não programada e é solicitada para avaliação de um dano estrutural

imprevisto; inspeção especial, são visuais e minuciosas com relação aos detalhes; e a inspeção intermediária, feitas para monitorar alguma manifestação patológica.

3. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado em uma ponte sobre o rio Canindé, representada na Figura 1, que possui extensão de 170 metros e largura de 8 metros, localizando-se na BR-230, entre as cidades de Oeiras-PI e Picos-PI, no Brasil. Tal ponte foi construída em 1968, e é caracterizada por possuir um traçado retilíneo e perpendicular ao curso do rio (Figura 2), sendo o concreto armado o sistema construtivo adotado em sua execução.



Figura 1. Traçado da ponte sobre o Rio Canindé.



Figura 2. Localização da ponte sobre o Rio Canindé.

No entanto, relata-se que após o incidente não houve o reparo devido da estrutura da ponte, sendo constatado apenas a inserção de uma proteção de madeira (guarda-corpo) cercado a parte que sofreu o colapso, supondo-se que tal ação seja para que não haja mais acidentes neste local (Figura 5), meses após o acontecimento pode ser observado a armadura exposta do tabuleiro da ponte, representado na Figura 6.



Figura 3. Registros fotográficos do acidente ocorrido na ponte.
Fonte: Valentim (2020)



Fonte: Valentim (2020)



Figura 6. Armadura exposta no tabuleiro da ponte.

Tendo isto em mente, tal artigo tem por objetivo uma análise visual desta ponte, onde discutirá as manifestações patológicas encontradas após a inspeção, registradas por meio de fotografias.

elementos da ponte. Posteriormente, realizou-se pesquisas bibliográficas objetivando o estudo acerca de pontes e suas principais manifestações patológicas, assim como seus mais frequentes agentes degradadores, para poder ser aplicada na ponte em questão.

4. RESULTADOS

4.1 Infraestrutura

Alguns dos principais danos presenciados na ponte foi a degradação do bloco de coroamento, que possui uma altura de 1,40 metros e está completamente exposto, o bloco apresentou grande degradação do concreto na base, ninhos de concretagem, e armadura exposta. Na Figura 7, pode ser visualizado a indicação das manifestações patológicas nesse elemento da infraestrutura.



Figura 7. Mapeamento de manifestações patológicas na infraestrutura da ponte.

Os ninhos de concretagem na base da ponte podem ser observados na Figura 8, e geralmente são uma falha característica da etapa de execução, pode ser causado pelo lançamento e adensamento inadequado. Esses ninhos podem comprometer a estrutura pois acabam gerando vazios e sendo porta de entrada para agentes agressivos.

Observou-se nas estacas sob o bloco, a exposição e corrosão da armadura, onde tal elemento apresentou o diâmetro reduzido devido ao desgaste do concreto. Na Figura 8, pode ser observado as estacas expostas, esse fato pode implicar na redução da capacidade de carga, uma vez que os esforços são distribuídos no solo ao longo do contato lateral da estaca com este. Na Figura 8 também pode-se observar algumas manchas no concreto, tais efeitos podem ser originados por presença de fungos oriundos da retenção de umidade. O desgaste do concreto na estaca pode ser visto na Figura 9, onde há a redução significativa do diâmetro da estaca.



Figura 8. Indicação de manifestações patológicas no bloco de coroamento e estacas de fundação.



4.2 Superestrutura



Figura 10. Rompimento do revestimento e aberturas na superestrutura.

Em conjunto a isto, na Figura 11, visualizou-se infiltrações na abertura das juntas do tabuleiro, o que pode ter sido ocasionado por uma falha de drenagem na superestrutura da ponte ocasionado por dreno danificado provocando infiltrações e manchas na laje. O sistema de drenagem também se encontra deteriorado, sem revestimento, podendo ter sido comprometido pela alta incidência de água, como pode ser visto na Figura 12.



Figura 11. Infiltração no tabuleiro.



Figura 12. Dreno danificado.

4.3 Muro de gabião



Figura 13. Rompimento da armadura do muro de gabião.



Figura 14. Desabamento de parte do muro de gabião.

4.4 Mesoestrutura

Um ponto muito interessante a se observar na estrutura da ponte é a variação no nível de água. A visita ao local foi realizada no período de estiagem, no mês de junho, entretanto, nos períodos de cheia do rio o nível da água chega a subir cerca 1,80 metros em relação ao período de estiagem, como pode ser visto na Figura 16, onde as marcas nos pilares são apontadas.



Figura 15. Fissuras em pilares da mesoestrutura.



Figura 16. Indicação do nível de água nos períodos de cheia no rio.

5. CONCLUSÃO

As pontes, obras de arte especiais, compõem o sistema rodoviário brasileiro e apresentam papel significativo no cenário social e econômico. Acidentes envolvendo esse tipo de estruturas é um acontecimento recorrente devido à alta agressividade ambiental e a falta de manutenção da estrutura. Diante desse cenário, intervenções e inspeções técnicas são indispensáveis para que minimizem a quantidade de acidentes e garantam a durabilidade e segurança da estrutura.

Diante dessa situação, a inspeção realizada na ponte sobre o rio Canindé, constatou que as principais manifestações patológicas se encontram na infraestrutura, esses problemas estão relacionados com falha na execução e ausência de manutenções dos elementos estruturais que precisam de reforço.

Mediante as pesquisas bibliográficas observou-se que as pontes de concreto, devido ao meio agressivo em que as mesmas são construídas, estão sujeitas ao surgimento de manifestações patológicas, no entanto, se houver manutenções preventivas e correta execução dos elementos estruturais, consegue-se diminuir a incidência de avarias. Dessa forma, a manutenção das estruturas tem papel fundamental na integridade e durabilidade das mesmas.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). *NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Debs, M. K., Takeya, T. (2007), “*Introdução às Pontes de Concreto*”. Texto de Apoio, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte.(2004). *DNIT 010: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Euqeres, P. (2011), “*Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado*”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Laner, F. J. (2001). “*Manifestações Patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre*”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Milititsky, J., Consoli, N. C., Schnaid, F. (2015), “*Patologia das Fundações*”. Oficina de Texto, São Paulo.

Pinheiro, M. R. A.; Silva, E. I. (2018), “*Considerações a respeito das principais manifestações patológicas em pontes de concreto armado na cidade de Recife*”. 3º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (3º SPPC), artigo 3SPPC1020, pp. 220 – 232.

Sartorti, A. L. (2008), “*Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas - SP*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura.

Silva, E. C. V., Neto, E. R., Lima, F. B., Moraes, K. A. M. (2018), “*Análise das Manifestações Patológicas: Um estudo de caso da ponte sobre a Laguna de Roteiro-AL*” em: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC’2018.

Souza, V. C. M., Ripper, T. (2005), “*Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*”. PINI, São Paulo.

Valentim, L. (2020), “*Cai proteção lateral de ponte sobre o rio Canindé em Oeiras*”. Disponível em: < <https://www.muraldavila.com.br/noticias/cai-parte-de-protecao-lateral-de-ponte-sobre-o-rio-caninde-em-oeiras-76193.html> > Acesso em: 15 jun 2021.

Vitório, J. A. P. (2002), “*Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão*”. CREA-PE, Recife. 140p.

Durabilidad de hormigones de bajo impacto ambiental: resistencia a la carbonatación

H. Gurdián¹, P. Garcés^{1*}, E. Zornoza¹, E. García Alcocel²

¹ Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante, Alicante, España.

² Dpto. de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante, Alicante, España.

RESUMEN

Como estrategia contributiva en la sostenibilidad del hormigón se plantea sustituir los materiales que lo componen por otros de menor huella ecológica. Este trabajo evalúa la resistencia a la carbonatación de hormigones de bajo impacto ambiental con sustituciones de cemento por subproductos industriales (35% cenizas volantes y 15% catalizador de craqueo catalítico) y de áridos gruesos por áridos reciclados (20% y 100%). Los hormigones fueron expuestos a una atmósfera de 100% CO₂. Se tomaron medidas periódicas del avance del frente de carbonatación en probetas de hormigón en masa. Los resultados indican que el frente de carbonatación aumenta con el uso de áridos reciclados y de materiales cementantes alternativos, mientras que la velocidad de carbonatación no varía por la presencia de áridos reciclados o de adiciones en la mezcla.

ABSTRACT

This research presents a contribution to sustainability of concrete industry by replacing some of the concrete constituents by reduced ecological footprint materials. It is studied the carbonation resistance of low environmental impact concretes in which cement has been replaced by industrial

by products (35% of fly ash and 15% of wasted catalytic cracking catalyst), and natural coarse aggregates has also been substituted by recycled aggregates at two levels (20% and 100%). Concretes were subjected to an accelerated carbonation process at 100% CO₂ and 65% of relative humidity. The evolution of the carbonation depth was monitored periodically. Results indicate that the carbonation rate is increased when recycled aggregated and pozzolanic materials are included in the samples at the same time, but no significant influence was observed when each one of them was introduced individually.

RESUMO

Como estratégia contributiva na sustentabilidade do concreto, propõe-se a substituição dos materiais que o compõem por outros de menor pegada ecológica. Este trabalho avalia a resistência à carbonatação de concretos de baixo impacto ambiental com substituições do cimento por subprodutos industriais (35% cinzas volantes e 15% catalisador de craqueamento catalítico) e de agregados graúdos por agregados reciclados (20% e 100%). Os concretos foram expostos a uma atmosfera de 100% CO₂. Medições periódicas do avanço da frente de carbonatação foram feitas em corpos de prova de massa de concreto. Os resultados indicam que a frente de carbonatação aumenta com o uso de agregados reciclados e materiais cimentícios alternativos, enquanto a taxa de carbonatação não varia em função da presença de agregados reciclados ou adições na mistura.

Palabras clave: Árido reciclado; residuo de catalizador del craqueo del petróleo; ceniza volante; carbonatación; hormigón

1. INTRODUCCION

La creciente demanda de materiales para su uso en la construcción ha generado que la industria dirija sus esfuerzos hacia el reciclaje y reutilización de materiales pétreos y otros residuos derivados de la propia industria. En este sentido, el principal enfoque de esta investigación ha sido la sustitución de árido natural por árido reciclado y de cemento Portland por subproductos industriales en distintos hormigones con el fin de demostrar su viabilidad para ser utilizados en la fabricación de hormigones estructurales. Esto permitiría minimizar los impactos de las canteras y vertederos de residuos.

Con este fin, numerosos autores han investigado sobre la influencia de materiales puzolánicos en las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón, demostrando que estos materiales pueden ofrecer mejoras importantes en sus propiedades (Hooton, 2015; Paris et al., 2016; Yin and Ahamed, 2018). Uno de los materiales suplementarios que más investigación ha generado en su caracterización como material puzolánico es la ceniza volante. En general, se considera viable la utilización de cenizas volantes por sus altas propiedades puzolánicas, siendo notorias sus ventajas sobre las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón a largo plazo (Bijen, 1996; Herath et al., 2020). Otro material suplementario que ha generado un gran interés es el residuo del catalizador de craqueo de petróleo (FCC). Diferentes trabajos han mostrado que este residuo puede llevar a mejoras en la resistencia a compresión del 20-30% a corto plazo, y su influencia significativamente positiva en la durabilidad del hormigón, lo que lo sitúa como un sustituto eficaz del cemento, a un nivel equivalente a otras puzolanas más utilizadas como el metacaolín o el humo de sílice. (García de Lomas et al. 2006; Garcés et al., 2011; Borrachero et al., 2021).

Por otra parte se han llevado a cabo numerosos trabajos de investigación con el objetivo de caracterizar el efecto de la utilización de áridos de hormigones reciclados en las características resistentes y durabilidad del hormigón (Chaofeng et al., 2021; Hoai and Quoc-Bao, 2020).

En los últimos años se han desarrollado diversas investigaciones donde se han utilizado materiales suplementarios y la sustitución parcial o total de los áridos por áridos reciclados (Corinaldesi and

Moriconi, 2009; Sim and Par, 2011; Kou et al., 2011). Así Corinaldesi y Moriconi experimentaron con hormigones elaborados en su totalidad con árido reciclado grueso y fino y sustituciones de cemento Portland por ceniza volante y humo de sílice, y encontraron que se pueden desarrollar propiedades óptimas en los hormigones si los porcentajes de sustitución se estudian y planifican correctamente.

Sin embargo, apenas se pueden encontrar estudios que combinen ceniza volante y residuo FCC como materiales puzolánicos sustituyentes del cemento Portland en la matriz cementicia de hormigones reciclados (Soriano et al., 2016).

Al considerar aspectos relativos a la durabilidad de este tipo de hormigones de bajo impacto ambiental en general, y en particular a como influye la presencia de materiales suplementarios y áridos reciclados en el proceso de carbonatación, es importante tener en cuenta diferentes aspectos. El uso conjunto de puzolanas (CV y FCC) en pastas de cemento resulta beneficioso, ya que a corto plazo las CV favorecen la hidratación del cemento, mientras que el FCC reduce la cantidad de portlandita liberada durante la hidratación. A largo plazo, las CV fijan una mayor cantidad de cal que el FCC, lo que le confiere un mejor desempeño a la pasta compuesta por ambas adiciones. Por otra parte, la sustitución parcial del cemento por adiciones produce un refinamiento en la estructura porosa de la pasta, incrementando la cantidad de meso poros y disminuyendo la cantidad de macro poros, lo que afecta de forma directa sus propiedades de durabilidad, ya que los meso poros pueden favorecer el transporte de sustancias líquidas y gaseosas hacia el seno del material. Esta investigación tiene como objetivo evaluar la cinética del proceso de carbonatación de hormigones de bajo impacto ambiental que combinan sustituciones del 20% y 100% de árido natural por árido reciclado y del 50% del cemento Portland por materiales puzolánicos (35% ceniza volante y 15% catalizador craqueo catalítico).

2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Materiales

Para la elaboración de las probetas se han utilizado dos tipos de matrices cementantes: una compuesta en su totalidad por cemento Portland (CP); y una matriz alternativa (MA) compuesta por un 50% de CP, 35% de cenizas volantes (CV) y 15% de catalizador de craqueo catalítico (FCC). El cemento utilizado ha sido Portland tipo CEM I 52,5 R designado según la Normativa Europea (UNE-EN 197-1:2000). Las CV empleadas como sustitución del cemento en el hormigón provienen de Holcim España y se han utilizado según se suministraron, sin aplicarles ningún tratamiento antes de su uso. El FCC fue suministrado por BP Oil España (Castellón-España). La composición química del cemento y las puzolanas utilizadas, obtenidas por fluorescencia de Rayos X, se muestran en la Tabla 1.

Se han utilizado dos tipos de árido grueso en la fabricación del hormigón: Árido de naturaleza caliza (AN), procedente de triturado, y Árido Reciclado (AR), proveniente de la demolición y trituración de desechos de hormigón en masa, ambos suministrados por Holcim Morteros S.A. El proveedor certifica los siguientes porcentajes de impurezas presentes en los áridos reciclados: Arcillas < 5%, partículas ligeras < 1%, asfalto < 1%, otras impurezas < 1%; cumpliendo así con los límites establecidos en la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE 08) sobre las propiedades de los áridos reciclados para hormigón. La arena utilizada para la elaboración de las probetas es una arena caliza de machaqueo procedente de la cantera de Fontcalent (Alicante-España), suministrada por la empresa Holcim Morteros S.A. Las propiedades de los áridos y arena utilizados en las amasadas y las curvas granulométricas de los mismos se muestran en la Tabla 2 y Figura 1 respectivamente. Como aditivo se utilizó un superplastificante Sikament – 200R, exento de cloruros y que permite obtener hormigones muy fluidos, incluso en tiempo caluroso.

Tabla 1. Composición química del cemento y puzolanas.

%	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P.F.*	S.D.*	Densidad (g/cm ³)
CP	62,87	20,21	4,94	1,05	2,85	3,37	0,10	0,95	2,34	1,32	3,1
FCC	0,11	46,04	47,47	0,17	0,58	0,02	0,30	0,02	1,50	3,79	2,7
CV	9,83	40,94	24,65	1,59	13,59	1,60	0,34	1,40	2,44	3,62	2,8

*P.F.: Pérdida al fuego. S.D.: Sin determinar.

Tabla 2. Propiedades generales de los áridos.

Propiedad	Normativa	AN	AR	Arena
Módulo granulométrico	UNE-EN 933-1	8,3	8,0	3,1
Densidad aparente	UNE-EN 1097-6	2700	2490	2690
Absorción de agua	UNE-EN 1097-6	0,6	4,5	0,6
Coefficiente de Los Ángeles	UNE-EN 1097-2	21,1	30,3	-

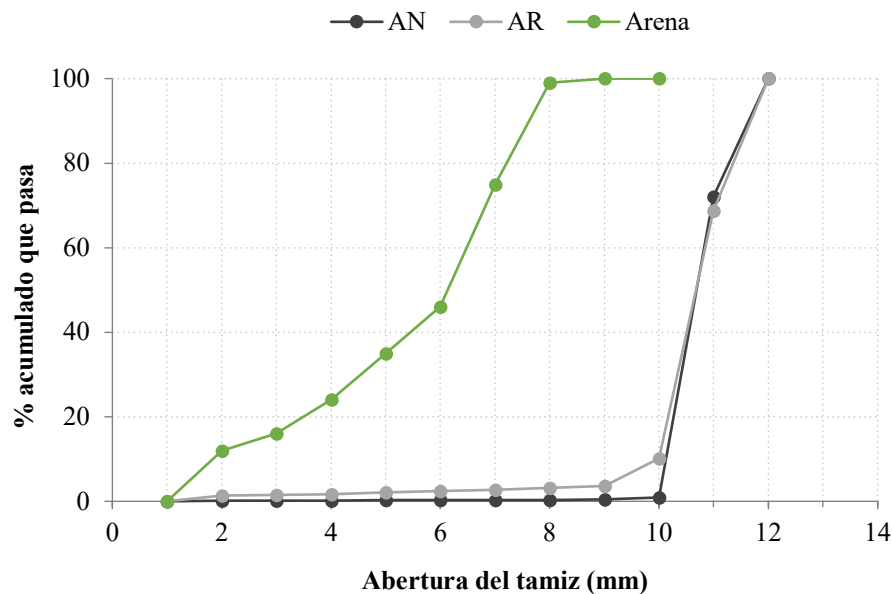


Figura 1. Granulometría de los áridos utilizados.

2.2 Procedimiento experimental

2.2.1. Diseño y caracterización de hormigones de bajo impacto ambiental

Se estudiaron hormigones con sustituciones del 0%, 20% y 100% de árido natural por árido reciclado y dos tipos de matriz cementante: una compuesta en su totalidad por cemento Portland (CP); y una matriz alternativa (MA) compuesta por un 50% de CP, 35% de CV y 15% de FCC. Cabe señalar que en ningún caso la fracción fina es sustituida por materiales reciclados, en todo momento se utilizó arena de origen natural.

2.2.2. Dosificaciones estudiadas

Fueron diseñadas seis dosificaciones distintas con el fin de evaluar la influencia que tienen los áridos reciclados y las adiciones puzolánicas (CV y FCC) sobre las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad del hormigón. En la Tabla 3 se indica la nomenclatura utilizada para identificar

cada tipo de hormigón estudiado. Las dosificaciones de los materiales para fabricar hormigón se presentan en la Tabla 4.

En las dosificaciones se tomó en cuenta la granulometría de los áridos, su densidad y las condiciones de trabajabilidad deseadas. Con la finalidad de poder comparar los distintos hormigones entre sí, las sustituciones de árido natural por árido reciclado se realizan por volumen y no por peso, debido a la menor densidad de los áridos reciclados frente a los naturales.

2.2.3. Resistencia a la carbonatación

Este ensayo se ha diseñado con el objetivo de estudiar el avance del frente de carbonatación en hormigones sometidos a una atmósfera del 100% de CO₂ y HR 65 ± 5% durante 120 días. Para ello se utilizaron probetas de hormigón en masa de Ø100 x 150 mm curadas a 28 y 365 días. A estas edades se les debe sumar el tiempo requerido para el acondicionamiento de cada una de ellas. Como método de acondicionamiento, todas las probetas fueron introducidas en un desecador con HR 65% hasta masa constante (aproximadamente 60 días). A continuación, fueron colocadas en las cámaras de carbonatación para ser atacadas durante 120 días. Se tomaron medidas del avance del frente de carbonatación dos veces por semana en los primeros 45 días de ensayo; a partir de ese momento, las medidas se espaciaron según el avance de la carbonatación en cada tipo de hormigón. Al finalizar el ensayo las probetas se rompieron a tracción indirecta para medir la profundidad total alcanzada por el frente de carbonatación.

La cámara de carbonatación empleada consistió en tres desecadores conectados a una bala de CO₂ (riqueza > 99.9%, seco). El flujo de CO₂ empleado fue discontinuo, de 5 horas por día, y con caudal aproximado de 10 ml / min. La temperatura se mantuvo entre 18° y 20° C. Se controló la humedad relativa en el interior de la cámara utilizando gel de sílice, manteniéndola en un intervalo comprendido entre el 60 y 70% con el fin de acelerar al máximo la velocidad de carbonatación (Lange et al., 1996; Zornoza et al., 2009)

Por cada tipo de hormigón y edad de ensayo se utilizaron dos probetas: una de ellas se dispuso para realizar controles periódicos del avance del frente de carbonatación y la otra se reservó para confirmar el resultado obtenido al finalizar el ensayo. Ambas probetas estuvieron sometidas a las mismas condiciones de ataque.

Tabla 3. Nomenclatura utilizada en hormigones

Nomenclatura	Tipo de hormigón
0% AR-CP	Hormigón sin sustitución por árido reciclado, con matriz de CP.
20% AR-CP	Hormigón con 20% de sustitución por árido reciclado, con matriz de CP.
100% AR-CP	Hormigón con 100% de sustitución por árido reciclado, con matriz de CP.
0% AR-MA	Hormigón sin sustitución por árido reciclado, con matriz alternativa (MA)
20% AR-MA	Hormigón con 20% de sustitución por árido reciclado, con matriz alternativa (MA)
100% AR-MA	Hormigón con 100% de sustitución por árido reciclado, con matriz alternativa (MA)

Tabla 4. Dosificaciones empleadas en este trabajo.

ID	CP (kg/m ³)	CV (kg/m ³)	FCC (kg/m ³)	a _{ef} (kg/m ³)	Arena (kg/m ³)	AN (kg/m ³)	AR (kg/m ³)	Aditivo* (%)	a _{ef} /mc
0% AR- CP	380	-	-	171	934	981	-	0,45	0,45
20% AR- CP	380	-	-	171	934	785	173	0,50	0,45
100% AR- CP	380	-	-	171	934	-	865	0,45	0,45
0% AR- MA	190	133	57	171	934	981	-	0,85	0,45
20% AR- MA	190	133	57	171	934	785	173	0,50	0,45
100% AR- MA	190	133	57	171	934	-	865	0,85	0,45

* La cantidad de aditivo se toma como un porcentaje sobre la cantidad de material cementante. a_{ef} es la diferencia entre el agua total presente en el hormigón fresco y el agua absorbida por los áridos. Interviene en la reacción de hidratación del cemento y la trabajabilidad del hormigón.

El método propuesto para medir la profundidad de carbonatación en una probeta de hormigón se basa en realizar perforaciones progresivas sobre su superficie a lo largo del proceso de ataque (Figura 2). Debido a que el frente de carbonatación avanza con el tiempo de exposición al CO₂, se hace necesario tomar muestras cada vez más profundas. La profundidad de carbonatación se mide a intervalos de 10 ± 5 mm en al menos dos puntos diametralmente opuestos de la probeta. Se utiliza un taladro vertical equipado con una broca de 4 mm (Figura 3). Se recoge el polvo de hormigón resultante de la perforación y se rocía con una disolución de fenolftaleína para observar si se encuentra carbonatado. De ser así, se continúa perforando hasta alcanzar la profundidad donde no haya indicios de carbonatación. Los huecos resultantes en la probeta se sellan con pegamento de silicona para evitar el paso de CO₂ a través de ellos. Las probetas se vuelven a colocar en la cámara de carbonatación hasta la próxima toma de muestras.

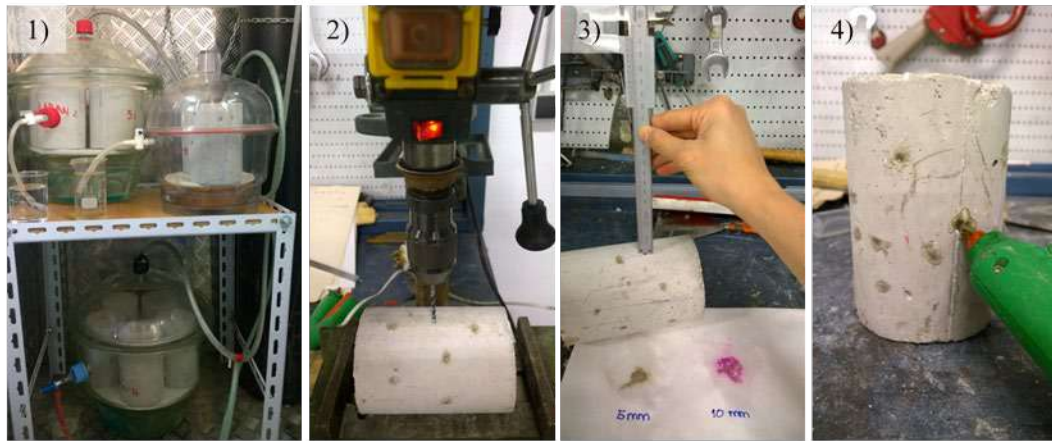


Figura 2. Ensayo para medir la velocidad de carbonatación.

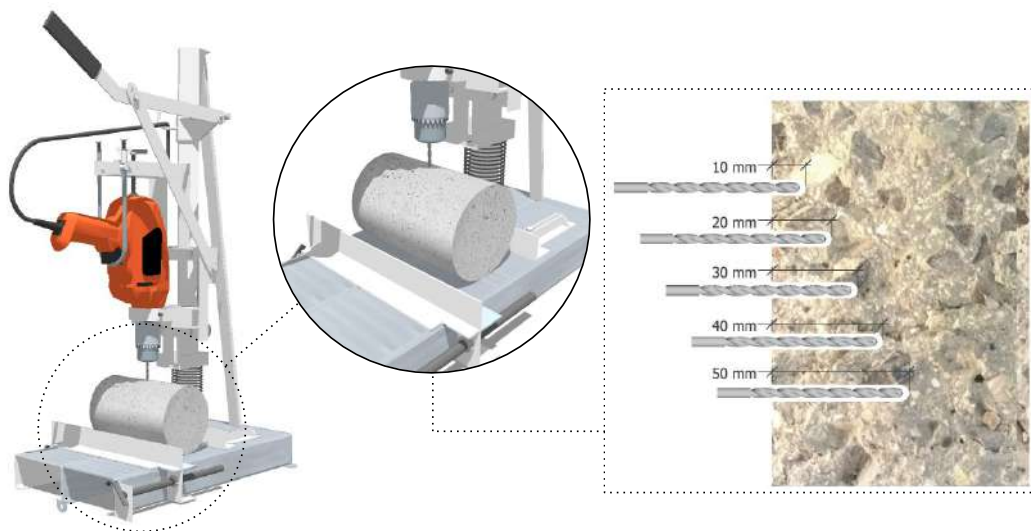


Figura 3. Método propuesto para la obtención de muestras en probetas de hormigón sometidas a una atmósfera de CO_2 .

Cuando la probeta se considera carbonatada, o cuando ha alcanzado el tiempo máximo de ensayo de 120 días, es sometida a rotura por tracción indirecta. Las dos secciones resultantes se rocían con fenolftaleína y se mide el frente de carbonatación (Figura 4). Inmediatamente se procede a romper la probeta homóloga, reservada hasta este momento, y se comparan los valores obtenidos.

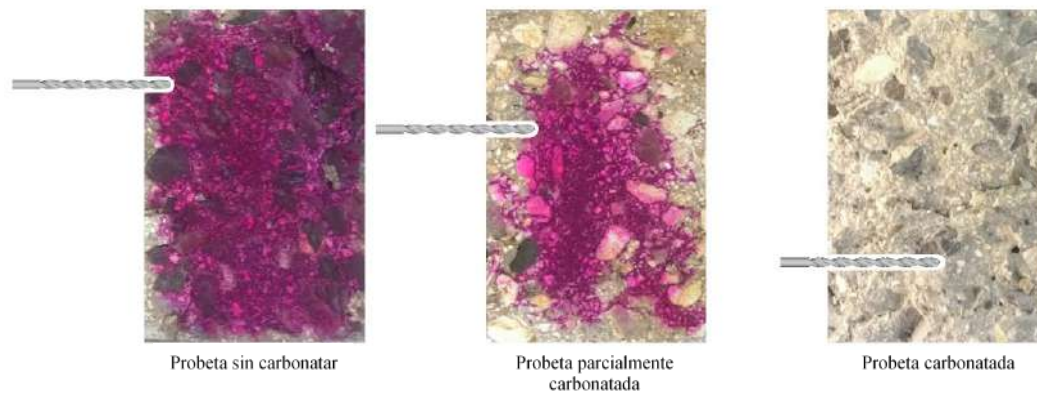


Figura 4. Medida del frente de carbonatación en probetas después de rotura.

Los resultados arrojados por este método están afectados por una menor precisión que el método comúnmente utilizado, que consiste en la rotura de probetas a distintas edades. Sin embargo, por tratarse un método no destructivo es posible registrar el avance del frente de carbonatación en una misma probeta durante todo el proceso de ataque, lo que se traduce en una reducción de las muestras a utilizar en este tipo de ensayos.

3. RESULTADOS

Para la valoración de la resistencia a la carbonatación de los hormigones las probetas se mantuvieron durante 120 días en cámara de carbonatación acelerada, como se explica en el apartado 2.2.3.

Los resultados que aquí se presentan se obtuvieron mediante la carbonatación acelerada de probetas, por lo tanto, no pueden ser extrapolados a condiciones de carbonatación natural, aunque algunos autores hacen uso de un factor de extrapolación que depende de las condiciones de exposición ambiental a las que se quiera trasladar el resultado (Khunthongkeaw et al., 2006).

Este estudio evalúa la influencia de la sustitución de los áridos naturales por reciclados y del cemento por CV+FCC en la velocidad de carbonatación de los hormigones. Para ello se ha seguido el modelo que relaciona la profundidad de carbonatación con la raíz cuadrada del tiempo mediante una constante, denominada velocidad de carbonatación, la cual se expresa en (1) (Khunthongkeaw et al., 2006; Castro et al., 2000).

$$x = V_{CO_2} \sqrt{t} \quad (1)$$

Donde, x es la profundidad de carbonatación en mm, t es el tiempo en años y V_{CO_2} es la velocidad de carbonatación en $\text{mm} \cdot \text{año}^{-0,5}$.

La evolución de la profundidad de carbonatación en los hormigones durante el proceso de carbonatación acelerada se presenta en la Figura 5. Se observa una clara tendencia de los hormigones con matriz MA a ofrecer una menor resistencia a la carbonatación, ya que estos presentan menor cantidad de cemento debido a la sustitución del mismo por adiciones y la portlandita es consumida por adiciones; esto se traduce en una disminución del pH y, por consiguiente, en una mayor profundidad de carbonatación del hormigón.

Por otro lado, es evidente que a medida que se incrementa el porcentaje de árido reciclado en el hormigón, la velocidad de carbonatación aumenta, sin importar el tipo de matriz utilizada. Este comportamiento era esperable debido a que la porosidad de los hormigones aumenta al aumentar la sustitución de los áridos, por lo que el CO_2 encuentra el camino más despejado para penetrar hacia el interior del material. El incremento observado en la profundidad de carbonatación debido al uso de áridos reciclados está en sintonía con lo obtenido por otros autores (Arredondo-Rea et al., 2012), en cuyo trabajo, los hormigones 100% reciclado alcanzaron una profundidad de carbonatación de más 10 mm a los 120 días de exposición, mientras que en el hormigón de referencia dicha profundidad se ubicó por debajo de 7 mm. Además, se han encontrado estudios de carbonatación natural a diez años, en los que el frente de carbonatación ha penetrado sólo un 10% más en hormigones 100% reciclados, en comparación con el hormigón de referencia (Kou et al., 2013).

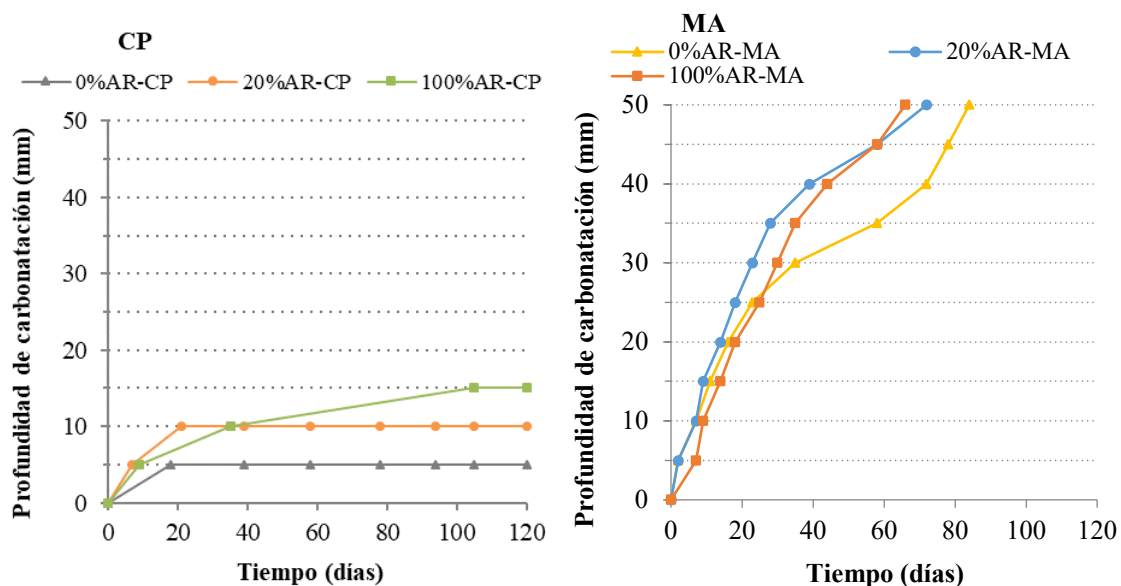


Figura 5. Evolución de la profundidad de carbonatación en hormigones durante el ensayo de carbonatación acelerada.

En los hormigones con matriz MA, el frente de carbonatación alcanza la totalidad de la probeta antes de los 120 días fijados para el ensayo; mientras que, en los hormigones fabricados con CP, el frente de carbonatación alcanza una profundidad inferior a la mitad del radio de la probeta. Esto significa que las pérdidas en la reserva alcalina, debido a la sustitución del 50% del cemento por adiciones, afecta de forma significativa a la velocidad de carbonatación, ya que la portlandita juega un papel importante a la hora de frenar el avance del frente. El comportamiento registrado por esta matriz coincide con lo expuesto por otros autores sobre la influencia negativa que conlleva la sustitución del cemento por adiciones, entre las que se encuentran las CV y el FCC, en la resistencia a la carbonatación (Glinicki et al., 2016; Papadakis et al., 2000; Zornoza et al., 2009).

Hormigones con 100% AR y un 30% de CV como sustituto del cemento, han demostrado que la combinación de ambas sustituciones incrementa la profundidad de carbonatación entre un 63% y un 65% (Kou et al., 2013), por lo tanto, es de esperarse que al sustituir un 50% del cemento la velocidad de carbonatación se vea afectada. Algunos investigadores citan que la sustitución de un 50% de cemento por CV conduce a coeficientes de carbonatación entre 2 y 3 veces mayores que los del hormigón patrón (Papadakis et al., 2000).

Si se observa la evolución de la masa de los hormigones durante el proceso de carbonatación (Figura 6), se aprecia una relación directa con los datos anteriores. En el caso de los hormigones

con matriz alternativa, el incremento de sus respectivas masas es menos significativo, ya que existe una menor cantidad de sustancias carbonatables; este incremento se frena en el intervalo 65-85 días debido a la total carbonatación de los hormigones.

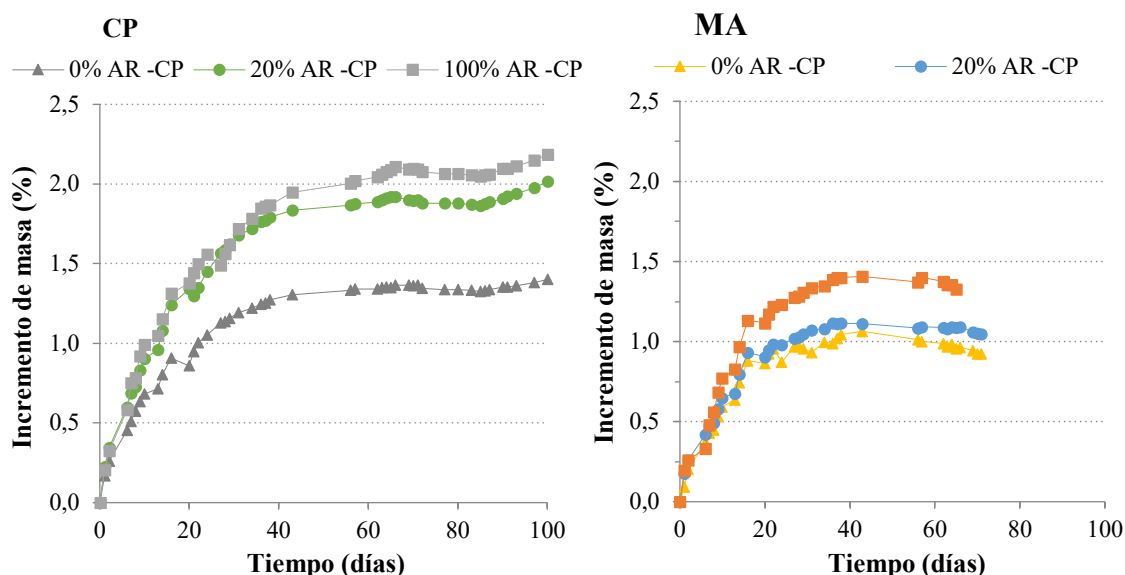


Figura 6. Evolución de la masa de los hormigones durante el ensayo de carbonatación acelerada.

En la Tabla 5 se presentan las constantes de velocidad de carbonatación (V_{CO_2}) de cada hormigón obtenidas mediante (1). Se aprecia claramente que la resistencia que ofrece la matriz alternativa es mucho menor que la proporcionada por la matriz de cemento, como se ha indicado anteriormente; y que cuanto mayor es la cantidad de árido reciclado en la mezcla, mayor es la velocidad de carbonatación de los hormigones. Sin embargo, se considera que el ensayo de carbonatación acelerada subestima la resistencia que podrían presentar los hormigones con matriz MA en condiciones de carbonatación natural, ya que existen registros de hormigones con sustituciones del 55% de cemento por CV que después de haber estado expuestos durante 10 años a condiciones atmosféricas mostraron una profundidad de carbonatación entre 0,7 y 2 veces mayor que la del hormigón de referencia, siendo la mayor profundidad de carbonatación la correspondiente a un hormigón elaborado en su totalidad con árido reciclado (Ajdukiewicz et al., 2002).

Tabla 5. Velocidad de carbonatación de los hormigones en el ensayo de carbonatación acelerada.

ID	V_{CO_2} (mm/año ^{-0,5})
0% AR-CP	9
20% AR-CP	17
100% AR-CP	26
0% AR-MA	104
20% AR-MA	113
100% AR-MA	118

En la Figura 7 se representa la velocidad de carbonatación de los hormigones en función de su resistencia a compresión a 28 días de curado. En ella se puede apreciar que existe una clara relación

entre estos parámetros, ya que ambos se encuentran fuertemente afectados por la porosidad de la matriz cementante. Cuanto menor es la porosidad del hormigón, mayor es su resistencia a compresión ya que el material es más denso. Asimismo, cuanto menor es la porosidad del hormigón, menor es la capacidad de difusión del CO₂ a través de la red de poros.

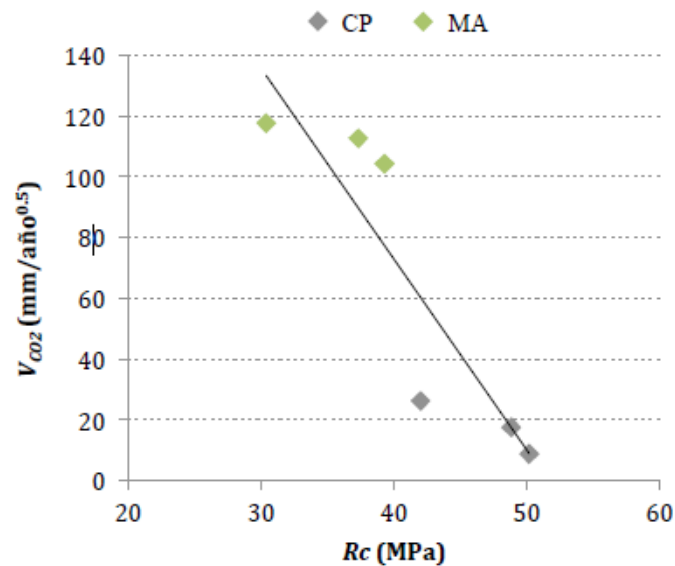


Figura 7. Relación entre la resistencia a compresión de los hormigones (R_c) a 28 días de curado y la velocidad de carbonatación obtenida mediante el ensayo de carbonatación acelerada (V_{CO_2}).

Las fotografías del revelado de las probetas con fenolftaleína una vez finalizado el ensayo de carbonatación acelerada (120 días) se muestran en la Figura 8. En dichas fotografías puede apreciarse que los resultados obtenidos con el método de perforación son coherentes con los registrados en las probetas que han permanecido intactas a lo largo del proceso, es decir, las que no fueron empleadas para la toma continua de muestras.

Se comprueba que las probetas con matriz MA están totalmente carbonatadas a 120 días de ensayo, mientras que las de CP aún no se encuentran carbonatadas en su totalidad. En estos últimos, la profundidad de carbonatación registrada aumenta con la cantidad de árido reciclado empleada en su fabricación.

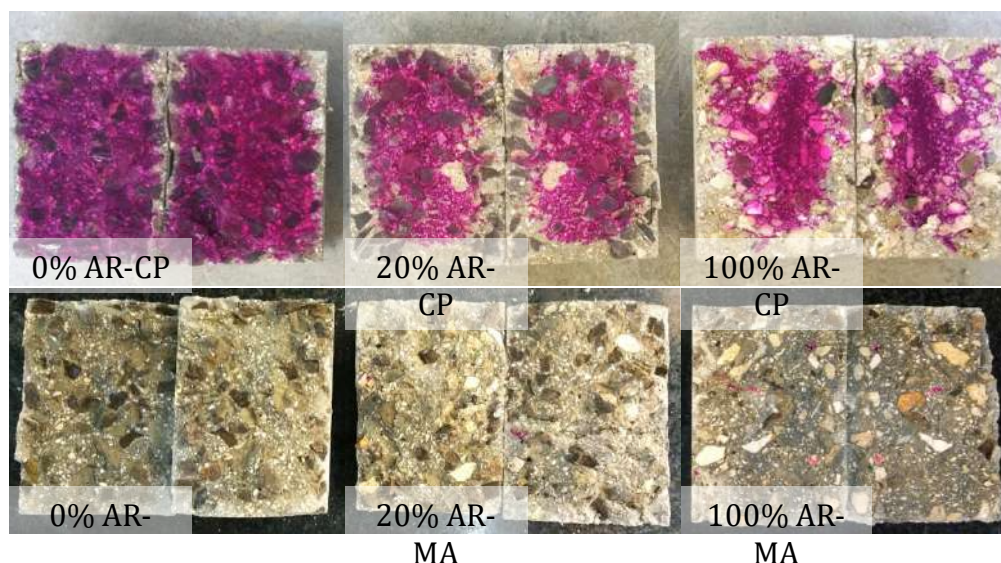


Figura 8. Fotografías de las probetas de hormigón sometidas a carbonatación acelerada después de 120 días de ensayo.

4. CONCLUSIONES

Una vez evaluada la influencia de la sustitución parcial del cemento por adiciones (CV y FCC) y de los áridos naturales por áridos reciclados en las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad del hormigón, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Tanto la sustitución de los áridos, como la sustitución parcial del cemento por adiciones, conducen a una reducción en la resistencia a la carbonatación de los hormigones. Las variaciones debidas a la sustitución de los áridos calizos por áridos reciclados son menores que las asociadas al uso de la matriz alternativa, como consecuencia de la disminución en la reserva alcalina por la alta sustitución del cemento.

Los beneficios medioambientales que conlleva el uso de áridos reciclados y de residuos industriales como materiales puzolánicos incitan a pensar que en un futuro su aplicación será obligatoria. Los resultados obtenidos en esta investigación defienden la posibilidad de alcanzar hormigones con árido reciclado y adiciones puzolánicas que presenten propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad óptimas, capaces de proteger de forma eficaz a las armaduras ante los distintos agentes agresivos que causan su deterioro.

5. REFERENCIAS

Ajdkiewicz, A., Kliszczewicz, A. (2002). Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. *Cement and Concrete Composites*, 24(2): 269–279. doi:10.1016/S0958-9465(01)00012-9

Arredondo-Rea, S.P., Corral-Higuera, R., J.M. Gomez-Soberon, J.H. Castorena-Gonzalez, V. Orozco-Carmona, V., Almaral-Sanchez, J. L. (2012). Carbonation rate and reinforcing steel corrosion of concretes with recycled concrete aggregates and supplementary cementing materials. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(2), 1602–1610.

Bijen, J. (1996) Benefits of slag and fly ash. *Construction and Building Materials*, 1996, vol. 10-5, pp. 309-314.

Borrachero, M.V., Payá, J., Monzó, J., Soriano, L., Tashima, M.M. (2021). “*Inorganic binders from petrochemical industry waste: The case of fluid catalytic cracking catalyst residue*”. Capítulo de libro: Chapter 10 (pp 283-334). *Waste and Byproducts in Cement-Based Materials*. Eds: Jorge de Brito, Carlos Thomas, César Medina, Francisco Agrela. Editorial: Elsevier. eISBN: 978-0-12-820895-3; ISBN: 978-0-12-820549-5 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820549-5.00003-6>

Castro, P., Sanjuan, < J. Genesca, J. (2000)“Carbonation of concretes in the Mexican Gulf”. *Building and Environment*, 35(2), 145–149. doi:10.1016/S0360-1323(99)00009-8.

Chaofeng, L., Zhedong, C., Huixia, W., Jianzhuang, X., Yuming, Z., Zhiming, M. “Chloride transport and induced steel corrosion in recycled aggregate concrete: A review”. *Construction and Building Materials*, 2021, vol, 282, 122547. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.122547.

Corinaldesi, V., Moriconi, G. (2009). Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23: 2869-2876.

Garcés, P., Glasser, F.P., Brew, D.R.M., Zornoza, E., Payá, J. (2011), Pozzolanic Activity of a Spent Fluid Catalytic Cracking Catalyst Residue. *Advances in Cement Research*, 23(1):1-7.

García de Lomas, M., Sánchez de Rojas, M.I. Frías, M., Mújika, R. (2006). *Comportamiento científico-técnico de los cementos portland elaborados con catalizadores FCC. Aplicación de la norma vigente*. Monografía Materiales nº. 412 Editado por el CSIC, Madrid: p. 46.

Glinicki, M. A., Józwiak-Niedźwiedzka, D., Gibas, K., Dabrowski, M. (2016). Influence of blended cements with calcareous fly ash on chloride ion migration and carbonation resistance of concrete for durable structures. *Materials*, 9(1). doi:10.3390/ma9010018

Herath, C., Gunasekara, C., Law, D., Setunge. S. (2020). Performance of high-volume fly ash concrete incorporating additives: A systematic literature review. *Construction and Building Materials*. 258. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120606>.

Hoai-Bao, L., Quoc-Bao, B. (2020) Recycled aggregate concretes - A state-of-the-art from the microstructure to the structural performance”. *Construction and Building Materials*, 2020, Vol., 119522.

Hooton, R. D. (2015). Current developments and future needs in standards for cementitious materials”. *Cement and Concrete Research*, 78: 165–177.

Khunthongkeaw, J., Tangtermsirikul, S., Leelawat, T. (2006). A study on carbonation depth prediction for fly ash concrete. *Construction and Building Materials*, 20(9), 744–753. doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.01.052

Kou, S *et al.* (2011) Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 33(8): 788-795.

Kou, S. C., Poon, C. S. (2013). Long-term mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete prepared with the incorporation of fly ash. *Cement and Concrete Composites*, 37(1), 12–19. doi:10.1016/j.cemconcomp.2012.12.011.

Lange, L. C., Hills, C. D., Poole, A. B. (1996). The influence of mix parameters and binder choice on the carbonation of cement solidified wastes. *Waste Management*, 16(8): 749–756. doi:10.1016/S0956-053X(97)00021-4

Papadakis, V. G. (2000). Effect of supplementary cementing materials on concrete resistance against carbonation and chloride ingress. *Cement and Concrete Research*, 30(2):, 291–299. doi:10.1016/S0008-8846(99)00249-5

Paris, J.M., Roessler, J.G., Ferraro, C., De Ford, H. (2016). A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. *Journal of Cleaner Production*, 121:1-18.

Sim, J., Park, C. (2011). Compressive strength and resistance to chloride ion penetration and carbonation of recycled aggregate concrete with varying amount of fly ash and fine recycled aggregate. *Waste Manage*, 31 (11): 2352-2360.

Soriano, L., Payá, J., Monzó, J., Borrachero, M.V., Tashima, M.M. (2016) High strength mortars using ordinary Portland cement–fly ash–fluid catalytic cracking catalyst residue ternary system (OPC/FA/FCC). *Construction and Building Materials*, 106 (1): 228-235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.111>.

Yin, K., Ahamed, A., Lisak, G. (2018). “Environmental perspectives of recycling various combustion ashes in cement production – A review”. *Waste Management*, 78: 401–416.

Zornoza, E., Garcés, P., Monzó, J., Borrachero, M. V., Payá, J. (2009). Accelerated carbonation of cement pastes partially substituted with fluid catalytic cracking catalyst residue (FC3R). *Cement and Concrete Composites*, 31(2): 134–138. doi:10.1016/j.cemconcomp.2008.12.008

Zornoza, E., Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M. V., Garces, P. (2009). The carbonation of OPC mortars partially substituted with spent fluid catalytic catalyst (FC3R) and its influence on their mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 23(3): 1323–1328. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.07.024

Elaboração de mapas de danos e a influência de intempéries em fachadas: Estudo de caso no Prédio de Pós-Graduação em Letras da Universidade Federal do Pará.

C. Castro^{1*}, H. Soares², L. Batista³, B. Vale⁴, A. Lopes⁵, L. Queiroz⁶

*Autor de Contato: murillosc@gmail.com

^{1,2,3,4,5,6} Faculdade de Engenharia Civil, ITEC, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

RESUMO

Devido ao processo de degradação de revestimentos de fachadas e à importância de investigação desse processo, o presente trabalho teve o objetivo de identificar as principais manifestações patológicas nas fachadas de uma edificação e criar Mapas de Danos (MDs), assim como verificar a influência de intempéries nesse processo. Para tal, foi realizada inspeção pelo método indireto no Prédio de Pós-Graduação em Letras da Universidade Federal do Pará e elaboradas Fichas de Identificação de Danos (FIDs), além da coleta de dados de vento e precipitação de chuva na região. Como resultados, foi possível elaborar os MDs e obter a relação entre a ação de intempéries com as fachadas que apresentavam as maiores incidências de manifestação patológica no revestimento.

Palavras chave: Mapa de danos; manifestação patológica; revestimento; fachada; inspeção predial.

ABSTRACT

Due to the degradation process of facade coatings and the importance of investigating this process, the present work aimed to identify the main pathological manifestations on the façades of a building and create Damage Maps (MDs), as well as verify the influence of weathering. In this process. For this purpose, inspection was carried out using the indirect method at the Postgraduate Course in Languages at the Federal University of Pará and Damage Identification Sheets (FIDs) were prepared, in addition to the collection of wind and rain data in the region. As a result, it was possible to elaborate the MDs and obtain the relationship between the action of weathering and the façades that presented the highest incidences of pathological manifestations in the coating.

Keywords: Damage map; pathological manifestation; coating; facade; building inspection.

RESUMEN

Debido al proceso de degradación de los revestimientos de fachadas y la importancia de investigar este proceso, este estudio tuvo como objetivo identificar las principales manifestaciones patológicas en las fachadas de un edificio y crear Mapas de Daños (MDs), así como verificar la influencia de la meteorización en este proceso. Para ello, se realizó la inspección mediante el método indirecto en el Posgrado en Idiomas de la Universidad Federal de Pará y se elaboraron Fichas de Identificación de Daños (FID), además de la recolección de datos de viento y lluvia en la región. Como resultado, fue posible elaborar los MD y obtener la relación entre la acción de la intemperie y las fachadas que presentaban las mayores incidencias de manifestaciones patológicas en el revestimiento.

Palabras clave: Mapa de daños; manifestación patológica; revestimiento; fachada; inspección de edificios.

1. INTRODUÇÃO

As fachadas de uma edificação, além de estética, apresentam a função de proteger os elementos de internos dos edifícios da ação direta dos agentes agressivos, auxiliando as vedações no cumprimento de suas funções quanto ao desempenho e à regularização da superfície, servindo de base adequada ao recebimento de outros revestimentos ou constituir-se no acabamento final (Baía e Sabbatini, 2008). Dessa forma, é fundamental que o sistema de fachadas apresente durabilidade adequada, para que o mesmo tenha vida útil compatível com o esperado pelo projeto.

Entretanto, ao longo de sua vida útil, as fachadas estão sujeitas a um processo complexo de degradação de agentes externos provenientes de diferentes naturezas, agindo de forma associada ou não. Quanto aos agentes de degradação, eles podem ser provenientes de fatores climáticos (radiação, água, vento e contaminantes do ar), biológicos, mecânicos e de incompatibilidades (Santos, 2018). Além desses fatores, ressalta-se a importância da manutenção, visto que muitos edifícios não recebem manutenções preventivas e/ou corretivas, a fim de minimizar a ação desses fatores e agentes e, assim, evitar a proliferação de manifestações patológicas.

Segundo Gonçalves (2015), as manifestações patológicas são definidas como todas as manifestações cuja ocorrência no ciclo de vida da edificação venha prejudicar o desempenho esperado do edifício e suas partes. No sistema de revestimento de fachadas, a incidência das manifestações é geralmente acelerada pelo tipo de materiais utilizados e dos detalhes arquitetônicos da edificação, tornando o descolamento, fissura, manchas, pulverulência e eflorescência as manifestações mais comuns (Madureira et al., 2017).

Nesse sentido, a realização de inspeções, avaliações e a elaboração de possíveis diagnósticos são fundamentais para a identificação precoce de potenciais problemas em uma edificação, possibilitando o planejamento de uma manutenção preventiva. Em casos de manifestações patológicas no revestimento das fachadas, as inspeções e diagnósticos são essenciais para auxiliar no processo de intervenção, evitando o agravamento e buscando o entendimento das causas (Gonçalves; Brito; Amaro, 2007).

Após feita a inspeção e identificada alguma situação anômala ou danos mais críticos, para que possa haver uma análise mais minuciosa, são gerados documentos acerca das manifestações observadas. Entre esses documentos, está o mapa de danos que consiste em uma ferramenta que possibilita a investigação do estado de conservação de uma edificação, por meio de registros gráficos dos levantamentos realizados e identificados (Costa, 2014). Apesar de ainda não haver uma normatização que determine qual o melhor procedimento para ser seguido na construção de mapas de danos, a metodologia indicada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) é uma das mais utilizadas durante o processo de documentos.

Diante do exposto e da necessidade da Prefeitura Multicampi da Universidade Federal do Pará em fazer um levantamento das manifestações patológicas nas fachadas dos prédios da universidade, o presente trabalho apresenta um estudo de caso no prédio de Pós-Graduação em Letras, que foi escolhido para inspeção devido ao curto período de construção e à elevada quantidade de anomalias encontradas. Foi realizada a inspeção preliminar que buscou identificar visualmente as degradações existentes nas fachadas da edificação, assim como a análise dos elementos arquitetônicos e a ação de intempéries que possam influenciar na aceleração do surgimento dessas manifestações. A partir disso, foi construído o mapa de danos que pode servir como ferramenta para auxiliar em posteriores intervenções da Prefeitura Multicampi nesse prédio.

2. METODOLOGIA

2.1 Características gerais da edificação

O Prédio do Programa de Pós Graduação em Letras (PPGL) localiza-se na cidade de Belém-PA, no Campus Guamá, setor Básico da Universidade Federal do Pará, na latitude $1^{\circ}28'47''$ e longitude $48^{\circ}27'23''$. Inaugurado em 13 de dezembro de 2019, o prédio abriga atividades dos Institutos de Letras e Comunicação (ILC) e de Filosofia e Ciências Humanas (IFCH), e comporta uma estrutura com pavimento térreo mais três pavimentos, como indicado nas Figuras 01 e 02.



Figura 1. Localização do Prédio de Pós-Graduação em Letra (Google Maps).

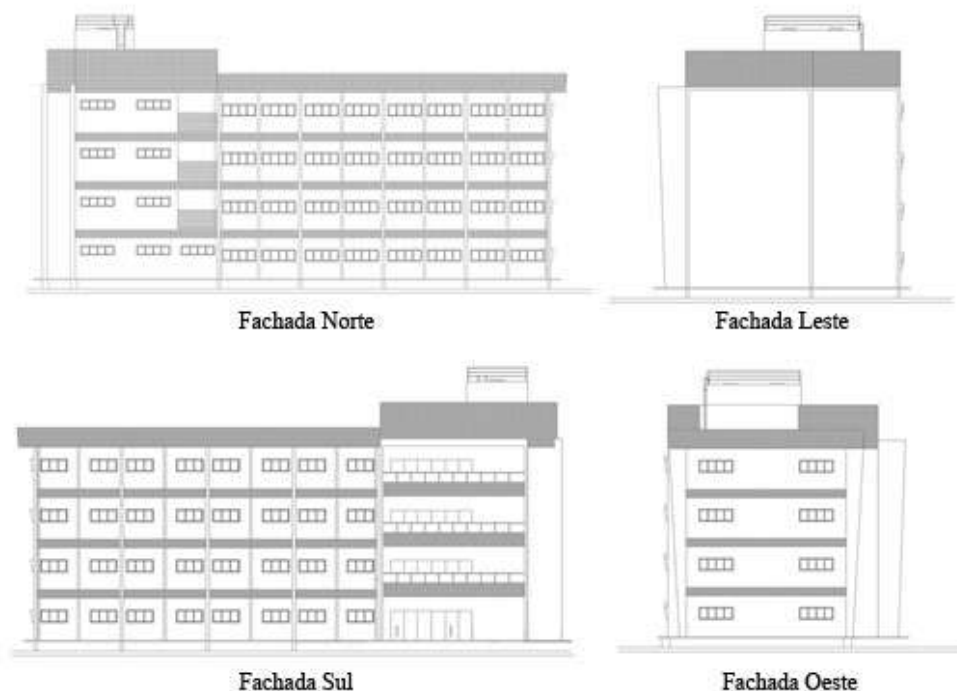


Figura 2. Projetos das fachadas da edificação.

Quanto às fachadas, de acordo com os projetos disponibilizados e com o que foi observado *in loco*, o sistema conta com revestimento do tipo cerâmico, acabamento em pintura e concreto aparente. Dessa forma, para o revestimento cerâmico, a recomendação indicava a utilização de pastilhas cerâmicas de 10x10cm, para o revestimento com acabamento em pintura a utilização de tinta PVA acrílica e nas áreas de concreto aparente a aplicação de verniz. Segundo a Prefeitura Multicampi da Universidade, as fachadas foram executadas no início do ano de 2017.

Além disso, as fachadas referentes às direções Norte (N), Sul (S) e Oeste (O) apresentam janelas e balancins em vidro temperado com moldura em concreto com pintura PVA acrílica. Na fachada referente à direção sul, o sistema conta também com uma porta de abrir de vidro temperado incolor.

2.2. Inspeção e mapa de danos

A inspeção no Prédio de Pós-Graduação em Letras ocorreu pelo método indireto que, segundo Tinoco (2009), corresponde às investigações que são realizadas de maneira analítica, a partir da interpretação de documentos escritos, gráficos, iconográficos e testemunhos orais, que possam fundamentar hipóteses e conclusões. Assim, para início da inspeção, foram buscadas informações sobre o prédio de estudo. Tais informações foram fornecidas pela Prefeitura Multicampi da Universidade Federal do Pará, como especificações técnicas de execução, projeto arquitetônico, fotos da época da construção da edificação e valor de obra.

Dessa forma, para a obtenção de dados, foi realizada a visita *in loco*, que ocorreu no dia 17/06/2021, às 9:00h da manhã, onde foi realizado o registro fotográfico da edificação, assim como das principais manifestações patológicas encontradas no edifício.

Além da identificação das manifestações patológicas e dos registros fotográficos das fachadas, foi fundamental a elaboração de uma Ficha de Identificação de Danos (FID). A FID é o registro

principal para a construção do Mapa de Dano (MD) e corresponde a um documento normalizado com registro e anotações gráficas e fotográficas sobre os danos existentes em uma edificação (TINOCO, 2009).

O Mapa de Dano foi elaborado no software da Autodesk (Autocad) e também com auxílio do Adobe Photoshop CC, com o objetivo da Prefeitura Multicampi em fazer um levantamento das manifestações mais recorrentes nos prédios da universidade e, com isso, realizar futuras intervenções.

2.3. Análise da exposição às intempéries

Após a elaboração dos mapas de danos, buscou-se investigar o surgimento de algumas das manifestações patológicas presentes nas fachadas, dando prioridade para os manchamentos, que causam maior impacto visual negativo para quem observa a edificação. Por se tratar de manchamento por umidade, buscou-se analisar dados envolvendo ventos e chuvas.

Os dados coletados para análise da ação pluviométrica nas fachadas do prédio foram coletados a partir do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados correspondem às precipitações na cidade de Belém/PA, no período de 2017 a 2020. Foi gerada uma base de dados referentes a essas medições de hora em hora nas estações, onde foram removidos valores com erros de leitura, ventos sem precipitação e ventos com velocidades menores que 1 knot (0,5 m/s) (MELO JUNIOR e CARASEK, 2011).

Os dados da direção do vento, que é registrado em graus, foram convertidos para as coordenadas N, NL, L, SL, S, SO, O e NO, conforme a Tabela 1. Também foi calculada a frequência de ocorrência dos ventos e sua velocidade média, conforme condições adotadas.

Tabela 1. Conversão da direção do vento em coordenadas.

DIREÇÃO DO VENTO (°)	COORDENADAS
$337,5^\circ \leq x < 22,5^\circ$	Norte (N)
$22,5^\circ \leq x < 67,5^\circ$	Nordeste (NL)
$67,5^\circ \leq x < 112,5^\circ$	Leste (L)
$112,5^\circ \leq x < 157,5^\circ$	Sudeste (SL)
$157,5^\circ \leq x < 202,5^\circ$	Sul (S)
$202,5^\circ \leq x < 247,5^\circ$	Sudoeste (SO)
$247,5^\circ \leq x < 292,5^\circ$	Oeste (O)
$292,5^\circ \leq x < 337,5^\circ$	Noroeste (NO)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da metodologia empregada, com base na inspeção e nos dados obtidos por meio dos registros fotográficos, pôde-se produzir, primeiramente, as Fichas de Identificação de Danos (FIDs).

As FIDs foram fundamentais para obtenção de uma visão geral das principais manifestações patológicas encontradas no revestimento do prédio estudado e, assim, permitiram uma análise pontual de cada fachada, sendo identificadas as degradações que comprometem a integridade física e estética da edificação.

A primeira FID é referente à fachada norte da edificação. Foi possível observar diversas áreas com manchas de coloração laranja, verde e preta. Observou-se que onde havia menor exposição ao sol por conta de árvores existentes, havia maior proliferação do agente causador do manchamento de tom laranja, enquanto os pavimentos superiores apresentaram a predominância dos manchamentos de tom escuro. É importante citar que estes manchamentos ocorreram apenas nas áreas pintadas com tinta branca.

Nesta fachada foi identificada uma maior quantidade de empolamentos nas áreas dos pilares, todos no intervalo entre o térreo e o primeiro pavimento.



Figura 3. FID da fachada norte. Fonte: Autores (2021)

A fachada leste é a que possui menos elementos arquitetônicos que possam diminuir o efeito de intempéries. Assim, entre todas as fachadas, é a que tem o visual mais poluído por manchamento de cores escuras (pretas) e alaranjadas, assim como a fachada norte, porém, de menor intensidade na cor laranja.

Por ser a fachada mais exposta, foi observado que os manchamentos ocorrem somente nos trechos onde foi realizado o acabamento em pintura na cor branca, o que levanta a hipótese de erro construtivo e que não foi utilizada a recomendação técnica adequada de pintura para o ambiente, sugerida pela Prefeitura Multicampi. Além disso, houve a identificação de manchamento causado por eflorescência em certos pontos do revestimento cerâmico e a formação de fissuras geométricas, como indica a Figura 4.



Figura 4. FID da fachada leste. Fonte: Autores (2021).

Com base na Figura 5, a FID da fachada sul indicou que a região apresentava manchamento no seu lado direito, onde não existe detalhe construtivo que proteja a fachada contra a chuva, e na direção de um dreno de ar condicionado, instalado de forma incorreta, provocando as manchas de umidade e poluindo visualmente a fachada com o dreno exposto. Além disso, foi verificado que não houve preocupação estética nos locais em que os ar condicionados foram instalados, visto que a alvenaria estava exposta.

As fissuras identificadas adotam um padrão. Entre o segundo e terceiro pavimento, foi possível localizar a presença de fissuras horizontais nos pilares e fissuras verticais abaixo do peitoril na maioria das esquadrias. Outra manifestação patológica presente na fachada foi o manchamento causado por eflorescência.



Figura 5. FID da fachada sul. Fonte: Autores (2021).

A fachada oeste, quando comparada com as demais, apresentou menor quantidade de manifestações por intempéries. Porém, existem partes desta fachada onde não há elementos arquitetônicos que protejam contra agentes de degradação, como é possível ver na Figura 06, nos detalhes a) e c). Foi possível notar um manchamento causado por umidade vindo do peitoril, que apesar de instalado, não segue as recomendações da NBR 10821 (ABNT, 2017) para esquadrias externas de uma edificação, a qual sugere uma borda e inclinação de peitoril maior, para que a água não escorra pelas bordas e cause possíveis manchamentos.

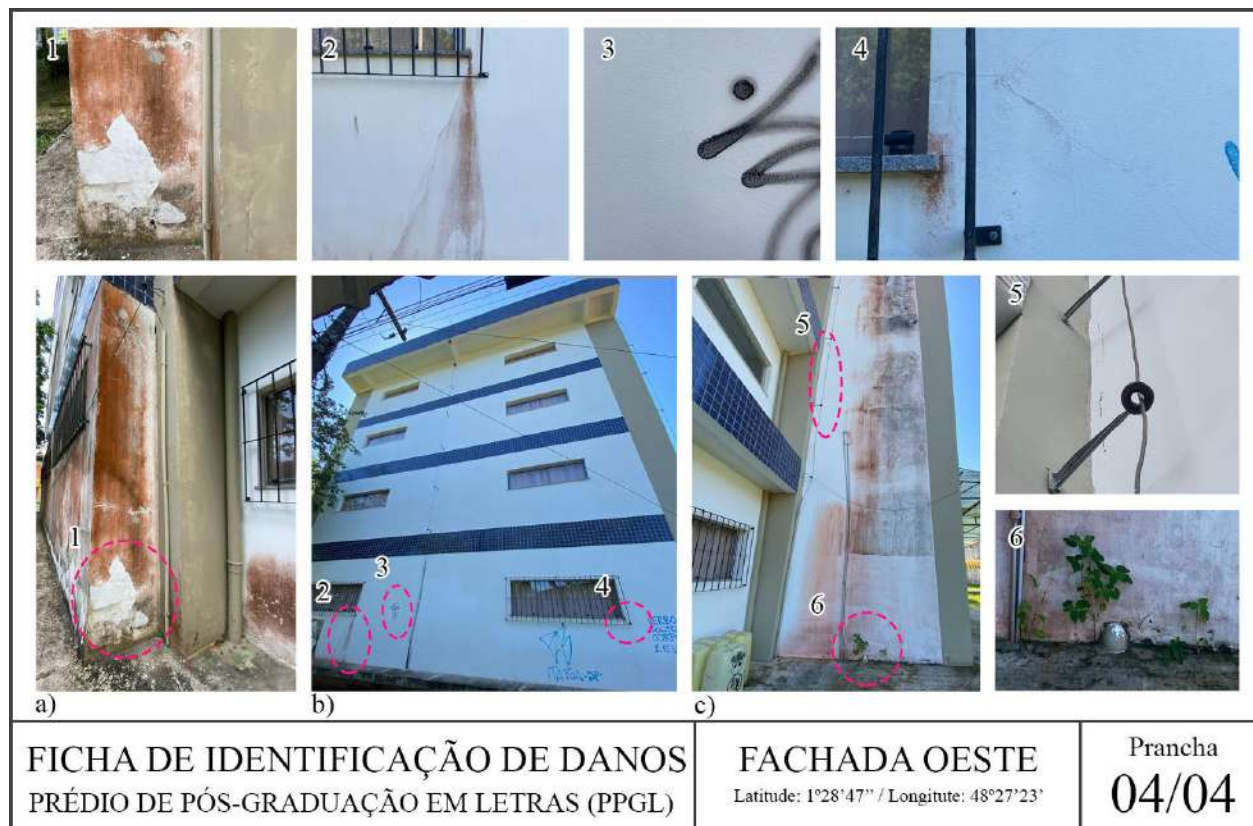


Figura 6. FID da fachada oeste. Fonte: Autores (2021).

Com o auxílio das fichas de identificação de danos, do projeto arquitetônico do edifício, dos registros fotográficos, de documentos da obra, realizou-se a elaboração dos mapas de danos das fachadas. Buscou-se utilizar na projeção deste mapa, elementos nas legendas que, ao sobrepor outro elemento, não ocultasse a manifestação patológica, pois duas ou mais patologias podem ocorrer simultaneamente em uma mesma área. A intenção da utilização destas legendas é de deixar o mapa mais didático, de fácil compreensão.

Como foi possível verificar nas FIDs, algumas fachadas não possuem registros fotográficos da fachada inteira, devido à limitação dos equipamentos de inspeção, da presença de árvores e também de outras edificações próximas que impossibilitam a captura de toda a fachada. Diante destas situações o mapa de danos se mostra bastante eficaz, pois auxilia na organização e visualização dos dados coletados, alocando de forma prática as patologias identificadas nas fachadas.

As Figuras 7, 8, 9 e 10 ilustram os mapas de danos elaborados para o edifício de estudo. Os mapas de danos foram elaborados para cada uma das fachadas: norte, leste, sul e oeste.

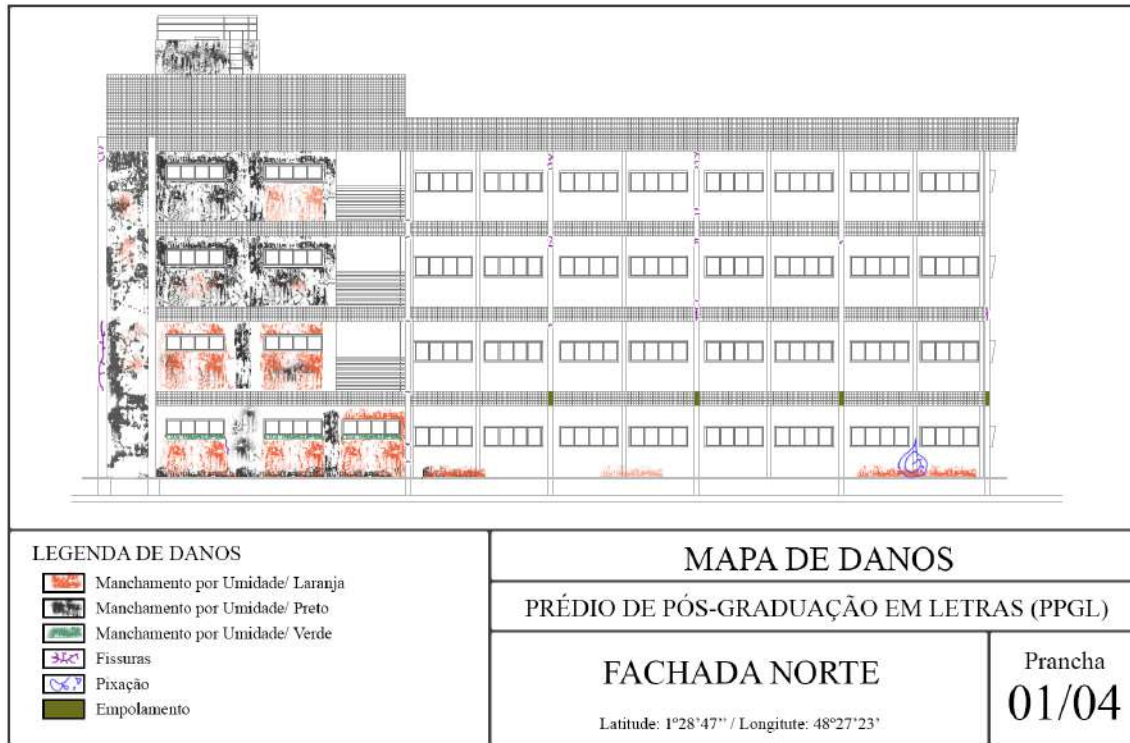


Figura 7. MDs da fachada norte. Fonte: Autores (2021).

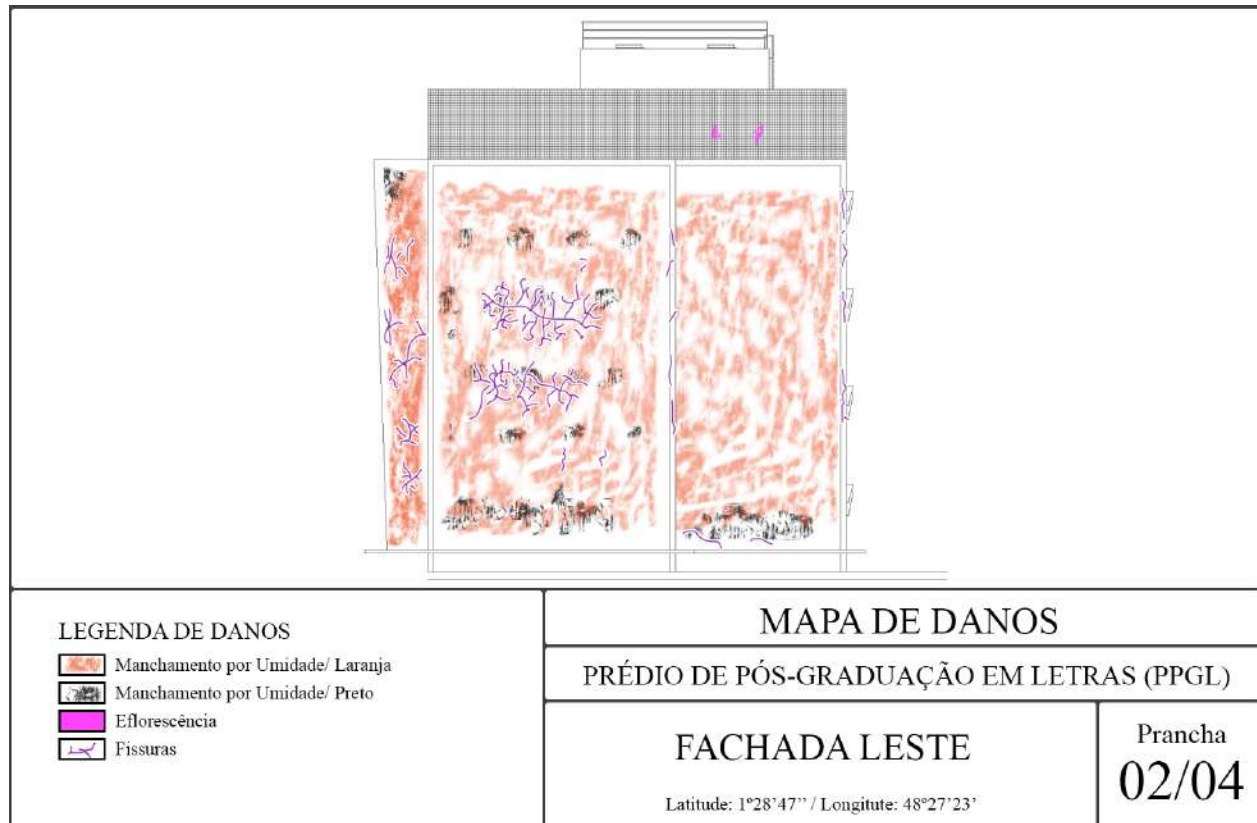


Figura 8. MDs da fachada leste. Fonte: Autores (2021).



Figura 9. MDs da fachada sul. Fonte: Autores (2021).



Figura 10. MDs da fachada sul. Fonte: Autores (2021).

Quanto aos resultados da ação do vento e precipitação de chuva em cada direção, obtidos do banco de dados do INMET, foi possível analisar a influência desses agentes nas fachadas da edificação. Segundo os dados, conforme Figura 11, entre os anos 2017 e 2020, a velocidade média do vento não apresentou grande variação nas direções correspondentes às que as fachadas são localizadas. Em relação à precipitação pluviométrica, foi possível identificar que, ao longo dos anos, houve um volume maior de chuva entre as direções norte e sudeste. Assim, as fachadas que correspondem a essas direções foram as que tiveram maior impacto da ação dessa intempérie.

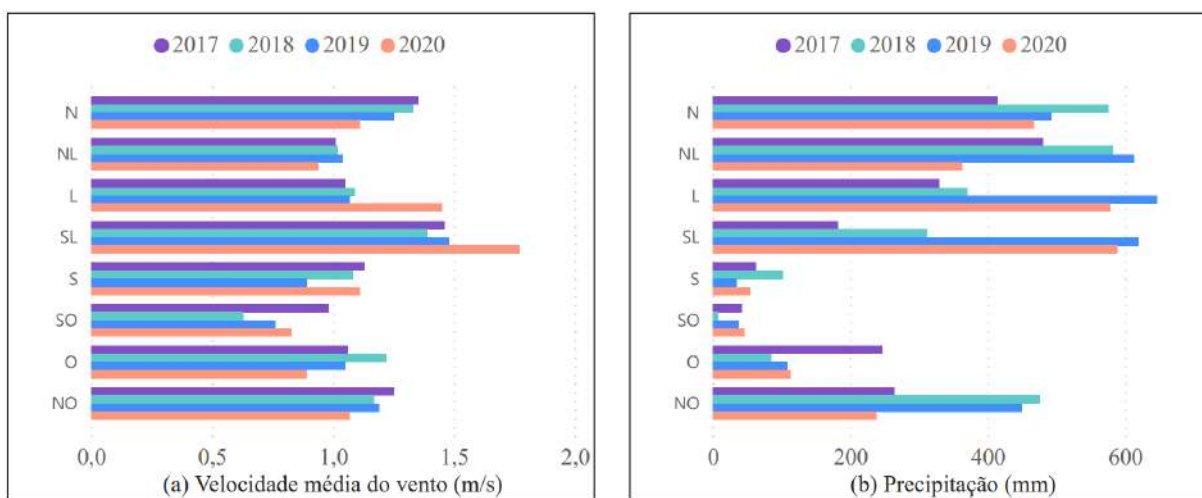


Figura 11. a) Velocidade média do vento entre 2017 e 2020 em cada direção. b) Precipitação pluviométrica entre os anos 2017 e 2020 em cada direção.

Dessa forma, foi possível elaborar um gráfico da frequência de vento em cada direção e, com isso, analisar a associação desse fator com a precipitação pluviométrica. Como resultado, assim como a precipitação de chuva, a frequência de vento foi maior para as regiões que compreendem as coordenadas entre as direções norte e sudeste, como indicado na Figura 12.

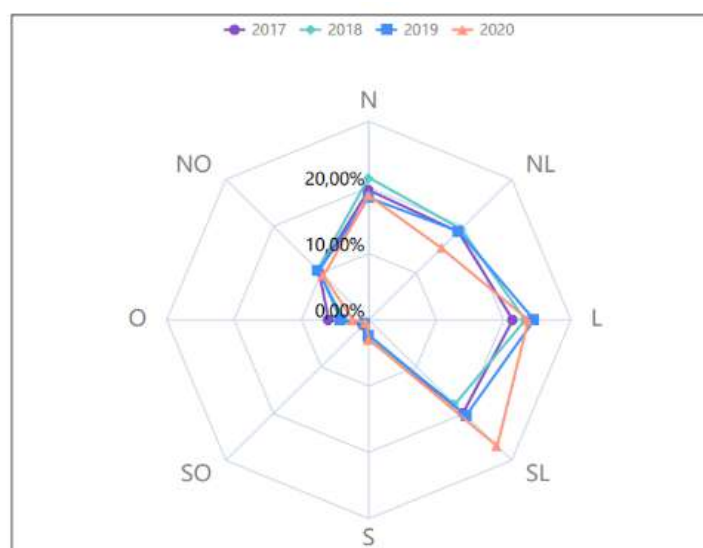


Figura 12. Frequência de vento em cada direção entre 2017 e 2020. Fonte: Autores (2021).

Segundo Van Mook (2002), esse tipo de associação entre vento e precipitação pluviométrica gera o fenômeno conhecido como chuva dirigida, o qual a precipitação carregada pelo vento é direcionada para as fachadas das edificações. Dessa forma, as fachadas que estiverem voltadas para os ventos predominantes estarão mais expostas e receberão uma maior quantidade de chuva. Diante desse efeito, as regiões que estão mais sujeitas a esse tipo de fenômeno desencadeiam uma variedade de manifestações patológicas causadas pela presença de umidade. De acordo com Bertolini (2010), o excesso de umidade nos revestimentos das fachadas favorece a degradação do revestimento por interações do tipo físicas, químicas e/ou biológicas, resultando em ocorrências de fissuras, manchamento, biodeterioração e eflorescência.

Nessa perspectiva, foi possível relacionar a maior ocorrência de manchamentos das fachadas leste e norte com a maior frequência de chuvas direcionadas pelo vento nessas regiões. Além disso, foi verificado que tais ocorrências de manchamentos foram intensificados pela ausência de elementos arquitetônicos que pudessem proteger as fachadas da ação pluviométrica, evitando a proliferação de manifestações patológicas.

4. CONCLUSÃO

Levando em consideração a exposição das fachadas com revestimento em argamassa, geralmente são encontradas manifestações patológicas causadas por agentes de degradação que atingem a integridade física e estética de uma edificação. Tais manifestações são comumente proliferadas pela ação de intempéries, como chuva e vento, e pela ausência de elementos arquitetônicos, que possam auxiliar na atenuação das ocorrências de degradação.

Dessa forma, tem-se como fator importante a realização periódica de inspeções em edificações, para que as manifestações patológicas possam ser identificadas e, com isso, a elaboração de tratamentos corretivos e/ou preventivos. Tais medidas são consideradas fundamentais, visto que por meio da realização das mesmas a edificação pode ter o seu tempo de vida útil prolongado.

Assim, o presente trabalho atingiu o seu objetivo em identificar as principais manifestações patológicas nos revestimentos das fachadas do Prédio de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará, por meio da elaboração de Fichas de Identificação de Danos (FIDs). Tal método foi considerado satisfatório visto que, por meio do mesmo, foi possível ter uma visão global das principais áreas degradadas de cada fachada com a criação de Mapa de Danos (MDs), servindo de base para futuras intervenções corretivas.

Além disso, por meio dos resultados de vento e chuva obtidos, foi possível relacionar tais agentes com as regiões mais degradadas. As fachadas norte e leste, foram as que apresentaram as maiores áreas de manchamento por umidade no prédio. Tal ocorrência deve-se às maiores incidências de chuva dirigida que aconteceram nas mesmas direções, preferencialmente na região compreendida entre as direções norte e sudeste.

Nessa perspectiva, percebe-se que com esta identificação das manifestações patológicas, criação de mapa de danos e análise da ação de intempéries, conseguem-se resultados satisfatórios e consistentes para o levantamento de possíveis diagnósticos e, com isso, intervenção de uma área degradada, objetivando a realização de manutenções que possam dar qualidade à estética e ao sistema de revestimento de uma edificação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). *NBR 10821: Esquadrias para edificações*. Rio de Janeiro.

Baía, L. L. M., Sabbatini, F. H. Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa. 4a Ed. São Paulo: Nome da Rosa, (Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras). 2008, 89 p.

Bertolini, L. Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção. Tradução por Leda Maria Marques Dias Beck. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Costa, M. S. Identificação de Danos em Fachadas de Edificações por meio de Imagens Panorâmicas Geradas por Plataforma Robótica Fotográfica. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-007/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014, 184p.

Gonçalves, A., Brito, J., Branco, F. Reabilitação de paredes de alvenaria revestidas. In: 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção Anais..., Lisboa. 2007.

Gonçalves, E. A. B. Estudo De Patologias E Suas Causas Nas Estruturas De Concreto Armado De Obras De Edificações. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRJ. Rio de Janeiro, 2015

Madureira, S., Flores-Colen, I., Brito, J., Pereira, C. Maintenance planning of facades in current buildings. *Construction and Building Materials*, v. 147, pp 790-802, 2017.

Melo Júnior, C. M., Carasek, H. Índices de chuva dirigida direcional e análise do nível de umedecimento em fachadas de edifício multipavimento em Goiânia, GO. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v 11, n. 3 p. 23-37, Jul./Set. 2011.

Santos, D. G. Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios. 2018. xv, 122 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

Santos Netto, C. J. Análise quantitativa da degradação de fachadas em revestimento cerâmico: estudo de caso em edifícios de Belém- PA. 2018. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2018.

Van Mook, F. J. R. Driving Rain on Building Envelopes 2002. 198 f. Thesis (Ph.D. Thesis) - Technische Universiteit Eindhoven, Netherlands, 2002.

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS PONTES DE CONCRETO ARMADO SOBRE O RIO ARACATIAÇU NO ESTADO DO CEARÁ NO BRASIL

J. C. Sales^{1*}

*email: juscelinochaves@hotmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, Brasil.

RESUMO

As pontes são obras de arte que são construídas em quase 100% de sua totalidade para transpor rio, baías, lagos e vales em todo o mundo. O presente trabalho faz uma análise das manifestações patológicas nas duas pontes sobre o Rio Aracatiaçu no distrito de Patos no município de Sobral onde passa a rodovia federal BR-222. Para realizar este trabalho foram feitas visitas *in loco* às pontes, onde foram diagnosticadas as manifestações patológicas através de uma inspeção visual, sendo também feitos registros fotográficos. Foi possível concluir que as pontes apresentaram manifestações patológicas comprometedoras para suas estruturas de concreto armado. As manifestações patológicas mais encontradas foram a corrosão da armadura (viga e laje (tabuleiro da ponte)), vazios de concretagem (bicheiras no concreto armado), destacamento do cobrimento de pilares, fissuras etc. Foi possível concluir também que a existência das manifestações patológicas nas duas pontes sobre o Rio Aracatiaçu vem aparecendo devido a erro de execução e manutenção irregular das obras de arte ao longo dos anos.

Palavras-chave: pontes, Rio Aracatiaçu, manifestações patológicas, corrosão da armadura, vazios de concretagem.

ABSTRAT

Bridges are works of art that are built in almost 100% of their totality to cross rivers, bays, lakes and valleys around the world. The present work analyzes the pathological manifestations in the two bridges over the Aracatiaçu River in the district of Patos in the municipality of Sobral, where the federal highway BR-222 passes. To carry out this work, on-site visits were made where pathological manifestations were diagnosed through a visual inspection, and photographic records were also made. It was possible to conclude that the bridges presented compromising pathological manifestations for their reinforced concrete structures. The most common pathological manifestations were corrosion of the reinforcement (beam and slab (bridge deck)), concreting voids (reinforced concrete bins), detachment of pillar coverings, cracks, etc. It was also possible to conclude that the existence of pathological manifestations in the two bridges over the Aracatiaçu River has been appearing due to an execution error and irregular maintenance of the works of art over the years.

Keywords: bridges, Aracatiaçu River, pathological manifestations, reinforcement corrosion, concreting voids.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de grande extensão territorial onde existem muitos rios e mais de 60% do transporte é feito através do modal rodoviário, daí vem a necessidade de construir pontes para transpor os rios, como também no Brasil especificamente no Estado do Rio de Janeiro se construiu uma ponte sobre uma baía (água salgada) que foi a ponte Rio-Niterói, que liga a cidade do Rio de Janeiro a cidade de Niterói passando sobre a Baía de Guanabara.

Muitas pontes no Brasil com mais de 50 anos de uso não receberam e nem recebem uma manutenção adequada ao longo de sua vida útil e isso acarreta uma insegurança para quem transita pela obra de arte, pois essas pontes foram dimensionada (calculadas) para receber uma determinada carga, e sabe-se que as carretas vem cada vez mais transportando mais carga (existem carretas bitrem que carregadas chegam a pesar 60 toneladas) aumentando assim a carga sobre a estrutura da ponte que não foi projetada para receber esse aumento de carga sobre ela.

As pontes em concreto armado estão sujeitas às diversas ações que ocasionam o seu envelhecimento e deterioração, comprometendo a sua estrutura e funcionalidade (Mascarenhas, 2019).

A maioria das pontes da malha de rodovias federais brasileiras é de concreto armado e tem idade superior a 30 anos, sendo escassas as informações sobre seus materiais constituintes e suas características mecânicas. Ao longo da vida útil dessas pontes ocorreram alterações de capacidade de carga e geometria dos veículos da frota circulante e alterações dos trens-tipo para o dimensionamento dessas estruturas. Muitas delas apresentam sinais perceptíveis de deterioração, tanto do concreto quanto da armadura, e não se conhece o grau de comprometimento dessas estruturas (Mendes, 2021).

As pontes e viadutos são estruturas de concreto que por estarem localizadas em zonas costeiras e/ou urbanas de grande tráfego de automóveis, são fortemente submetidas aos processos de carbonatação, ataques por sulfatos e cloretos, e solicitações mecânicas que em alguns casos são imprevisíveis, com por exemplo: inundações, explosões e abalos sísmicos. Nesses casos, a combinação desses processos pode acarretar o surgimento de manifestações patológicas, tais como: reação alcali-agregado (RAA), lixiviação, fissuras, corrosão das armaduras (Rubens et al., 2020).

As pontes são estruturas de extrema importância para o desenvolvimento de uma região. Por isso, tem-se a necessidade de um aprofundamento no estudo de seu comportamento mecânico, para buscar soluções mais rápidas, econômicas, duráveis e seguras (Turmina, 2016).

As manifestações patológicas mais encontradas nas duas pontes sobre o Rio Curu foram fissuras, erosão, recalque da fundação do pilar e corrosão da armadura (Sales, 2020).

A segregação no concreto, também conhecida como bicheira ou ninho, ocorre quando acontecem falhas no preenchimento das formas, durante os processos de concretagem, são aqueles vazios que ficam entre os agregados graúdos nas estruturas de concreto (Tecnocil, 2021).

Popularmente conhecidos como bicheiras, os vazios de concretagem são defeitos em pilares, vigas, lajes ou paredes que se manifestam por espaços não preenchidos no concreto. As consequências dessa patologia de estruturas de concreto armado, também chamada de ninhos de concretagem, variam de problemas estéticos que demandam o uso extra de materiais para revestimento, ao comprometimento da capacidade de suporte e da durabilidade da estrutura. Em casos mais severos, essas falhas de concretagem podem levar à segregação do concreto e expor as armaduras, provocando sua corrosão e, em último grau, o colapso da estrutura. Daí a importância de evitar os vazios a qualquer custo (Nakamura, 2021).

Em termos de durabilidade, a excelente resistência do concreto à água e à agressividade ambiental torna-o a solução estrutural geralmente com menor índice, periodicidade ou custo de manutenção em relação a outras, desde que adequadamente projetada ao ambiente de inserção (Bolina, 2019).

Pesquisadores calcularam as aberturas de fissuras (w_k) segundo a norma NBR 6118:2003, para duas seções transversais críticas de uma longarina de uma ponte ferroviária de concreto armado.

As fissuras são patologias muito frequentes em estruturas de concreto armado submetidas a esforços normais de tração devido à baixa resistência do concreto a esse tipo de solicitação. As fissuras provocam a exposição das armaduras levando ao aparecimento de problemas de durabilidade (Barroso, 2013).

Pesquisadores efetuaram uma estimativa probabilística da vida útil de elemento estrutural de uma ponte ferroviária de concreto armado efetuando diversas análises paramétricas, como a variação do cobrimento da armadura, fator água cimento, direções segundo as quais se tem diferentes exposições a umidade e diferentes tipos de cimentos e adições na mistura (Oliveira, 2013).

Azevedo (2017) analisou as manifestações patológicas de uma ponte sobre o Rio Acaraú feita de concreto armado na cidade de Sobral no Estado do Ceará e constatou a existências de várias manifestações patológicas que estão comprometendo a estrutura da ponte.

Pesquisadores encontraram uma patologia química, que consiste na exposição e corrosão das armaduras da viga principal da ponte Governador Magalhães Pinto, em decorrência do cobrimento inadequado, o qual não promoveu a proteção das armaduras (Mascarenhas, 2019).

A porosidade do concreto, a existência de trincas e a deficiência no cobrimento fazem com que a armação seja atingida por elementos agressivos, acarretando, desta maneira, a sua oxidação (Vitório, 2002).

O presente trabalho teve como objetivo analisar as manifestações patológicas nas duas pontes sobre o Rio Aracatiaçu mostrando as principais manifestações patológicas e suas causas, mostrando com maior ênfase o processo corrosivo das amaduras que afeta as pontes feitas em concreto armado.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado através de uma pesquisa de cunho bibliográfico em monografias, livros, artigos etc. Também foram realizadas visitas técnicas in loco as pontes sobre o Rio Aracatiaçu onde foram feitas inspeções visuais para detectar as manifestações patológicas, e foram feitos registros fotográficos. Também foram discutidas as causas das manifestações patológicas existentes nas duas pontes.

3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS PONTES SOBRE O RIO ARACATIAÇU

As duas pontes foram feitas de concreto armado e analisadas, estão localizadas sobre o Rio Aracatiaçu no distrito de Patos no município de Sobral na região norte do Estado do Ceará.

A Figura 1 mostra as duas pontes sobre o Rio Aracatiaçu no distrito de Patos no município de Sobral, onde uma está no antigo trecho da rodovia federal BR-222 e a outra ponte está no novo trecho na BR-222 onde podemos perceber o nome 222 sobre a ponte mais nova. As duas pontes estão a menos de 100m uma da outra.



Figura 1. Duas pontes sobre o Rio Aracatiaçu. Fonte: Google Maps, 2020.

A Figura 2 mostra a ponte velha sobre o Rio Aracatiaçu onde temos três pilares em forma retangular confeccionados na mesma largura da ponte. Na antiga ponte só dar para passar um veículo de cada vez, ou seja não tem a possibilidade de passar dois veículos ao mesmo tempo, pois a ponte é muito estreita e foi usada até a década de 70, época em que foi inaugurada a nova ponte. Durante todo o comprimento da ponte é possível constatar a existencia de manifestações patológicas. A ponte foi construída em concreto armado com aço CA-24 liso (cilíndrico). Foi possível encontrar manifestações patológicas como corrosão de armadura (viga e laje (tabuleiro da ponte)), eflorescência, erosão no bloco de fundação dos pilares que ocorre devido a passagem da água, etc. Também foi possível constatar a existência de outras manifestações patológicas como a eflorescência, mofo etc. Foi possível constatar durante a última visita técnica a passagem de uma Hilux sobre a ponte velha que é um veículo um pouco mais pesado do que um carro de passeio.



Figura 2. Ponte velha em concreto armado sobre o Rio Aracatiaçu onde temos três pilares em forma retangular. Fonte: própria, 2019.

A Figura 3 mostra a ponte nova em concreto armado sobre o Rio Aracatiaçu que tem 86m de comprimento com os seus seis pilares em concreto armado de sustentação em forma cilíndrica onde

existem dois pilares distante cerca de 4m um do outro e ficam paralelos aos outros pares de pilares. Foi possível perceber a existência de eflorescência tanto no tabuleiro da ponte como na viga longitudinal que sustenta o tabuleiro de concreto armado.

Também ocorreu erosão no bloco de fundação dos pilares que são contornados por círculos de concreto armado. As manifestações patológicas ocorreram devido ao constante fluxo de água no leito Rio Aracatiaçu ao longo dos anos, ressaltando que só foi possível perceber a manifestação patológica da erosão, através da inspeção visual porque durante a visita in loco o Rio Aracatiaçu estava praticamente seco.

Sobre a ponte nova em concreto em armado vem ocorrendo um aumento contínuo das cargas sobre a sua estrutura, pois existe um trânsito pesado de veículos que vem aumentando ao longo dos anos como automóveis, caminhões, carretas, ônibus etc., isso ocorre devido a rodovia federal BR-222 ligar Fortaleza a região norte do Estado do Ceará como também a cidade de Teresina no Piauí.



Figura 3. Ponte nova sobre o Rio Aracatiaçu. Fonte: própria, 2019.

A Figura 4 mostra a viga em concreto armado cheia de vazios em uma das vigas da ponte nova. A viga foi concretada de uma maneira incorreta onde podemos ver que a sua base aparece com uma saliência, ou seja, a viga não está totalmente prismática. Os vazios de concretagem colocam em risco o desempenho da viga de concreto armado da ponte, valendo ressaltar que os vazios de concretagem (bicheiras) acarretam problemas de deformações que tem como consequência um futuro rompimento da viga e de toda a ponte, sabendo-se que a viga suporta o tabuleiro da ponte. Essa manifestação patológica ocorreu porque não fizeram um controle tecnológico do concreto, pois ocorreu um erro na hora de fazer concretagem da viga da ponte, que decorre do lançamento e adensamento do concreto, onde também durante o adensamento do concreto não foi feita uma vibração correta.

As falhas na concretagem, ocorreram durante a execução onde foram usadas formas inadequadas e um concreto (baixa qualidade) sem controle tecnológico.

Para recuperar as falhas na concretagem, que geram problemas na estrutura, deve-se preencher as falhas (bicheiras) de concretagem com a uso do adesivo epóxi ou graute.



Figura 4. Viga em concreto armado cheia de vazios de concretagem (bicheiras). Fonte: própria, 2019.

Em um dos pilares cilíndricos de concreto armado da ponte sobre o Rio Aracatiaçu na rodovia federal BR-222 foi possível constatar que o cobrimento está soltando do pilar da ponte nova. Essas fissuras no pilar aconteceram no concreto por causa da umidade e do ciclo térmico. Nesse caso com o destacamento do cobrimento do pilar já está acontecendo a corrosão da armadura do pilar pois a armadura já estar em contato com o oxigênio mesmo sem a armadura estar exposta (visível) (Figura 5). Foi possível perceber que está ocorrendo o esmagamento do pilar de concreto armado cilíndrico.



Figura 5. Destacamento do cobrimento do pilar. Fonte: própria, 2019.

Foi diagnosticado corrosão na armadura que está exposta, na superestrutura da ponte especificamente no tabuleiro da ponte nova em forma bastante acentuada. As armaduras expostas corroídas podem ser vistas na base da viga e na lateral da viga de concreto armado.

Foi possível perceber as avarias em lajes centrais do tabuleiro onde a laje está em avançado estado de deterioração como também da viga transversal. O processo corrosivo que afeta a ponte é mais incisivo porque o cobrimento de concreto que serve de proteção da armadura possui uma espessura

muito estreita e está fora do que é recomendado pela norma técnica da ABNT (Figura 6). Foi possível constatar que tanto a viga e a laje do tabuleiro da ponte feitas em concreto armado possuem uma densa armadura que pode ser vista através da inspeção visual. Deficiências na hora da execução da viga e da laje (tabuleiro) podem ter acarretado uma redução do cobrimento nominal das armaduras de aço. Foi possível perceber a exposição de armaduras, especialmente estribos na face inferior.



Figura 6. Corrosão na armadura na viga transversal e na laje (tabuleiro da ponte nova).
Fonte: própria, 2019.

A estrutura de concreto armado da ponte também sofre carbonatação no concreto devido a liberação dos gases (CO_2) de automóveis, ônibus e carretas que passam sobre a ponte diariamente, pois a rodovia federal BR-222 tem um tráfego intenso. A rodovia federal BR-222 liga a cidade de Fortaleza até o Estado do Pará, passando por cidades de médio e grande porte como Sobral, Teresina etc.

Nas pontes não vem sendo dada a manutenção periódica com se faz necessário pelo DNIT- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, que é um órgão do Governo do Brasil, ligado ao Ministério de Infraestrutura.

As duas pontes analisadas construídas em concreto armado possuem aspectos construtivos diferentes, tendo como exemplo os pilares de sustentação dos tabuleiros das pontes enquanto em uma um é cilíndrico, já na outra o pilar tem a forma retangular.

4. CONCLUSÃO

Foi possível concluir que a existência das manifestações patológicas nas duas pontes sobre o Rio Aracatiaçu vem aparecendo devido a erro de execução e manutenção irregular das obras de arte ao longo dos anos.

As manifestações patológicas mais encontradas foram a corrosão de armadura (viga e laje (tabuleiro da ponte)), vazios de concretagem (bicheiras no concreto armado) decorrentes de erros no processo de concretagem na hora do lançamento e adensamento do concreto, destacamento do cobrimento de pilares, eflorescência, erosão, fissuras, mofo etc.

As duas pontes sobre o Rio Aracatiaçu estando precisando de uma manutenção urgente pois as manifestações patológicas diagnosticadas estão comprometendo a estrutura das pontes.

Foi possível perceber que sobre a ponte velha de concreto armado só está transitando pequenos veículos.

As principais causas para o aumento de manifestações patológicas nas pontes estudadas foram a falta de manutenção, erros de concretagem na ponte nova, o aumento da carbonatação nas estruturas de concreto armado e o aumento da carga sobre a estrutura das pontes.

REFERÊNCIAS

Azevedo, R. I. F. (2017). “*Análise das manifestações patológicas de uma ponte da cidade de Sobral (CE)*”. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil - Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral.

Barroso, T., Veloso, L. (2013). “*Estudo da fissuração em pontes de concreto armado*”. 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Gramado.

Bolina, F. C., Tutikian, B. F., Helene, P. R. L. (2019). “*Patologia das Estruturas*”. Editora Oficina de Textos, São Paulo.

Google Maps. (2020). Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Tamboril+-+CE,+Brasil/@4.9401721,40.279334,3556m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x795de08d8362fad:0x32c552307519c70c!8m2!3d-4.8330598!4d-40.3212889?hl=pt-PT>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

Mascarenhas, F. J. R. *et al* (2019). “*Patologias e inspeção de pontes em concreto armado: Estudo de caso da ponte Governador Magalhães Pinto*”. ENGEVISTA, v. 21, n.2, p.288-302.

Mendes, P. T. C.; Moreira, M. L. T.; Pimenta, P. M. (2012). “*Pontes de concreto armado: efeitos da corrosão e da variação do módulo de elasticidade do concreto*”. Rev. IBRACON Estrut. Mater. 5 (3). <https://doi.org/10.1590/S1983-41952012000300008>.

Nakamura, J. (2021). “*Vazios de concretagem põem em risco desempenho de estruturas de concreto armado*”. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/vazios-de-concretagem-poem-em-risco-desempenho-de-estruturas-de-concreto-armado/14605>>. Acesso em: 21 abr. 2021.

Oliveira, R., Zarzar Junior, F., Bittencourt, T. (2013). “*Estimação probabilística da vida útil de componentes estruturais de pontes submetidas a carbonatação*”. 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Gramado.

Rubens, T. D. M *et al*. (2020). “*Avaliação não-destrutiva dos pilares de ponte da localidade de Peixe Gordo, Tabuleiro do Norte*”. (Org) Marinho, J. L. A; Mesquita, E. F. T. Patologia das edificações - manifestações nas edificações e no patrimônio histórico. 1. ed. São Paulo: Leud. v. 1. p 122-131.

Sales, J. C. (2020). “*Patologias nas pontes sobre o Rio Curu*”. IV Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. p 3660-3667. On line.

Tecnocil. (2021). “*Manifestação patológica: segregação do concreto (bicheira no concreto)*”. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/manifestacao-patologica-segregacao-do-concreto-bicheira-no-concreto/>>. Acesso em: 12 ago. 2021.

Turmina, G. (2016). “*Estudo dos esforços atuantes em uma ponte em concreto armado*”. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR, Pato Branco.

Vitório, J. A. P. (2002). “*Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão*”. Recife, CREA-PE, 140p.

Avaliação do Coeficiente de Difusão de Cloretos como Parâmetro de Durabilidade em Concretos com Diferentes Classes de Resistência Mecânica¹ e sem Adições Minerais

R. C. LOPES¹, A. M. OLIVEIRA^{1*}, O. CASCUDO¹

*Autor de Contacto: andriellimorais@ufg.br

¹ GEDur – Grupo de Estudo em Durabilidade, Laboratório de Inovação Tecnológica em Construção Civil – LABITECC, PPGGECON - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás - UFG, 74.605-220. Praça Universitária, Goiânia – GO, Brasil, clopesrayane@gmail.com, andriellimorais@ufg.br*, ocascudo@ufg.br

RESUMO

Parâmetros de durabilidade podem ser ferramentas úteis e interessantes em uma abordagem baseada na ciência de dados e na modelagem da performance em campo de estruturas em concreto armado. O coeficiente de migração de cloretos em estado não estacionário – D_{nssm} , (coeficiente aparente), obtido pelo método NT Build 492, pode ser um marcador de durabilidade do concreto, ao mesmo tempo em que, é um ensaio de simples execução em laboratório e é uma informação de entrada em modelos matemáticos de predição de vida útil. Assim, é objetivo deste trabalho analisar a sensibilidade do D_{nssm} em concretos sem adições minererais e com a interveniência de três classes de resistência (MPa), a saber C45, C30 e C25, as quais correspondem as relações água/cimento (a/c) 0,40; 0,55 e 0,70, respectivamente. Como resultado esperado, houve correlação ($R^2=0,99$) entre o parâmetro resposta D_{nssm} e a variável relação a/c ou classe de resistência nos níveis estudados. Com a alteração da relação a/c de 0,70 para 0,55 e 0,70 para 0,40, D_{nssm} reduziu em 41% e 61%, respectivamente. Os resultados foram discutidos com base na microestrutura dos concretos, análise estatística e no coeficiente de migração, como um parâmetro de durabilidade.

Palavras chave: Cloretos, migração, classe de resistência, NT Build 492, parâmetro de durabilidade.

ABSTRACT

Durability parameters can be useful and interesting tools in a data science-based approach and in

¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. Rio de Janeiro.

field performance modeling of reinforced concrete structures. The non-steady state chloride migration coefficient - D_{nssm} , (apparent coefficient), obtained by the NT Build 492 method, can be a “marker” of concrete durability, while it is a simple laboratory test and is an input into mathematical models for predicting useful life. Thus, the aim of this work is to analyze the sensitivity of D_{nssm} in concrete without mineral additions and with the intervention of three strength classes (MPa), namely C45, C30 and C25, which correspond to the water/cement ratio (w/c) 0.40; 0.55 and 0.70, respectively. As expected result, there was a correlation ($R^2=0.99$) between the response parameter D_{nssm} and the variable w/c ratio or strength class at the levels studied. By changing the w/c ratio from 0.70 to 0.55 from 0.70 to 0.40, D_{nssm} reduced by 41% and 61%, respectively. The results were discussed based on the microstructure of concrete, statistical analysis and the migration coefficient, as a parameter of durability.

Keywords: Chloride; Migration; Diffusion; NT Build 492; Durability parameter.

RESUMEN

Los parámetros de durabilidad pueden ser herramientas útiles e interesantes en un enfoque basado en la ciencia de datos y en el modelado de rendimiento de campo de estructuras de hormigón armado. El coeficiente de migración de cloruro en estado no estacionario - D_{nssm} , (coeficiente aparente), obtenido por el método NT Build 492, puede ser un marcador de la durabilidad del concreto, mientras que es una prueba de laboratorio simple y es una entrada en modelos matemáticos para predecir la vida útil. Así, el objetivo de este trabajo es analizar la sensibilidad del D_{nssm} en hormigones sin adiciones minerales y con la intervención de tres clases de resistencia (MPa), a saber, C45, C30 y C25, que corresponden a las relaciones agua / cemento (w/c) 0,40; 0,55 y 0,70, respectivamente. Como resultado esperado, hubo una correlación ($R^2 = 0,99$) entre el parámetro de respuesta D_{nssm} y la variable relación a/c o clase de resistencia en los niveles estudiados. Al cambiar la relación a / c de 0,70 a 0,55 de 0,70 a 0,40, el D_{nssm} se redujo en un 41% y un 61%, respectivamente. Los resultados se discutieron con base en la microestructura del hormigón, el análisis estadístico y el coeficiente de migración, como parámetro de durabilidad.

Palabras clave: Cloruros, migración, difusión, NT Build 492; Parámetro de durabilidad.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os problemas relacionados à construção civil, a corrosão das armaduras no concreto tem destaque devido ao grande número de casos, riscos estruturais envolvidos e elevado custo de recuperação e de manutenção (Cascudo, 1997). A Associação Nacional de Engenheiros de Corrosão dos Estados Unidos (National Association of Corrosion Engineers - NACE) estima que os custos globais em decorrência da corrosão, considerando diversos setores como agricultura, indústria e serviços foram de 2,5 trilhões de dólares no ano de 2013. Este número equivale a 3,4% do produto interno bruto (PIB) mundial naquele ano (Koch *et al.*, 2016). Em estudo mais recente na Suíça (Yilmaz and Angst, 2020), os custos anuais diretos de corrosão em pontes rodoviárias foram estimados em 0,08% do PIB do país.

Um dos principais agentes agressivos que ocasionam a corrosão das armaduras em estruturas de concreto é o íon cloro (cloreto), presente em ambientes marinhos. Assim, estudar os mecanismos de transporte de íons agressivos envolvidos e o comportamento da estrutura devido a esse e outros mecanismos de degradação são importantes para uma abordagem baseada no desempenho e para previsão da vida útil. Adicionalmente, nesta abordagem de desempenho, os parâmetros e

marcadores de durabilidade são ferramentas importantes para compreender a durabilidade do concreto (Baroghel-Bouny *et al.*, 2014a, b). A Associação Francesa de Engenharia Civil (*Association Française de Génie Civil - AFGC*) indica que o coeficiente de difusão (aparente ou real) de cloretos é um dos indicadores de durabilidade gerais do concreto (AFGC, 2004).

Dessa forma, um dos ensaios interessantes para indicar a resistência do concreto à penetração de cloretos é o ensaio da NT Build 492 ((NORDEST,1999), por meio da determinação do coeficiente de migração em estado não-estacionário (Noushini *et al.*, 2021). Esse ensaio é baseado principalmente em estudos do pesquisador Tang (Tang and Nilsson, 1993; Tang and Sorensen, 1998) e é de curta duração, sendo inclusive utilizado por algumas normas e códigos como um dos parâmetros de entrada em modelos preditivos de iniciação da corrosão (Marques *et al.*, 2012; *fib* 2006 e DuraCrete 2000).

Este trabalho tem como objetivo analisar as variações do coeficiente de migração de cloretos, a partir do método proposto pela norma NT Build 492 (NORDEST, 1999), em concretos sem adições minerais, observando-se a interveniência da classe de resistência (MPa) (C45, C30 e C25), as quais correspondem as relações água/aglomerante (*a/c*) 0,40; 0,55 e 0,70, respectivamente). Destaca-se que os níveis desta variável foram escolhidos, baseando-se em pesquisas anteriores² e nas classes usuais de concretos, produzidos comercialmente na cidade de Goiânia/GO e utilizados por construtoras em obras de construção civil. Além disso, o nível *a/c* de 0,55 está de acordo com a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014) que prescreve uma relação água/aglomerante menor ou igual a 0,55 para ambientes marinhos (classe de agressividade ambiental III – forte).

A contribuição deste artigo está na possibilidade de o coeficiente de migração em estado não estacionário apresentar-se como um parâmetro de durabilidade do concreto armado, por meio da correlação deste coeficiente com a classe de resistência e a relação água/aglomerante de concretos sem adições minerais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para a produção dos concretos, foram utilizados os seguintes materiais:

- cimento Portland CP-V;
- areia natural quartzosa de leito de rio, como agregado miúdo;
- brita de rocha granítica, como agregado graúdo;
- água e aditivo superplastificante à base de éter policarboxílico modificado.

2.2 Dosagem e caracterização do concreto fresco

A Tabela 1 apresenta o a dosagem e as propriedades no estado fresco dos concretos estudados. Optou-se, nesse trabalho, por estudar concretos sem adições minerais.

Tabela 1. Dosagem dos concretos estudados e suas características no estado fresco.

					Abatimento			Resistência à compressão
--	--	--	--	--	------------	--	--	--------------------------

² Pesquisas do GeDur (Grupo de Estudos em Durabilidade) do PPG-GECON/UFG entre os anos de 2001 e 2019 (em destaque: Carasek, Cascudo, 2001; Castro, 2003; Oliveira, 2007; Oliveira e Cascudo,2018; Oliveira, 2019, dentre outros estudos do grupo).

Tipo de concreto	Rel. a/c	Traço em massa de cimento (c: a: b)	Consumo de cimento (kg/m ³)	Teor de Aditivo (%)	(mm)	Teor de ar (%)	ρ_c^* (kg/m ³)	Valor médio (MPa)	CV*	Classe de resistência ³
C 45	0,40	1: 1,78: 2,10	440	0,44	150	2,7	2113	43,9	3,0	C 45
C 30	0,55	1: 2,57: 2,81	330	0,35	155	3,3	2138	30,3	5,0	C 30
C 25	0,70	1: 3,49: 3,67	262	0,70	145	2,9	2088	24,2	4,0	C 25

* Massa específica do concreto no estado fresco

Foram moldados corpos de prova cilindros (diâmetro 10 cm e altura 20 cm) com repetição de 3 amostras para cada condição de estudo. Quanto ao procedimento de cura, após a moldagem e durante as primeiras 48 horas, os corpos de prova (CPs) foram mantidos nas fôrmas metálicas no ambiente de laboratório e cobertos com camadas de filme plástico. Após esse período, os CPs foram desmoldados, identificados e mantidos em cura submersa (água saturada com cal) até a data de 28 dias de idade. Nesta data, foram realizados os ensaios de migração de cloretos pelo método NT BUILD 492 (NORDTEST, 1999).

2.3 Ensaio de migração de cloretos

A Figura 1 apresenta de forma esquemática as 5 etapas do ensaio de migração de cloretos pela norma NT Build 492 (NORDTEST, 1999).

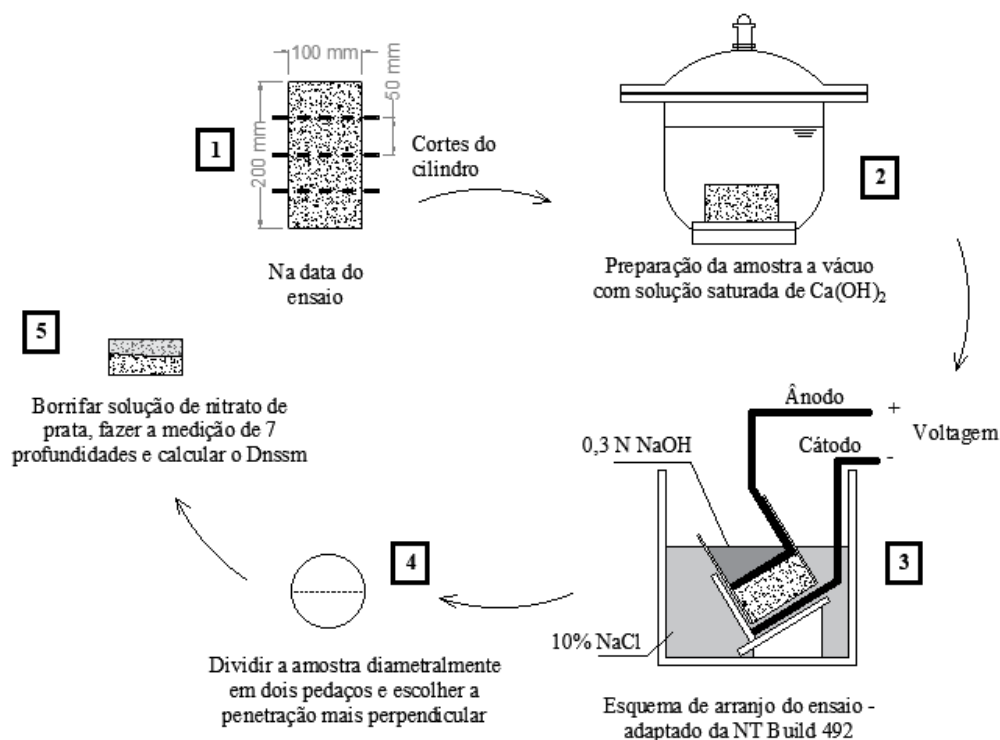


Figura 1. Desenho esquemático das etapas (1 a 5) do ensaio NT Build 492 (NORDTEST, 1999).

³ ABNT NBR 8953:2015 – Concreto para fins estruturais.

Os testes foram realizados com CPs de dimensões nominais de 100 mm de diâmetro e 50 ± 2 mm de espessura, extraídos das amostras cilíndricas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Os CPs foram colocados em vácuo por três horas (Figura 2a), seguido de saturação por 19 ± 2 horas em solução saturada de hidróxido de cálcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$. Na configuração experimental do ensaio, cada CP foi envolvido por luva de borracha e abraçadeira. Também foram vedados com silicone acético para impedir a passagem da solução. A Figura 2b apresenta a configuração experimental do ensaio.



Figura 2. Ensaio NT Build 492 (1999): (a) amostras em vácuo no dessecador e (b) configuração geral experimental do ensaio com corpos de prova, multímetros e fonte elétrica.

Em resumo, este ensaio de migração consiste na aplicação de voltagem, ajustada conforme leitura inicial da corrente, para fazer os cloretos migrarem da solução do cátodo (12 litros de solução 10% em massa de NaCl) rica em cloretos para a solução do ânodo (300 ml de solução 0,3 M – 0,3 mol/L, aproximadamente 12 g/l de NaOH).

Ao fim dos ensaios, os CPs foram divididos em duas partes para medida da profundidade de penetração de cloretos (mm), por meio da aspersão de solução a 0,1 M de nitrato de prata (AgNO_3). Todos os reagentes químicos utilizados tiveram uma mesma procedência e foram PA (para análise). Para cada amostra testada, foram realizadas sete medidas da profundidade de penetração.

O coeficiente de difusão em estado não estacionário - D_{nssm} (ou coeficiente de difusão aparente) foi calculado a partir da profundidade de penetração de cloretos (mm), das três amostras ensaiadas simultaneamente, do mesmo tipo e idade de concreto, pela Equação (1) simplificada.

$$D_{\text{nssm}} = \frac{0,0239 (273+T)L}{(U-2)t} \left(x_d - 0,0238 \sqrt{\frac{(273+T)L x_d}{U-2}} \right) \quad (1)$$

Em que:

D_{nssm} = coeficiente de migração em estado não estacionário [$\times 10^{-12}$ m²/s];

U = valor absoluto da voltagem aplicada [V];

T = média das temperaturas inicial e final da solução anódica [°C];

L = espessura da amostra [mm], média obtida de três medidas;

x_d = valor médio da profundidade de penetração [mm], obtido de sete medidas e

t = tempo de duração do ensaio [horas]

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de migração de cloretos dos concretos estudados.

Tabela 2. Resultados do ensaio NT Build 492 (NORDTEST, 1999) aos 28 dias de idade.

Tipo de concreto		Penetração média de cloretos		Coeficiente de difusão em estado não estacionário - D_{nssm}	
Classe de resistência	Relação a/c	Valor médio (mm)	CV* (%)	Valor médio ($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	CV* (%)
C45	0,40	23,40	4,0	10,88	4,0
C30	0,55	29,11	3,0	16,60	3,0
C25	0,70	48,28	2,0	27,94	3,0

*CV (%) é o coeficiente de variação dos resultados obtidos.

Da Tabela 2 é possível observar, como esperado e como resultado geral, que à medida que se aumenta a classe de resistência (e a relação a/c reduz), D_{nssm} médio é reduzido. Dessa forma, com a redução da relação a/c de 0,70 para 0,55, houve uma redução de 41% no coeficiente de migração e de 0,70 para 0,40, uma diminuição de 61% com incremento nas classes de resistência de C25 para C30 e C25 para C45, respectivamente. Cabe ressaltar que em alguns pontos da medição do concreto de relação a/c 0,70, a frente de migração de cloretos atingiu toda a espessura da amostra. Neste caso, a leitura de penetração de cloretos foi admitida como a própria espessura e apresentou o maior valor dentre os concretos estudados.

Salienta-se que os valores obtidos de D_{nssm} foram próximos de alguns dados da literatura. Hasholt and Jensen (2015) obtiveram um coeficiente de migração de aproximadamente $10 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ para concreto sem adições minerais e relação a/c 0,40. Outros autores, Liu *et al.* (2011) apresentaram ao resultado de $8,8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ para uma relação a/c 0,38 e $19,1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ para uma relação a/c 0,54. Adicionalmente, Ismail *et al.* (2013) exibiram D_{nssm} no valor de $18,6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ para um concreto com relação a/c 0,52. Outros autores (Luping, Nilsson and Bashee, 2012) relatam média de resultados de comparação inter laboratorial (6 laboratórios) pelo método da NT BUILD 492 para concretos classe C45 sem adições minerais de $18,6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ com repetibilidade média de 7,5% de coeficiente de variação e de reprodutibilidade média de 16,2%.

A Figura 3 exibe gráficos de correlação entre a relação a/c e o D_{nssm} e penetração de cloretos nos concretos estudados.

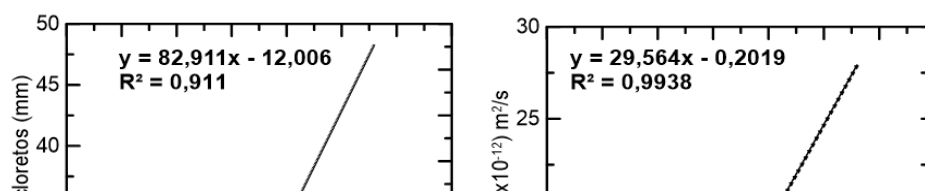


Figura 3. Correlação entre relação a/c versus (a) penetração de cloretos (mm) e (b) D_{nssm} médio ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$).

A Figura 3 ilustra a boa correlação e interação entre a variável (relação a/c) e a propriedade (D_{nssm}) e a relação a/c e a penetração de cloretos nas amostras de concreto nos níveis das variáveis estudadas. O D_{nssm} apresentou-se um parâmetro sensível para as diferenças microestruturais nos concretos em termos de porosidade e mecanismos de transporte. Esse comportamento já era esperado e concorda com a literatura de que altas relações a/c (e menores classes de resistências mecânicas - C25), comparativamente a relações a/c mais baixas, propiciam concretos com maior porosidade e permeabilidade, permitindo mais facilmente a entrada de cloretos. Com a entrada de cloretos facilitada, ocorre ruptura da película passivadora que protege o aço e a corrosão inicia-se. Isso na prática, se reflete em potenciais de corrosão das armaduras mais eletronegativos, redução das resistividades elétricas do concreto, redução dos valores de resistência de polarização do aço e aumento das taxas de corrosão (OLIVEIRA; CASCUDO, 2018).

Os valores de D_{nssm} foram condicionados, testados em relação ao espúrios (teste de Dixon ASTM 178-08) e submetidos à análise de variâncias (ANOVA *one-way*). A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para um nível de confiança de 95%.

Tabela 3. Resultados da análise de variância (ANOVA) realizada com dados de D_{nss} ,

Efeito	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	$F_{\text{calculado}}$	P-Valor	Resultado
Modelo	3071,10	1	3071,10	8187,90	0,0000	Significativo
Relação a/c	452,05	2	226,03	602,63	0,0000	Significativo
Erro	2,25	6	0,38			
Total	454,30	8	-	-	-	--
$R^2_{\text{mod}} = 0,99$ (coeficiente de determinação do modelo) $R_{\text{mod}} = 1,00$ (coeficiente de correlação do modelo)						

A Tabela 3 apresentou que o modelo fatorial é significativo, uma vez que o valor- P^4 é menor que α (0,05). Ao mesmo tempo, o valor resultante de R^2_{mod} foi de 0,99, o que significa dizer que 99% da variação total dos dados estudados é explicada pelo modelo obtido. Há claramente uma relação entre a variável quantitativa (a/c) e a propriedade avaliada (D_{nssm}). A Tabela 3 também indicou

⁴ Se o p-valor ou valor-P é menor que o nível de significância ($\alpha=0,05$), rejeitamos a hipótese nula de que todos os concretos nos níveis de relação a/c adotados são iguais.

diferenças entre os D_{nssm} dos concretos nas relações a/c estudadas a um nível de confiança de 95% e, por isso, realizou-se uma comparação múltiplas de médias pelo método de Duncan. O resultado é apresentado na Figura 4.

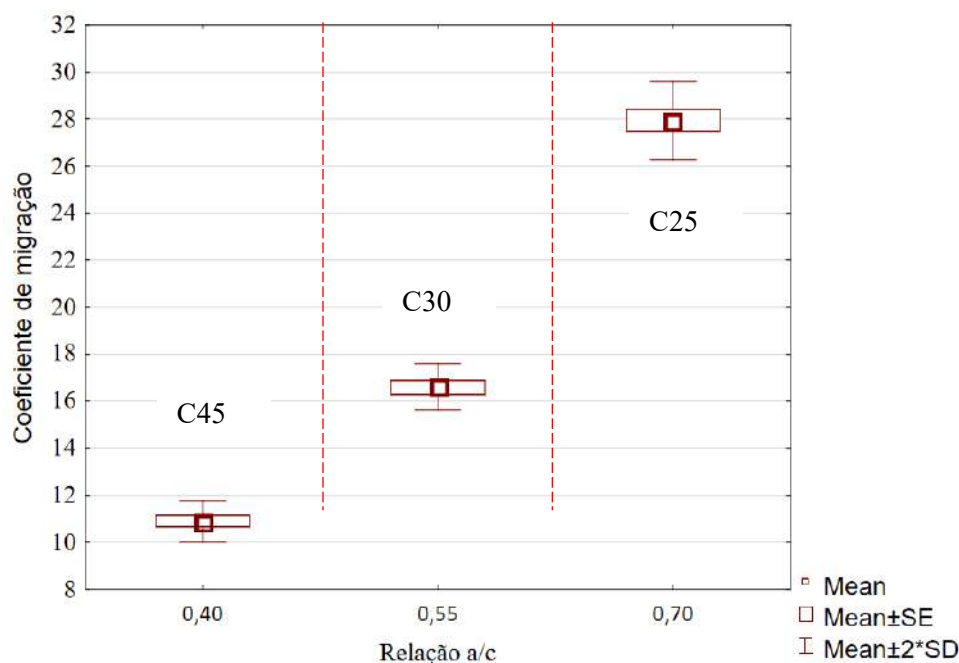


Figura 4. Valores médios de globais de D_{nssm} ($\times 10^{-12}$ m²/s) dos concretos estudados por relação a/c com seus intervalos de confiança de 95% e seus desvios padrões. A linha tracejada vertical define os grupos (1-3) que diferem significativamente.

A Figura 4 indica o resultado da comparação múltiplas de médias, o qual resultou em 3 grupos estatísticos distintos (as linhas tracejadas verticais definem os grupos que diferem significativamente entre si), isto é, os concretos nos níveis de relações a/c estudadas (0,40; 0,55 e 0,70) são estatistamente diferentes. Além disso, cabe o comentário que a análise estatística validou e expressou diferenças que já observamos sob o ponto de vista técnico, prático e microscópico destes concretos. Além disso, financeiramente e sob a óptica de engenharia tecnológica, os concretos estudados também são diferentes.

Por fim, cabe destacar que menores valores de D_{nssm} , expressos nas menores relações a/c e maiores classes de resistência denotam maior durabilidade às estruturas de concreto armado e maior vida útil, mesmo em ambientes agressivos, sobretudo contendo cloretos. Paralelamente, concretos duráveis apresentam taxas mais baixas de corrosão de armaduras, valores de potenciais de corrosão mais eletropositivos e maiores resistências de polarização do aço (Oliveira e Cascudo, 2018).

4. CONCLUSÃO

Por meio dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- a resistência do concreto à penetração de cloretos teve boa correspondência com a relação a/c ($R^2=0,99$);
- a medida que a relação a/c reduziu de 0,70 para 0,40 e, ao contrário a classe de resistência aumentou de C25 para C45, o D_{nssm} médio reduziu, como consequência das alterações

- microscópicas na matriz hidratada em termos de porosidade e zonas de interface agregado matriz. Isto também se reflete em termos de mecanismos de transportes na matriz hidratada;
- concretos de relação a/c 0,70; 0,55 e 0,40 com respectivas classes de resistência C25, C30 e C45 apresentaram D_{nssm} médio de $27,94 \times 10^{-12}$; $16,60 \times 10^{-12}$ e $10,88 \times 10^{-12}$ m²/s nesta ordem com coeficiente de variação máximo de 4% entre os resultados para cada condição de estudo.
 - a alteração da relação a/c de 0,70 para 0,55 e de 0,70 para 0,40, reduziu D_{nssm} médio em 41% e 61%;
 - a análise estatística evidenciou a formação de 3 grupos estatísticos distintos por relação a/c estudada.
 - o coeficiente de migração apresentou-se ser um parâmetro sensível e com validade em termos de durabilidade do concreto armado, sobretudo em estruturas situadas em ambientes contendo cloretos.

5. AGRADECIMENTO

Este trabalho faz parte do projeto de P&D 0394-1504-2015, regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, desenvolvido pela Eletrobras FURNAS e FUNAPE/UFG/EECA/LABITECC.

6. REFERÊNCIAS

AFGC. Association Francaise de Genie Civil. (2014). *Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages*. Documents scientifiques et techniques.

American Society For Testing of Materials. *ASTM E178-08*, Standard Practice for Dealing With Outlying Observations, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008, www.astm.org.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2002). *NBR NM 47: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). *NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.

Baroghel-Bouny, V., Capra, B., Laurens, S. (2014a), “*A durabilidade das armaduras e do concreto de cobrimento*”. In: Olliver, J.-P.; Vichot, A. (Ed) *Durabilidade do Concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo como ambiente*. Tradução: Cascudo, O., Carasek, H. IBRACON, São Paulo, p. 255-326.

Baroghel-Bouny, V., Cussigh, F., Rougeau, P. (2014b), “*Durabilidade dos concretos a partir da abordagem do desempenho*”. In: Olliver, J.-P.; Vichot, A. (Ed) *Durabilidade do Concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo como ambiente*. Tradução: Cascudo, O., Carasek, H. IBRACON, São Paulo, p 237-254.

- Carasek, H.; Cascudo, O. (2001). *Projeto integrado: características do concreto de cobertura e o seu papel na durabilidade das estruturas de concreto armado*, Goiânia (projeto de pesquisa).
- Cascudo, O. (1997), “*O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas*”. Pini, 1. ed., São Paulo, p. 237.
- Castro, A. (2003), “*Influência das adições minerais na durabilidade do concreto sujeito à carbonatação*”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Goiás, p. 215.
- DuraCrete (2000). “*DuraCrete Final Technical Report, General Guide-lines for Durability Design and Redesign*”, Document BE95-1347/R17, The European Union -Brite EuRam III, Netherlands.
- fib (2006) International Federation for Structural Concrete: *fib Model Code for Service Life Design. Bulletin No 34.*, Lausanne, Switzerland.
- Hasholt, M. T., Jensen, O. M. (2015), “Chloride migration in concrete with superabsorbent polymers”. *Cement and Concrete Composites*, 55: 290-297. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.09.023>
- Ismail, I., Bernal, S. A., Provis, J. L., San Nicolas, R., Brice, D. G., Kilcullen, A. R., . Van Deventer, J. S. J. (2013). Influence of fly ash on the water and chloride permeability of alkali-activated slag mortars and concretes. *Construction and Building Materials*, 48: 1187-1201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.106>
- Koch, G., Varney, J., Thompson, N., Moghissi, O., Gould, M., Payer, J. (2016), *International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study*. National Association of Corrosion Engineers - NACE International, p. 216.
- Liu, X., Chia, K. S., Zhang, M. H. (2011), Water absorption, permeability, and resistance to chloride-ion penetration of lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 25(1): 335-343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.020>
- Luping, T., Nilsson, L.-O., Bashee, M.P.A. (2012), “*Resistance of Concrete to Chloride Ingress Resistance of Concrete to Chloride Ingress Testing and Modelling*”. RC Press Taylor & Francis International, London. Standard Book Number-13: 978-0-203-88241-2 (eBook - PDF)
- Marques, P. F., Costa, A., Lanata, F. (2012), Service life of RC structures: chloride induced corrosion: prescriptive versus performance-based methodologies. *Materials and Structures*, 45: 277–296. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-011-9765-2>
- NORDTEST. (1999), N.T. Build 492: Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. Finland.
- Noushini, A., Nguyen, Q. D., Castel, A. (2021), Assessing alkali-activated concrete performance in chloride environments using NT Build 492. *Materials and Structures*, 54 (2): 1-15, 2021, <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01652-7>

Oliveira, A. M. (2007), “*Avaliação do desempenho de concretos com adições minerais quanto à corrosão das armaduras induzida por cloretos*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Goiás, p. 255.

Oliveira, A. P. (2019), “*Estudo de matrizes cimentícias ternárias contendo sílica ativa e nanossílica*”. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal de Goiás, p. 145.

Oliveira, A. M., Cascudo, O. (2018), Effect of mineral additions incorporated in concrete on thermodynamic and kinetic parameters of chloride-induced reinforcement corrosion. *Construction and Building Materials*, 192: 467 - 477. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.100>

Tang, L., Sørensen, H. E. (1998), *Evaluation of the Rapid Test Methods for Chloride Diffusion Coefficient of Concrete, NORDTEST Project No. 1388-98*, SP Report 1998:42, SP Swedish National Testing and Research Institute, Sweden.

Tang, L., Nilsson, L.-O. (1993), Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electric field. *Materials Journal*, 89 (1): 49-53.

Yilmaz, D., Angst, U. (2020). Custos relacionados à corrosão de estruturas de engenharia civil na rede rodoviária suíça (artigo em alemão). *Beton-und Stahlbetonbau*, 115 (6): 448-458.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ (UECE)

J. C. Sales^{1*}

*email: juscelinochaves@hotmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, Brasil.

RESUMO

A edificações pertencentes ao poder público tanto no Estado do Ceará como em todo o Brasil necessitam de uma melhor e mais eficiente manutenção preventiva. Na literatura existem vários artigos que falam sobre a grande quantidade de manifestações patológicas existentes em edifícios públicos. O presente trabalho teve como objetivo principal fazer um estudo das manifestações patológicas existentes no Campus do Itaperi pertencente a Universidade Estadual do Ceará localizado na cidade de Fortaleza no estado do Ceará. A metodologia usada foi uma pesquisa de cunho bibliográfico como também foram realizadas visitas *in loco* e feitos registros fotográficos das edificações da universidade detectando as manifestações patológicas existentes. Foi possível concluir que as edificações do Campus do Itaperi da UECE apresentam uma série de manifestações patológicas necessitando de manutenção. As principais manifestações patológicas encontradas foram o bolor, umidade, corrosão da armadura, fissuras, trincas, destacamento de pintura, envelhecimento de telhas cerâmicas etc.

Palavras-chave: manifestações patológicas, corrosão da armadura, Campus do Itaperi.

ABSTRAT

Buildings belonging to the public power both in the State of Ceará and throughout Brazil need better and more efficient preventive maintenance. In the literature there are several articles that talk about the large number of pathological manifestations existing in public buildings. The present work had as main objective to make a study of the pathological manifestations existing in the Campus of Itaperi belonging to the State University of Ceará located in the city of Fortaleza in the state of Ceará. The methodology used was a bibliographic research, as well as on-site visits and photographic records of the university buildings were made, detecting the existing pathological manifestations. It was possible to conclude that the buildings on the UECE Itaperi Campus present a series of pathological manifestations in need of maintenance. The main pathological manifestations found were mold, moisture, corrosion of the armor, cracks, cracks, paint detachment, aging of ceramic tiles, etc.

Keywords: pathological manifestations, armor corrosion, Itaperi Campus.

1.INTRODUÇÃO

As patologias na construção civil podem ocorrer por diversos motivos, sendo as principais causas a falta de projeto, falha na execução, uso de materiais de baixa qualidade, mão de obra sem qualificação e falta de acompanhamento da obra (Carvalho, 2020).

O estudo da patologia na engenharia civil é de suma importância, uma vez que é a garantia de não haver problemas futuros, adquirindo a melhoria da habitabilidade e na durabilidade do empreendimento construído, demonstrando as possíveis intervenções, a fim de solucionar os eventuais problemas patológicos (Andrade, 2020).

O descolamento de revestimento (pintura) normalmente ocorre como consequência de outras patologias, como infiltração e eflorescência. O descolamento de revestimento pode ocorrer em função de erros cometidos durante a pintura, como pintar sobre argamassa ainda fresca ou superfície suja (Carvalho, 2020).

Com o incremento da aplicação do concreto armado sobre diversos ambientes e/ou solicitações mecânicas, observou-se que, em certos momentos e sob certas condições específicas, alguns dos componentes que constituem o concreto armado passaram a apresentar mecanismos de deterioração típicos, promovendo uma redução parcial ou total de funcionalidade das peças e acarretando custos de reparo ou manutenção (Bolina, 2019).

Nas edificações faz-se necessário a utilização de materiais que tenham durabilidade, ou seja, sejam menos susceptíveis as manifestações patológicas e de baixo custo. Dentre esses materiais podemos citar os materiais cerâmicos. Foi possível perceber que mesmo com tantos anos de uso os tijolos cerâmicos expostos a vista, não degradaram tanto (Sales, 2021).

O Campus Ciro Gomes, da Universidade Estadual do Ceará, apresentou diversas manifestações: fissuras, trincas e rachaduras, perdas de revestimentos e deslocamento de peças de concreto, exposição de armaduras, mofo, infiltrações, cupins, oxidação, problemas hidráulicos e elétricos. Os problemas mais recorrentes foram fissuras, trincas ou rachaduras em paredes (Sousa, 2020).

As manifestações patológicas se dão nas construções, apesar da denominação de imóveis, “trabalharem” durante toda sua vida útil. As edificações apresentam resultados que dependem dos materiais aplicados para sua concepção, das condições ambientais ao qual estão expostas, a técnica construtiva aplicada e fatores externos de uso. Portanto, mesmo com poucos anos de idade, todas as construções precisam estar sujeitas a inspeções prediais, e, caso necessário, a obras de manutenção (Silveira, 2021).

A incidência de manifestações patológicas nas edificações devido a umidade no Campus CIDAO pertencente a Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) (Martins, 2017), ocorre devido as edificações estarem localizadas próximas à margem de uma lagoa.

O presente trabalho tem como objetivo principal fazer um estudo das manifestações patológicas existentes no Campus do Itaperi pertencente a Universidade Estadual do Ceará localizado na cidade de Fortaleza no Estado do Ceará.

2.METODOLOGIA

A metodologia usada foi uma pesquisa de cunho bibliográfico como também foram realizadas visitas *in loco* e foram feitos registros fotográficos das edificações da universidade para detectar as manifestações patológicas existentes. Também foi feito o acompanhamento da manutenção (reparo) do edifício da vacaria da Universidade Estadual do Ceará.

3.MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CAMPUS DO ITAPERI

O Campus do Itaperi pertencente a Universidade Estadual do Ceará- UECE e está localizado na cidade de Fortaleza no Estado do Ceará no Brasil.

O Campus do Itaperi era uma antiga fazenda que é cortado por dois riachos, onde com o barramento de um desses riachos foi construído um açude e algumas das edificações foram construídas próximas às margens desse recurso hídrico. A Figura 1 mostra um dos corredores da UECE construídos com estrutura de concreto armado e coberta de telhas fabricadas na indústria de cerâmica vermelha. O corredor apresentou poucas manifestações patológicas, porém foi encontrado cupim e descascamento da tinta dos parapeitos fixados no solo.



Figura 1. Corredor da UECE construído com estrutura de concreto armado com poucas manifestações patológicas. Fonte: própria, 2021.

No Campus do Itaperi foi possível perceber vários pontos de corrosão da armadura. Na Figura 2 a armadura de uma viga de concreto armado está exposta com corrosão. Também foi possível perceber a existência de eflorescência na viga lateral. Vale ressaltar que também na laje de concreto armado foi detectado corrosão na armadura e eflorescência.



Figura 2. Armadura de uma viga exposta e corroída como também a eflorescência. Fonte: própria, 2021.

A Figura 3 mostra uma grande quantidade da manifestação patológica chamada de bolor, onde foi possível perceber duas faixas de cerca de 2m por 30cm de bolor (cor preta). Também foi possível perceber a existência de manchas amarelas ao longo da fachada de concreto do primeiro pavimento, como também foi possível encontrar a manifestação patológica da corrosão por pites no corrimão do primeiro andar. O corrimão é feito de aço e foi pintado de azul.



Figura 3. Grande quantidade da manifestação patológica chamada de bolor. Fonte: própria, 2021.

A Figura 4 mostra a corrosão na armadura de um pilar em um dos blocos de sala de aula como também o destacamento da pintura de cor branca. Foi possível detectar também uma fissura no pilar localizado a esquerda, que gerou uma trinca e acarretou a retirada do cobrimento da armadura. Outra manifestação patológica encontrada foi o bolor.



Figura 4. Corrosão na armadura de um pilar. Fonte: própria, 2021.

Existem blocos de salas de aula que ficam próximos da margem de um açude, onde isso acarreta o aumento da umidade nas edificações. A Figura 5 mostra a parede com umidade em um dos blocos, onde foi possível perceber a cor verde da manifestação patológica.



Figura 5. Parede com umidade em um dos blocos. Fonte: própria, 2021.

Os corredores do Campus do Itaperi são cobertos com telhas de cerâmica vermelha que já apresentam envelhecimento (cor escura). Dentre as manifestações patológicas encontradas nas paredes foram as fissuras, como pode ser visto na Figura 6. Devido a existência das fissuras vem ocorrendo o deslocamento do reboco.



Figura 6. Fissuras com o deslocamento do reboco. Fonte: própria, 2021.

Quando fizeram o projeto estrutural das edificações (blocos de salas de aula) houve um erro em um dos blocos. Nesse bloco não tinha uma escada projetada no final do corredor, e existia um acesso através de uma escada no inicial do corredor. Sem a escada para ter acesso ao primeiro andar, o engenheiro da obra resolveu colocar uma escada helicoidal de aço para a inauguração da edificação. Pouco tempo depois da inauguração foi retirada a escada de aço helicoidal e adaptaram ao projeto inicial uma escada com laje de concreto. A laje do piso da escada cedeu, ou seja, a laje selou. Hoje a laje apresenta alto grau da corrosão da armadura e isso ocorreu devido a retirada do cobrimento que caiu no momento que a laje encurvou e hoje a escada está interditada (Figura 7). Também foi possível perceber destacamento da argamassa na estrutura de concreto armado, onde também foram feitas algumas manutenções. Em um pilar do lado esquerdo foi encontrada a armadura exposta e com acelerado processo de corrosão.



Figura 7. Alto grau da corrosão da armadura. Fonte: própria, 2021.

Na Figura 8 foi possível perceber na edificação que constitui a vacaria da UECE que os pilares apresentavam manifestações patológicas em alto grau, como o destacamento do reboco e mofo nos pilares, como também em divisórias de paredes (corredor interno) como pouco mais de um metro de altura dos pilares. Os pilares foram construídos em alvenaria estrutural com tijolos brancos maciços, que devido ao destacamento ficaram expostos à vista. A exposição dos tijolos a vista acarretou também a deterioração deles.

Quando os produtos cerâmicos ficam expostos eles sofrem degradação, valendo ressaltar que a edificação foi construída a mais de 50 anos atrás.



Figura 8. Pilares apresentando manifestações patológicas em alto grau, como o destacamento do reboco e mofo. Fonte: própria, 2021.

Foi feita recentemente um reparo (manutenção) na vacaria (Figura 8) para a retirada das manifestações patológicas da edificação que compõem a vacaria da UECE. Foi possível perceber a colocação de um novo reboco onde ocorreu o destacamento da argamassa, como também o tratamento do bolor, e posteriormente foi feita uma pintura em todos os pilares. A última manutenção ocorreu a mais de 30 anos atrás e só vieram a fazer uma nova manutenção a cerca de seis meses atrás e hoje já está apresentando novas manifestações patológicas como o destacamento da pintura (Figura 9). A edificação onde ficam as vacas leiteiras foi pintada de branco (supercal). Como o branco suja muito e por ser uma vacaria (local que suja muito), a edificação (vacaria) não

era para ser pintada de cor branca. A antiga cor da tinta que a edificação foi pintada era amarela (Figura 9). O reboco dos pilares e das paredes (1m de altura) tem mais de 50 anos e foi feito com areia vermelha e cal.



Figura 9. Colocação de um novo reboco e novas manifestações patológicas apareceram, como o destacamento da pintura. Fonte: própria, 2021.

A Figura 10 mostra uma laje altamente comprometida pela corrosão da armadura escorada por escoras metálicas, localizada em uma área de grande movimento de estudantes. Também foi possível perceber a umidade na base dos pilares e bolor em uma das vigas. A estrutura de concreto armado está precisando de um reparo urgente, pois está cada vez mais comprometida.



Figura 10. Laje altamente comprometida pela corrosão da armadura. Fonte: própria, 2021.

4.CONCLUSÃO

Foi possível concluir que as edificações da Universidade Estadual do Ceará (UECE)- Campus do Itaperi apresentam uma série de manifestações patológicas que necessitam de manutenção, valendo ressaltar que algumas dessas manifestações patológicas já estão comprometendo as estruturas.

Dentre as manifestações patológicas encontradas foi possível perceber a existência de bolor, umidade, corrosão da armadura, fissuras, trincas, destacamento de pintura, envelhecimento de telhas cerâmicas etc.

A não existência de manutenção preventiva pode estar diretamente relacionada ao nível de degradação, ou seja, as manifestações patológicas que foram encontradas nas edificações.

A manifestação patológica encontrada com maior frequência no Campus do Itaperi da UECE foi a corrosão da armadura.

REFERÊNCIAS

Andrade, P. R. S.; Silva, L. B.; Sotero, C. S. (2020). “*Estudo de patologias em uma residência térrea*”. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. ano 05, ed. 10, vol. 17, pp. 158-172. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/residencia-terrea>>. Acesso em: 07 mai. 2021.

Bolina, F. C.; Tutikian, B. F.; Helene, P. R. L. (2019). “*Patologia das Estruturas*”. Editora Oficina de Textos, São Paulo.

Carvalho, M. (2020). “*Patologias na Construção Civil – Tipos e Causas*”. Disponível em: <<https://carluc.com.br/manutencao-predial/patologias-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 07 mai. 2021.

Martins, D. M. M. (2017). “*Incidência de patologias nas edificações devido a umidade - estudo de caso no campus CIDAO/UVA*”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Vale do Acaraú.

Sales, J. C. (2021). “*Manifestações Patológicas nos Produtos Cerâmicos Utilizados nas Obras de Construção Civil*”. In: Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções. p. 1307.

Silveira, F. F. F. (2021). “*Patologia na construção civil: um estudo de caso das principais manifestações patológicas em prédios públicos do município de Cruz-Ce*”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral.

Sousa, T.; Sales, J. (2020). “*Estudo das manifestações patológicas em instituições públicas de ensino: o caso da Universidade Estadual do Ceará, Campus Ciro Gomes, em Itapipoca-CE*”. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. p. 2741.

Levantamento de manifestações patológicas da Catedral Paróquia Nossa Senhora da Penha

I. Feitosa^{1*}, J. Bezerra^{2*}, L. Rodrigues^{3*}, N. Rodrigues^{4*}

*Ivna Feitosa Alencar: ivna.feitosa@aluno.ufca.edu.br

*José Eduardo Bezerra de Sousa: jose.eduardo@aluno.ufca.edu.br

*Lidice Maria Rodrigues Siebra: lidicesiebra.ec@gmail.com

* Nelson Matheus Rodrigues Ferraz de Alencar: nelson.matheus@aluno.ufca.edu.br

1 Graduanda, curso de Engenharia Civil, Crato, Brasil.

2 Graduando, curso de Engenharia Civil, Juazeiro do Norte, Brasil.

3 Graduanda, curso de Engenharia Civil, Caririçu, Brasil.

4 Graduando, curso de Engenharia Civil, Crato, Brasil.

RESUMO

A Sé Catedral Nossa Senhora da Penha foi o primeiro templo católico erguido na cidade de Crato. Considerando sua importância, o objetivo do trabalho é realizar um levantamento das patologias encontradas na edificação. Mesmo diante das dificuldades existentes pela pandemia, desenvolveu-se uma metodologia, baseada em um estudo de caso, pautada em cinco abordagens: planejamento das atividades, estudo do assunto, pesquisa na região, visita à edificação históricas e produção textual. Dessarte, levantou-se as ocorrências das patologias apresentadas por intermédio de imagens e descrições. Percebeu-se grande incidência de fissuras, empolamentos e eflorescências, os quais correspondem a 73,68% do total. Assim, sugerem-se possíveis causas e soluções para cada problema, bem como estímulo à trabalhos técnico-científicos de carácter analíticos para a região do Cariri.

Palavras chave: Patologias; Igreja da Sé; levantamento; estudo de caso.

ABSTRACT

The Cathedral of Nossa Senhora da Penha was the first Catholic church built in the city of Crato. Considering its importance, the objective of the work is to carry out a survey of the pathologies found in the building. Even in the face of the existing difficulties caused by the pandemic, a methodology was developed, based on a case study, based on five approaches: activity planning, study of the subject, research in the region, visit to the historical building and textual production. Thus, the occurrences of pathologies presented through images and descriptions were raised. There was a high incidence of cracks, blisters and efflorescence, which correspond to 73.68% of the total. Thus, possible causes and solutions for each problem are suggested, as well as encouragement of technical-scientific works of an analytical nature for the Cariri region.

Keywords: Pathologies; Igreja da Sé; survey; case study.

RESUMEN

La Catedral de Nossa Senhora da Penha fue la primera iglesia católica construida en la ciudad de Crato. Considerando su importancia, el objetivo del trabajo es realizar un relevamiento de las patologías encontradas en el edificio. Incluso ante las dificultades existentes provocadas por la pandemia, se desarrolló una metodología, a partir de un estudio de caso, con base en cinco enfoques: planificación de actividades, estudio del tema, investigación en la región, visita al edificio histórico y producción textual. Así, se plantearon las ocurrencias de patologías presentadas a través de imágenes y descripciones. Hubo una alta incidencia de grietas, ampollas y eflorescencias, que corresponden al 73,68% del total. Así, se proponen posibles causas y soluciones para cada problema, así como el fomento de trabajos técnico-científicos de carácter analítico para la región de Cariri.

Palabras clave: Patologías; Igreja da Sé; encuesta; estudio de caso.

1. INTRODUÇÃO

A Sé Catedral Nossa Senhora da Penha, conhecida como Igreja da sé, foi o primeiro templo católico erguido na cidade de Crato, no estado do Ceará, teve o início da sua construção como igreja matriz no ano de 1745, passando por vários desgastes na sua vida útil, sendo necessárias reformas pontuais na sua estrutura até 1914, onde foi nomeada catedral (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021). Palco de muitos eventos sociais prestigiados por pessoas de toda a região do Cariri, a catedral é espaço de significativa mobilidade social, sendo necessário amparo estrutural suficiente para prover a segurança e conforto de todos os usuários. Tendo em vista esse contexto, vale destacar o valor de análises das ocorrências patológicas de tal edificação, sendo imprescindível o conhecimento das origens do problema, histórico da edificação a fim de resguardar o valor da vida e a consciência sociocultural da catedral.

Assim, ao datar do início da vida humana, denota-se que o conhecimento de engenharia civil se faz fundamental a qualidade de vida populacional, o qual, ao longo do tempo, cresceu em complexidade e demanda tecnológica. Tal crescimento exacerbado da construção civil, provocou a necessidade de inovações que trouxeram, em si, a aceitabilidade implícita de maiores riscos, ainda que dentro de certos limites, os quais alavancaram a necessidade de um maior conhecimento sobre estruturas e materiais, através de análises dos erros acontecidos, os quais resultam em deterioração precoce ou até acidentes incisivos à vida humana (Souza e Ripper, 1998). As manifestações patológicas são ocasionadas por uma ou mais falhas oriundas de pelo menos uma etapa do processo

de construção (Pacheco e Titikian, 2013). Tal equívoco reflete na seguridade, degradação estética e funcional da edificação.

Assim, o referente trabalho tem como objetivo contribuir com o meio técnico-científico, através da difusão do conhecimento acerca das análises e levantamentos patológicos encontrados na edificação da Sé Catedral Nossa Senhora da Penha, considerando o papel do profissional da engenharia, ancorado no desenvolvimento harmônico entre o ser humano e seu ambiente (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, 2019).

2. PROCEDIMIENTO

O trabalho em questão é um estudo de caso. De acordo com o que ensina Yin (2001), dentre as diferentes formas de realizar uma pesquisa, o estudo de caso é uma investigação empírica e abrangente, na qual é desenvolvida quando o fato atual está imerso dentro de uma realidade real vivenciada, havendo pouco ou nenhum controle sobre o evento (p. 32 e 33).

A Paróquia da Sé Catedral Nossa Senhora da Penha está compreendida na Região Metropolitana do Cariri, localizada no centro do município do Crato, extremo-sul do estado do Ceará, Brasil.

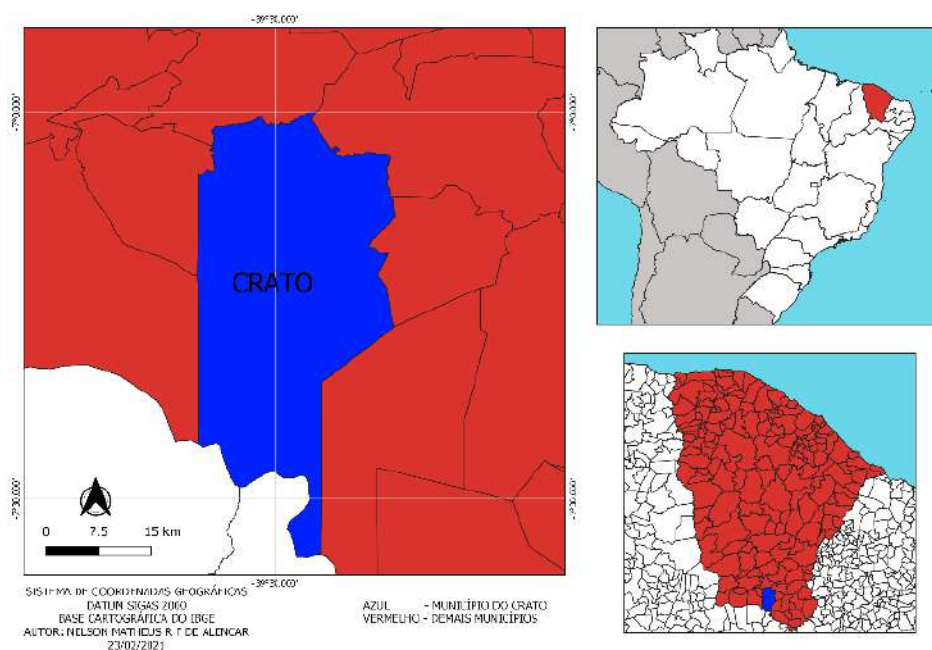


Figura 1. Mapa limites da cidade do Crato

Fonte: Os autores, 2021.



Figura 2. Mapa de localização da Sé Catedral Paróquia Nossa Senhora da Penha
Fonte: Google Maps, 2021.

Dentre a metodologia abordada, destacam-se 5 pontos essenciais para realização do estudo de caso referente às patologias em monumentos históricos na região do Cariri.

Na etapa de planejamento, foi organizado um cronograma a ser implementado para fomentar o desenvolvimento do artigo, no qual foram delimitados os principais procedimentos a serem realizados: o estudo, a pesquisa, as visitas e a produção.

Na etapa do estudo, recorreu-se a uma gama de artigos, revistas, livros e sites sobre as principais patologias encontradas em monumentos históricos em todo o território brasileiro, procedimento de identificação das anomalias, suas principais causas e os efeitos ocasionados pelo mesmo.

Na etapa da pesquisa, realizou-se buscas sobre informações acerca do histórico de reformas no patrimônio paroquial, consultando o Padre José Vicente. No qual, foram realizados alguns questionamentos, dentre eles: a) Quando ocorreu a última reforma? b) Como era a estrutura antes da última reforma?

Na etapa da visita, a partir dos dados levantados, realizou-se a visita em várias edificações, obtendo êxito na Paróquia Sé Catedral Nossa Senhora da Penha, na qual o Pároco Pe. José Vicente Pinto de Alencar Silva em sua grande maestria explicou sobre a historicidade da Catedral e concedeu a permissão para realização de fotografias da paróquia.

Na etapa da produção, reuniu-se todo o material e analisou-se todas as patologias encontradas, realizando sua identificação quanto ao tipo, ao tamanho e a sua abrangência na edificação. Com base nisso, determinou-se os ambientes mais acometidos e possíveis agentes causadores dessas problemáticas.

3. RESULTADOS

Foram catalogadas as patologias encontradas nas estruturas do edifício Sé Catedral Paróquia Nossa Senhora da Penha (Igreja da Sé), por intermédio de visitas ao local. Dessa forma, o levantamento do resultado se dará por meio de registros de imagens feitas no ambiente e visualização em tabela das patologias registradas.

3.1- Fachada



Figura 3. Vista frontal da fachada do ed 1

Fonte: Os autores, 2021. 1

3.1.1 – Parede ao redor da porta de entrada principal.

Presença de fissura na parte superior. (Figura 4) Ocorrência de descolamento com empolamento, na parte lateral direita da parede externa próxima a porta. (Figura 5)



Figura 4- Parte superior da parede próxima à porta. Patologia: fissura
Fonte – Os autores, 2021.



Figura 5- Parte superior da parede próxima à porta da entrada principal. Patologia: Empolamento
Fonte – Os autores, 2021

3.1.2- Porta da entrada principal

Porta de material não adequado ao local, devido a exposição à umidade. (Figura 6)



Figura 6- Porta da entrada principal. Patologia: Presença de umidade na parte inferior da porta.
Fonte – Os autores, 2021

3.1.3- Fachada principal

Presença de eflorescência, causando descascamento de pintura (Figura 7).

Presença de fissura diagonal no granito, região inferior da parede (Figura 8)

Presença de infiltração e empolamento na pintura, causando o aparecimento de manchas escurecidas, bolhas e descascamentos (Figura 9).



Figura 7- Parede da vista frontal da fachada.
Lado esquerdo. Patologia: eflorescência.
Fonte – Os autores, 2021



Figura 8- Região inferior da parede, no granito. Lado esquerdo as três portas principais. Patologia: Fissura
Fonte: Os autores, 2021.



Figura 9- Parede da vista frontal da fachada. Lado esquerdo. Patologia: Empolamento da pintura e infiltração.

Fonte: Os autores, 2021.

3.1.4- Vista frontal da fachada.

Presença de manchas de bolor na janela e na parte superior a ela.



Figura 10- Parede da parte lateral da fachada, acima da porta secundária. Lado direito. Patologia: Manchas de bolor.

Fonte: Os autores, 2021.

3.1.4- Vista lateral esquerdo da fachada

Ocorrência de saponificação, causando descascamento da pintura e aparecimento do revestimento de reboco.(Figura 11)

Presença de fissura vertical na região inferior da parede. (figura 12)



Figura 11- Parede da vista esquerdo frontal. direito da parede, no canto superior. Patologia: Saponificação.
Fonte: Os autores, 2021.



Figura 12- parede lateral da fachada, na região inferior a parede. Patologia: fissura Fonte: Os autores, 2021.

3.2- Estrutura interna do edifício

3.2.1- Parede próxima a entrada principal

Ocorrência de fissura diagonal (Figura 13 e 14).

Ocorrência de infiltração (Figura 15).

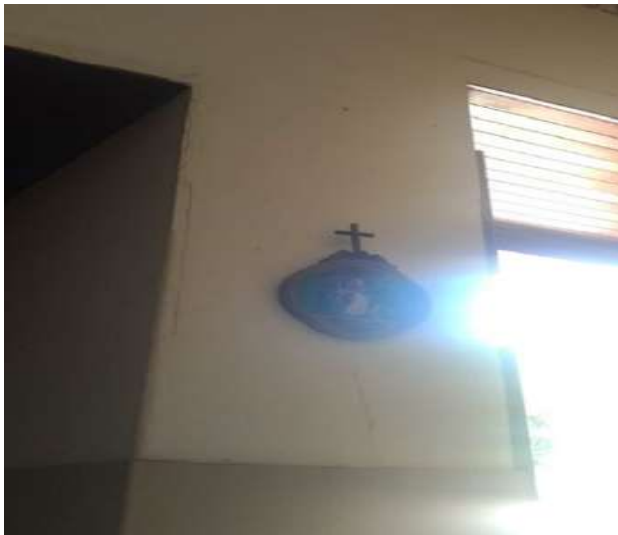


Figura 13- Parede entre as portas de entrada. Lado esquerdo. Patologia: fissura
Fonte: Os autores, 2021.



Figura 14- Parede do lado direito das portas principais. Patologia: fissura
Fonte: Os autores, 2021.



Figura 15- Parede próxima a entrada principal e à entrada do local de batismo. Patologia: infiltração
Fonte: Os autores, 2021.

3.2.2- Local de batismo

Presença de empolamento da pintura e infiltração, devido a umidade, causando mancha na pintura e a descamação



Figura 16- Parede da lateral esquerda do cômodo de batismo. Patologia: Empolamento da pintura e infiltração
Fonte: Os autores, 2021.

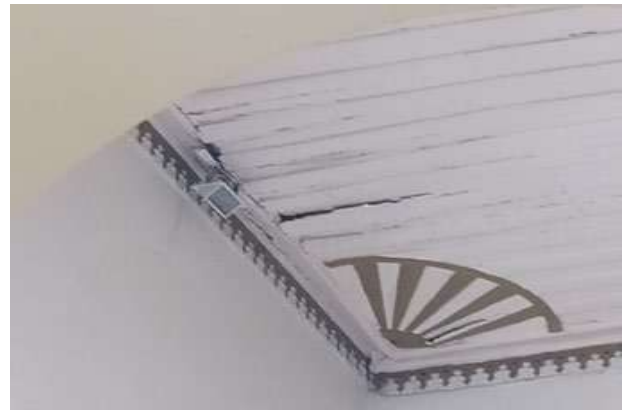


Figura 17 – Forro de madeira da parte lateral direita da igreja. Patologia: infiltração
Fonte: Os autores, 2021.

3.2.3- Parede divisória da parte interna

Ocorrência de fissura (Figura 18).

Ocorrência de desprendimento e empolamento da placa cerâmica, tonando visível a estrutura de revestimento: o reboco (Figura 19).



Figura 18- Parede do lado direito, segunda vista frontal. Patologia: fissura.
Fonte: Os autores, 2021.



Figura 19- Parede do lado direito, segundo vista frontal. Lado direito da parede. Patologia: Desprendimento e empolamento de revestimento de peça cerâmica
Fonte: Os autores, 2021.

3.2.4- Parede do lado direito da estrutura.

Empolamento da pintura, causando bolhas entre as camadas de trinca e o reboco (Figura 20). Ocorrência de trinca, fissuras e aparecimento de eflorescência, causando manchas brancas e o descolamento da pintura (Figura 21)

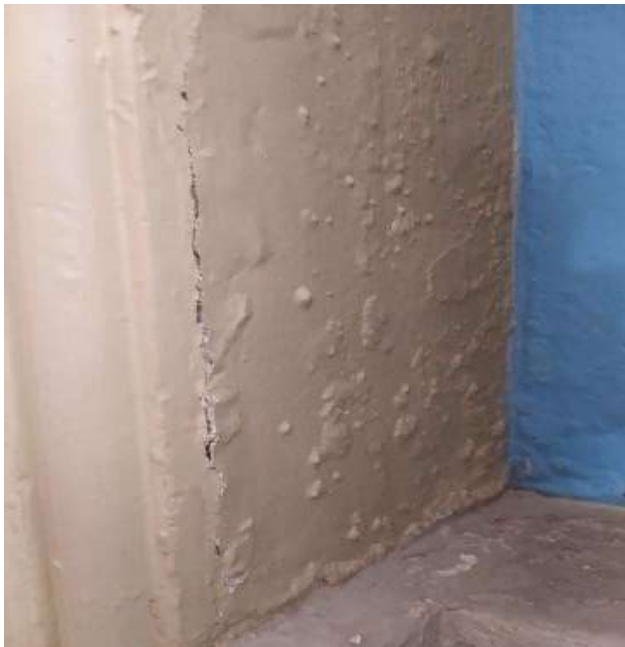


Figura 20- Parede do lado direito, segunda vista frontal. Lado direito da parede. Patologia: Desprendimento
Fonte: Os autores, 2021.



Figura 21- Parede entre os altares de santuários. Lado esquerdo. Patologia: Empolamento da pintura.
Fonte: Os autores, 2021.

3.2.4- Segundo pavimento.
Ocorrência de trinca (Figura 22)



Figura 22 -teto da varanda. Lado direito da vista frontal.

Patologia: fissura

Fonte: Os autores, 2021.

A seguir apresenta-se uma tabela com o levantamento da da quantidade de manifestações patológicas de acordo com o ambiente da estrutura: interno ou externo. Além disso, é representado o número total de acordo com cada manifestação patológica, o ambiente e o total de patologias.

Tabela 1. Mapeamento das principais patologias

Patologias	Casos na estrutura Externa	Casos na estrutura Interna	Total
Fissura	3	5	8
Empolamento	2	2	4
Umidade	1	0	1
Eflorescência	1	1	2
Mancha de bolor	1	0	1
Trinca	0	1	1
Desprendimento e empolamento de revestimento de peça cerâmica	0	1	1

Saponificação	1	0	1
Total	9	10	19

Fonte: Os autores, 2021.

4. CONCLUSÕES

Após o levantamento das patologias construtivas existentes na Sé Catedral Nossa Senhora da Penha, pôde-se verificar a frequência de algumas patologias na área interna e externa da edificação. Dentre essas anomalias, destacam-se:

- **Infiltrações:** As infiltrações são problemas recorrentes dentro da construção civil e a sua reincidência está associada, principalmente, a falhas na impermeabilização. Para a situação encontrada, algumas suposições podem ser feitas: i) mal posicionamento de telhas e encaixes incorretos; estes últimos favorecem a quebra das telhas, permitindo a entrada de água para o forro e às paredes; ii) a falta de impermeabilizantes nas paredes também pode ser uma motivação para a patologia descrita. Para a eliminação desse problema, uma possível solução seria a realização do diagnóstico da presença de umidade no local para sua posterior eliminação, além da remoção do revestimento para aplicação do impermeabilizante;
- **Eflorescências:** As constantes aparições de eflorescências e suas prováveis causas podem estar associadas à umidade no revestimento argamassado. A entrada de água nessa estrutura pode ocorrer devido a presença de impureza na areia usada na preparação do compósito, deixando-o mais poroso e, além disso, a presença de infiltrações oriundas da falta de impermeabilizantes também permite a entrada de água para o revestimento. Para a resolução dessa problemática, deve ser eliminada a umidade do área afetada por meio da eliminação das infiltrações e aplicação de um impermeabilizante;
- **Bolores e Mofos:** Essa patologia tem sido frequente dentro da construção civil. Sua incidência também pode ser associada ao contato frequente com a umidade. Porém, outras sugestões para o aparecimento dessa patologia são consideradas como: i) a presença de fissuras na estrutura, pois a fenda originada por essa falha proporciona a entrada de água, permitindo o contato direto da umidade com o revestimento argamassado; ii) a falta de impermeabilização das paredes da igreja, o que permite a entrada de umidade nas camadas de revestimento, provocando a anomalia citada. Para solucionar essa patologia, recomenda-se utilizar hipoclorito na lavagem do local, além de eliminar a infiltração presente;
- **Descascamento da pintura:** Esta também foi uma patologia muito recorrente na pesquisa de campo. Sua perenidade na estrutura pode ocorrer por diversos motivos, dentre os quais vale destacar: i) a presença de impureza e materiais pulverulentos como prejudiciais à aderência da pintura no reboco; ii) aplicação da tinta em áreas úmidas; iii) uso de materiais de baixa qualidade e iv) falha na preparação da tinta ou execução da pintura sobre caiação. Além disso, essa patologia pode surgir também como consequência do empolamento da pintura, como retratado na figura 16. Para a resolução do problema, o acabamento deve ser removido e renovado de maneira correta;
- **Empolamentos:** Algumas das possíveis causas dessa patologia são: a presença de impurezas na execução do revestimento argamassado, como materiais orgânicos e

materiais ferruginosos, além da hidratação tardia do óxido de cálcio ou de magnésio existente no cimento durante a preparação do compósito. Para a resolução desse problema, é necessária a remoção e renovação da camada de revestimento;

- Fissuras: A presença de fissuras é preponderante dentro do cenário construtivo. Na Catedral visitada, verificou-se algumas fissuras no revestimento argamassado, principalmente em quinas e esquadrias. Estabelecer uma causa específica para as mesmas torna-se algo complexo devido à grande variação da manifestação desta patologia nas edificações. Porém, algumas suposições podem ser feitas para a incidência desse problema, dentre as quais temos: i) recalque da edificação, cuja principal manifestação são trincas ou fissuras em formato diagonal; ii) em quinas e esquadrias, a falta de verga e contraverga torna-se um grande fator para o aparecimento dessa mazela construtiva; iii) grande diferença de dilatações dos elementos de alvenaria e dos elementos estruturais como laje, verga e contraverga; iv) falhas no cálculo do projeto ou na execução da estrutura também são motivações comuns para essa patologia, além da preparação errônea da argamassa, a qual pode ter sido feita sem ter a resistência necessária para sua utilização na estrutura. Para a resolução dessa patologia, primeiro deve ser feito um diagnóstico da origem da mesma e, a depender da causa, podem ser utilizados vários métodos de resolução dessa falha, que variam desde a aplicação de um selante simples na fissura, em casos mais simples, até a necessidade de abertura da fissura para sua aplicação, em casos mais sérios;
- Descascamento de placas cerâmicas: Essa patologia possui variados motivos para sua incidência e, contextualizando com a situação verificada na edificação, são sugeridas algumas motivações para o surgimento dessa deterioração. São elas: i) não utilização da junta de assentamento na aplicação do revestimento cerâmico; ii) presença de material pulverulento na área revestida; iii) umidade perene na área afetada; Dentre as variadas formas de solucionar essa mazela construtiva, é possível citar a lavagem do local a ser aplicado o revestimento cerâmico, a retirada das placas defeituosas para aplicação de impermeabilizante para extirpar a umidade presente e a utilização da junta de dilatação na aplicação das placas cerâmicas;
- Saponificação: Esta patologia caracteriza-se pela presença de manchas na pintura e que tem, como consequência, o descascamento da tinta. Na pesquisa de campo, verificou-se algo semelhante e duas prováveis causas para sua aparição são: i) excesso de cal no reboco da edificação e ii) aplicação da tinta antes do tempo de cura do reboco. Uma possível solução para essa deterioração é a raspagem, lavagem e lixagem do local visando eliminar partes soltas e sujeiras e, logo após, renovar o acabamento.

5. AGRADECIMIENTOS

Os agradecimentos se destinam a todos os autores; ao orientador Aerson Moreira Barreto, que auxiliou na realização do presente trabalho; ao projeto Pacce, por incentivar o estudo colaborativo e ao Padre José Vicente por possibilitar a visita ao local e nos orientar acerca do contexto histórico da Catedral Nossa Senhora da Penha.

6. REFERÊNCIAS

Biblioteca Central do IBGE. “IBGE”, 2021. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=435160&view=detalhes>. Acesso em: 22 de maio de 2021.

Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA – Brasil). “Código de Ética do Profissional da Engenharia, da Agronomia, da Geologia, da Geografia e da Meteorologia”. Resolução nº 1.002. Brasília: 2019

Pacheco, M, Tutikian, B. (2013). Boletín técnico. Inspección, diagnóstico y pronóstico em la construcción civil. “Unicinos”, 2013. Disponível em: https://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B1_Inspe%C3%A7%C3%A3o-Diagn%C3%B3stico-e-Progn%C3%B3stico-na-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil1.pdf. Acesso em: 22 de maio de 2021.

SOUZA, V. C. RIPPER, T. (1998), “Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto”. Pini, São Paulo, Brasil, p. 13.

Yin R. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2a ed. Porto Alegre: Bookman; 2001

Effects of binders characteristics and concrete dosing parameters on the chloride diffusion coefficient

Daniel V. Ribeiro^{1*}; Silas A. Pinto²; Nilson S. Amorim Júnior²; José S. Andrade Neto³; Ivan H. L. Santos³; Saulo L. Marques³; Mavisson J. S. França³

*E-mail: verasribeiro@hotmail.com

¹ Department of Materials Science and Technology, Federal University of Bahia, Salvador/BA, Brazil.

² Post-Graduate Program in Civil Engineering (PPEC), Federal University of Bahia, Salvador/BA, Brazil.

³ Laboratory of Testing on Materials Durability (LEDMa), Federal University of Bahia, Salvador/BA, Brazil.

ABSTRACT

Rebar corrosion in reinforced concrete is one of the most serious manifestations that affect structures, resulting in considerable technical, financial, and social consequences. The corrosive process can be accelerated by carbonation or the action of chlorides, the latter being the phenomenon of greatest concern, since a large part of the world population lives close to a coast. This study analyzed how the characteristics of the cement and the dosing parameters of the concrete influence the diffusion of chlorides in both an isolated and in a combined manner. For this, several concretes were dosed with different water/cement and water/binder ratios, types of cement, mortar content, and mineral additions, each of which had their individual diffusion coefficients obtained from the chloride migration test. It was observed that the water/cement ratio is not the primary parameter for controlling the diffusion of chlorides in concrete. The aluminate content, the fineness of the cement used, and the water/binder ratio, more significantly affect chloride diffusion.

Keywords: Concrete durability, chlorides in concrete, concrete, cement, dosing parameters, cement binders.

RESUMO

A corrosão do aço no concreto armado é uma das manifestações mais graves que afetam as estruturas, resultando em consequências técnicas, financeiras e sociais. O processo corrosivo pode ser acelerado pela carbonatação ou pela ação de cloretos, sendo este último o fenômeno de maior preocupação, uma vez que grande parte da população mundial vive próximo ao litoral. Este estudo analisou como as características do cimento e os parâmetros de dosagem do concreto influenciam na difusão dos cloretos de forma isolada e combinada. Para isso, diversos concretos foram dosados com diferentes relações água/cimento e água/ligante, tipos de cimento, teores de argamassa e adições minerais, cada um com seus coeficientes de difusão individuais obtidos no ensaio de migração de cloretos. Observou-se que a relação água/cimento não é o principal parâmetro para o controle da difusão dos cloretos no concreto. O teor de aluminato, a finura do cimento usado e a relação água/ligante afetam mais significativamente a difusão dos cloretos.

Palavras-chave: Durabilidade de concretos, cloretos, cimento, parâmetros de dosagem, ligantes cimentícios.

RESUMEN

La corrosión del acero en el hormigón armado es una de las manifestaciones más graves que afectan a las estructuras, con consecuencias técnicas, económicas y sociales. El proceso corrosivo puede acelerarse por carbonatación o por acción de cloruros, siendo este último el fenómeno de mayor preocupación, ya que gran parte de la población mundial vive cerca de la costa. Este estudio analizó cómo las características del cemento y los parámetros de dosificación del hormigón influyen en la difusión de cloruro aislada y combinada. Para ello, se dosificaron varios hormigones con diferentes relaciones agua / cemento y agua / ligante, tipos de cemento, contenidos de mortero y adiciones minerales, cada uno con sus coeficientes de difusión individuales obtenidos en la prueba de migración de cloruros. Se observó que la relación agua / cemento no es el principal parámetro para controlar la difusión de cloruros en el hormigón. El contenido de aluminato, la finura del cemento utilizado y la relación agua / aglutinante afectan de manera más significativa la difusión de cloruros.

Palabras clave: Durabilidad del hormigón, cloruros, cemento, parámetros de dosificación, ligantes cementosos.

1. INTRODUCTION

Rebar corrosion is a major cause of premature deterioration of reinforced concrete, leading to significant economic losses (Fei-Long et al., 2014). It is estimated that in developed countries, approximately 40% of the total resources of the construction industries are applied in repair and maintenance of existing structures (Mehta and Monteiro, 2014). According to the National Association of Corrosion Engineers (NACE, 2020), the global cost of corrosion in 2016, was estimated at US\$ 2.5 trillion, equivalent to 3.4% of world GDP. In marine regions, the main cause of corrosion in reinforced concrete structures is chloride ion penetration, while the carbonation process is the primary cause in industrial environments and densely populated cities (Cai et al., 2020)

In the absence of chlorides, the passivating film on the rebar is considered stable because the pH of the solution contained in the pores of the concrete is higher than 11.5. This is commonly observed in Portland cement matrices due to the high levels of alkali and Portlandite (calcium hydroxide) (Zhang et al., 2020). However, in the presence of chlorides, the passive film on the rebar can be destroyed even at pH values above 11.5. In this case, corrosion does not occur in a generalized way, but in a localized way (pitting corrosion) (Shi et al., 2016).

The corrosion mechanism is attributed to corrosion cells formed by chlorides that form anodic zones in the pits and the passive film which constitutes the cathodic surface (Munis et al., 2020). The presence of chloride ions in the concrete may be due to seawater, a marine atmosphere, aggregates, accelerating additives containing CaCl_2 , contaminated water, or industrial pollutants (Balestra et al., 2020). Several aspects influence the likelihood of corrosion by chlorides. A decrease in the water/cement ratio or relative humidity of the concrete, an increase in the covering thickness, the use of mineral additions, or the use of inhibitors reduces the occurrence of corrosion (Das and Pradhan et al., 2020; Harilal et al., 2019)

Recent studies (Andrade Neto et al, 2021; Wang et al., 2018) have evaluated the influence of the addition of fly ash, silica fume, metakaolin, and sugar cane bagasse ash (SCBA) on chloride migration, indicating that the refinement of pores caused by the pozzolanic reaction and the presence of aluminates hindered the diffusion of chlorides through concrete. Malheiro et al. (2021) evaluated the influence of mortar content using the chloride migration test, noting that a decrease in aggregate content and the consequent decrease in transition zones reduces the flow of chlorides in concrete.

Usually, technical standards such as the Brazilian NBR 6118 (ABNT, 2014) and the European EN 206 (EN, 2007), associate the service life of concrete structures with simple parameters such as the water/cement ratio (w/c). However, the chemical composition of cement, mineral additions, and the distribution of pore sizes, affect the chloride fixation capacity and its ion mobility more significantly (Huang et al., 2019). Nevertheless, these aspects are not addressed by technical standards as being fundamental contributions to improving the durability of concrete. Thus, it is essential that the technical and normative means take these aspects into account, considering their importance through the approach of parameters such as water/binder ratio (w/b - which considers the presence of mineral additions), fineness, and chemical composition of cement.

This study analyzed how the intrinsic characteristics of the raw materials used (aluminate content of cement and additions and specific surface area of cement), the dosing parameters of concrete (water/cement ratio, water/binder ratio, mortar content, and cement content), and its properties in the hardened state (porosity and mechanical strength) influence the diffusion of chlorides in isolated and combined manners. Several concretes were dosed with different water/cement ratios (w/c), types of cement, percentages of mortar, and mineral additions. These parameters were correlated to their diffusion coefficients in the non-steady state, obtained from the accelerated chloride migration test, which determines the parameters that are most relevant regarding the durability of the concrete to the action of chlorides.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1. Materials

In this study, six different types of Portland cement, common in Brazil, were used: CP II-Z 32, CP II-Z 32 RS, CP II-F 32, CP II-E 32, CP IV 32, and CP V ARI RS. Also were used three types of mineral additions (metakaolin, silica fume, and sugarcane bagasse ash), fine quartz aggregate, and coarse aggregate of basaltic origin available in the metropolitan region of Salvador, Bahia (Brazil).

2.2. Methods

2.2.1. Material Characterization

Table 1 shows the physical characterization and aluminum oxide content of the cements and pozzolanic additions used. The skeletal density was determined using helium gas pycnometry. The particle size distribution was obtained by laser granulometry, the specific surface area measured using a Blaine automatic permeabilizer, and the alumina oxide content by determined with XRF.

Table 1. Characterization of the cements and pozzolanic additions used to make the proposed mixtures (MK = metakaolin; SF = silica fume; SCBA = sugar cane bagasse ashes).

Properties	Brazilian Cements						Pozzolanic Additions		
	CP II-E 32	CP II-F 32	CP II-Z 32	CP II-Z 32 RS	CP IV 32	CP V ARI RS	MK	SF	SCBA
Al ₂ O ₃ content (%)	3.78 ± 0.10	3.35 ± 0.08	4.79 ± 0.12	3.42 ± 0.15	9.13 ± 0.25	4.84 ± 0.09	40.54 ± 2.10	-	7.56 ± 0.18
Blaine's fineness (cm ² /g)	4331 ± 35	4612 ± 45	3297 ± 20	2821 ± 31	5743 ± 18	5115 ± 42	-	-	-
D ₅₀ (µm)	19.00	2.60	23.50	50.00	4.95	37.00	17.00	4.70	36.70
Sk. density (g/cm ³)	3.08 ± 0.02	3.15 ± 0.01	2.99 ± 0.02	3.16 ± 0.01	2.84 ± 0.02	3.14 ± 0.02	2.68 ± 0.01	2.35 ± 0.02	3.78 ± 0.04

According to Ribeiro et al. (2012), the aluminate content delays the non-steady state diffusion of chlorides, due to the formation of chloroaluminates in the concrete microstructure, especially Friedel's salt (C₃A·CaCl₂·10H₂O).

The physical characteristics of the fine and coarse aggregates used were determined by specific gravity measurements made according to NBR NM 52 (ABNT, 2009) and NBR NM 53 (ABNT, 2009). The particle size distribution was determined by mechanical sieving, according to NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Several formulations of concrete were dosed, varying the type of cement, the water/cement ratio (from 0.40 to 0.60), the mortar content (54.4 to 100.0%), and mineral additions (0 to 15 %). The consumption of materials per cubic meter of concrete and the dosing parameters for the different admixtures used are shown in Table 2.

2.2.2 Physical-mechanical characterization of concretes

The concretes used were characterized in terms of apparent porosity, and mechanical strength. After 28 days, three specimens were tested according to NBR 9778 (ABNT, 2009). The compressive strength was carried out according to NBR 5739 (ABNT 2015).

2.2.3 Chloride Migration Assessment in Concrete

The test used was based on the UNE 83987 (UNE, 2014) that has been shown to be the most appropriate by using a low voltage (12 V) and ensuring good conductivity between the electrode and the concrete sample. Through this migration test, it is possible to determine the chloride diffusion coefficient in the non-steady state (D_{ns}) and steady (D_s) states, in addition to the chloride flow and time lag. The tests were done on four specimens of each series, each with a thickness of 40 mm.

2.2.4 Statistical analysis

After determining the correlations between the non-steady-state chloride diffusion coefficients and the characteristics of the materials used, the dosing parameters, and the basic properties of concretes, the determination (R²) and correlation (R) coefficients were determined.

The coefficient of determination (R²) is a statistical measure of how close the data are to the adjusted regression line, and is also known as the multiple determination coefficient and ranges from 0 (the model has no representativeness of the data) to 1 (the model is fully representative of the data). The correlation coefficient (R) was determined by the Pearson test, in which the correlations can present values ranging from 1 to -1, with the unit value representing a perfect correlation, either directly (R = 1) or inversely (R = -1) proportional, with the results grouped in bands corresponding to negligible (0.00 ≤ R < 0.30), low (0.30 ≤ R < 0.50), moderate (0.50 ≤ R < 0.70), high (0.70 ≤ R < 0.90), and very high (0.90 ≤ R ≤ 1.00) correlation.

Table 2. Proportions of materials used and dosing parameters of the produced concrete.

Mixture	Proportions of materials (kg/m ³)							w/c	w/b	Brazilian cement used	Total Aluminate Content (%)	Mortar Content (%)	
	Cement	Sand	Gravel	Water	Silica fume	Metakaolin	SCBA						
1	409.6	749.5	970.6	245.7	-	-	-	0.60	0.60	CP V ARI RS	4.48	54.42	
2	520.8	953.1	468.7	312.5	-	-	-				4.48	75.87	
3	622.5	1139.2	-	373.5	-	-	-				4.48	100.00	
4	407.6	745.9	965.9	244.5	20.5	-	-				0.57	4.27	54.86
5	404.1	739.5	957.6	242.4	41.0	-	-				0.54	4.07	55.28
6	400.7	733.2	949.5	240.4	61.4	-	-				0.52	3.88	55.70
7	408.0	746.7	967.0	244.8	-	20.5	-	0.60	0.57	CP V ARI RS	6.20	54.86	
8	404.9	741.0	959.7	243.0	-	41.0	-		0.54		7.79	55.28	
9	401.9	735.5	952.5	241.1	-	61.4	-		0.52		9.26	55.70	
10	438.9	737.4	992.0	232.6	-	-	-	0.53	0.53	CP V ARI RS	4.48	54.25	
11	436.4	733.2	986.3	231.3	-	-	21.8		0.50		4.63	54.71	
12	433.9	729.0	980.6	230.0	-	-	43.4		0.48		4.76	55.16	
13	431.4	724.8	975.0	228.7	-	-	64.7		0.46		4.88	55.60	
14	537.7	806.5	699.0	268.8	-	-	-	0.50	0.50	CP II-Z	4.80	65.79	
15	542.9	814.4	705.8	271.5	-	-	-			CP II-Z RS	3.42	65.79	
16	540.5	810.7	702.6	270.2	-	-	-			CP II-E	3.78	65.79	
17	542.6	813.9	705.4	271.3	-	-	-			CP II-F	3.35	65.79	
18	532.6	798.9	692.4	266.3	-	-	-			CP IV	9.13	65.79	
19	542.9	814.4	705.8	271.5	-	-	-			CP V ARI RS	2.85	65.79	
20	568.2	852.3	738.7	227.3	-	-	-	0.40	0.40	CP II-Z	4.80	65.79	
21	552.5	828.8	718.3	248.6	-	-	-	0.45	0.45		4.80	65.79	
22	537.7	806.5	699.0	268.8	-	-	-	0.50	0.50		4.80	65.79	
23	510.2	765.3	663.3	306.1	-	-	-	0.60	0.60		4.80	65.79	

3. RESULTS

3.1. Concrete Characterization

Table 3 shows the values of the diffusion coefficients in the non-steady and steady states, porosity, compressive strength, mortar contents of the concretes, and alumina contents in the binders (%) and in the concrete (kg/m^3). These results will be evaluated to identify which variables are most relevant to the durability of the concrete in isolated and combined manners.

Table 3. Average values of the diffusion coefficients in the non-steady (D_{ns}) and steady (D_s) states, aluminate percentages in the binder used, and in the concrete, in addition to the porosity of the studied concretes.

Mixture	D_{ns}	D_s	Al_2O_3 content in the binder (%)	Al_2O_3 content in concrete (kg/m^3)	Porosity (%)	Compressive strength (MPa)
	(x 10^{-8} cm^2/s)					
1	9.22 ± 0.20	1.46 ± 0.06	4.48	18.35	13.78 ± 0.11	31.00 ± 1.93
2	7.52 ± 0.21	0.76 ± 0.08	4.48	23.33	14.02 ± 0.22	33.00 ± 1.40
3	4.74 ± 0.48	0.96 ± 0.06	4.48	27.89	14.54 ± 0.29	32.65 ± 2.03
4	5.88 ± 0.40	0.94 ± 0.04	4.26	18.26	13.09 ± 0.18	31.35 ± 1.53
5	5.06 ± 0.22	0.98 ± 0.03	4.07	18.10	12.51 ± 0.21	35.44 ± 0.67
6	4.21 ± 0.32	1.00 ± 0.01	3.89	17.95	12.13 ± 0.31	37.67 ± 0.64
7	4.97 ± 0.49	1.26 ± 0.24	6.20	26.58	14.42 ± 0.56	31.95 ± 1.12
8	4.30 ± 0.33	0.82 ± 0.18	7.79	34.78	14.14 ± 0.32	32.80 ± 3.03
9	3.07 ± 0.26	0.54 ± 0.21	9.26	42.91	13.71 ± 0.35	38.85 ± 0.60
10	4.42 ± 0.20	0.99 ± 0.03	4.48	19.66	9.27 ± 0.25	30.62 ± 0.97
11	4.13 ± 0.45	0.98 ± 0.05	4.63	21.20	7.96 ± 0.26	31.76 ± 2.75
12	3.60 ± 0.46	0.81 ± 0.04	4.76	22.72	7.45 ± 0.12	34.16 ± 3.06
13	2.77 ± 0.39	0.50 ± 0.02	4.88	24.22	5.89 ± 0.08	36.99 ± 0.93
14	9.32 ± 0.40	2.40 ± 0.26	4.80	25.79	18.03 ± 0.33	30.37 ± 1.01
15	18.55 ± 0.02	3.56 ± 0.06	3.42	18.55	18.00 ± 0.59	25.11 ± 1.57
16	9.45 ± 0.99	3.81 ± 0.18	3.78	20.45	17.32 ± 0.54	28.15 ± 2.66
17	5.31 ± 0.84	1.53 ± 0.03	3.35	18.19	16.80 ± 0.20	39.73 ± 3.76
18	3.23 ± 0.09	1.69 ± 0.02	9.13	48.64	15.83 ± 0.54	27.04 ± 2.45
19	6.06 ± 0.72	1.52 ± 0.02	4.85	26.33	10.91 ± 0.66	31.83 ± 3.67
20	2.77 ± 0.33	2.50 ± 0.37	4.80	27.26	14.42 ± 0.11	39.10 ± 0.74
21	3.21 ± 0.21	3.16 ± 0.55	4.80	26.50	16.45 ± 0.21	35.52 ± 1.62
22	4.70 ± 0.12	3.77 ± 0.53	4.80	25.79	17.18 ± 0.51	31.45 ± 1.34
23	6.74 ± 0.12	4.27 ± 0.57	4.80	24.48	21.00 ± 0.57	22.66 ± 0.75

3.2. Influence of material characteristics, dosing parameters and concrete characteristics on non-steady state chloride diffusion (D_{ns})

3.2.1. Analysis of the characteristics of the cement and mineral additions

Based on the data presented in Table 3, the non-steady state diffusion was correlated with the alumina content (Al_2O_3) of the binders (%), in the admixture, per m^3 of concrete (kg/m^3), and the specific surface area (Blaine) of the ciments, as shown in Figure 1.

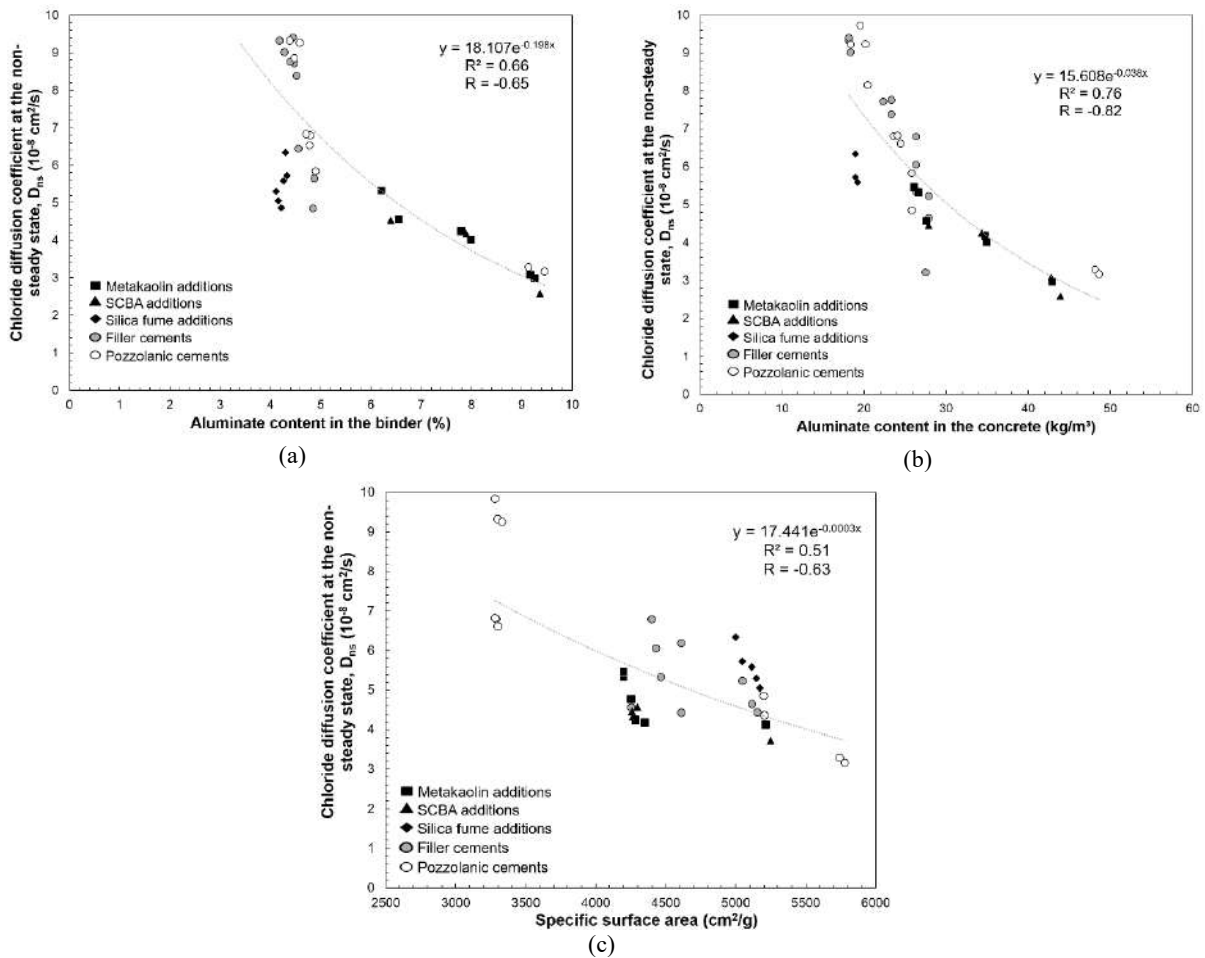


Figure 1. Correlations between the chloride diffusion coefficient at the non-steady state and (a) aluminate content in the binder (%), (b) aluminate content in the concrete (kg/m^3), and (c) specific surface area of cements.

As apparent, the parameter that showed the highest correlation with non-steady diffusion was the alumina content in the concrete (Figure 1b), with determination coefficients (R^2) and correlation (R) equal to approximately 0.76 and -0.82, respectively, indicating a high inverse correlation ($0.70 \leq |R| < 0.90$) between the evaluated data. Despite being less relevant, the alumina content present in the binders (Figure 1a), presented a moderate correlation ($R = -0.65$) with non-steady diffusion. Thus, among the parameters associated with the characteristics of cements and pozzolanic additions, it is observed that a high aluminate content in the total concrete mixture is the most important parameter for reducing the non-steady chloride diffusion coefficient, as higher amounts of Al_2O_3 of concrete provided greater chloride retention capacity through the greater formation of chloroaluminates (Shi et al., 2012; Shi et al., 2017).

When analyzing the specific surface area of cement, it was observed that there was only a moderate inverse correlation with non-steady state diffusion, with R approximately equal to -0.63, thus being considered a secondary parameter of influence on non-steady chloride diffusion in the concrete.

3.2.2. Analysis of the concrete dosing parameters

The non-steady diffusion was correlated with the water/cement and water/binder ratio of the concretes, as shown in Figure 2, while Figure 3 shows the correlation of D_{ns} with cement consumption (kg/m^3) and with the mortar content (%) of the concretes.

The water/cement ratio (w/c) is directly associated with the porosity of cementitious matrices and is used as a dosing parameter, and as a project specification with respect to mechanical strength

and the durability of structures. However, for modern concretes which use considerable levels of mineral additions to improve their performance, the water/binder ratio has a greater influence on the diffusion of chlorides.

It was observed that the correlation between the chloride diffusion coefficients in the non-steady state (D_{ns}) and the water/binder ratio ($R = 0.78$) is statistically higher than that observed between D_{ns} and the water/cement ratio ($R = 0.54$). Thus, we should only associate the water/cement ratio with the durability of concretes without mineral additions, because the presence of additions reduces porosity and may increase the availability of aluminates which will reduce diffusivity (increasing durability), even for concretes with the same water/cement ratio (Wang et al., 1997; Rahhal et al., 2014). The results presented in Figures 2a, 2b, and 3a are in agreement with those obtained by Campos et al. (2020), who found that the use of mineral additions promotes better packaging of particles, being more efficient than the consumption of cement or the water/cement ratio (w/c) in reducing the porosity of the matrices.

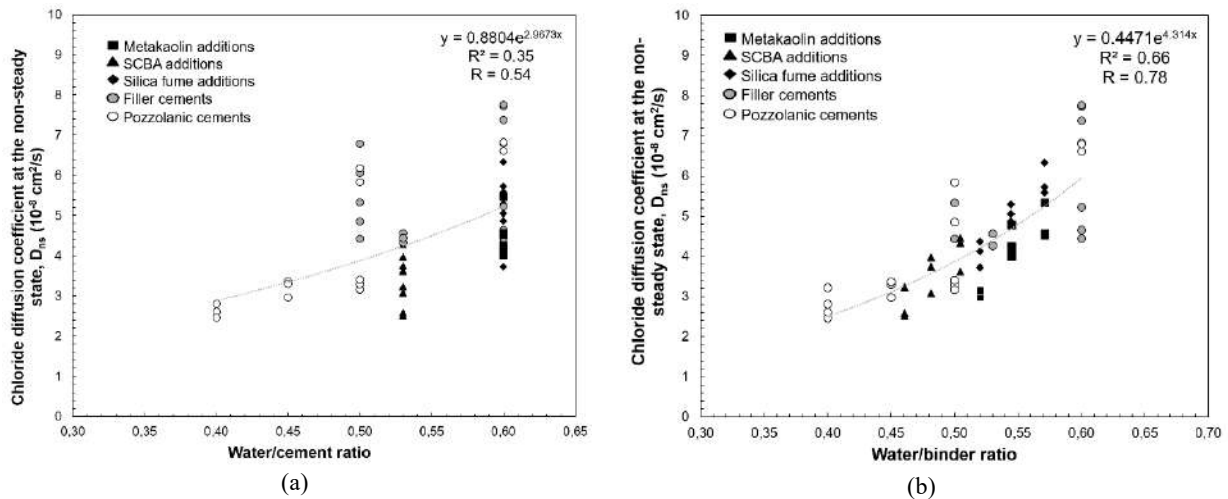


Figure 2. Correlations between the chloride diffusion coefficient at the non-steady state and the (a) water/cement ratio (w/c), and (b) water/binder ratio of concretes.

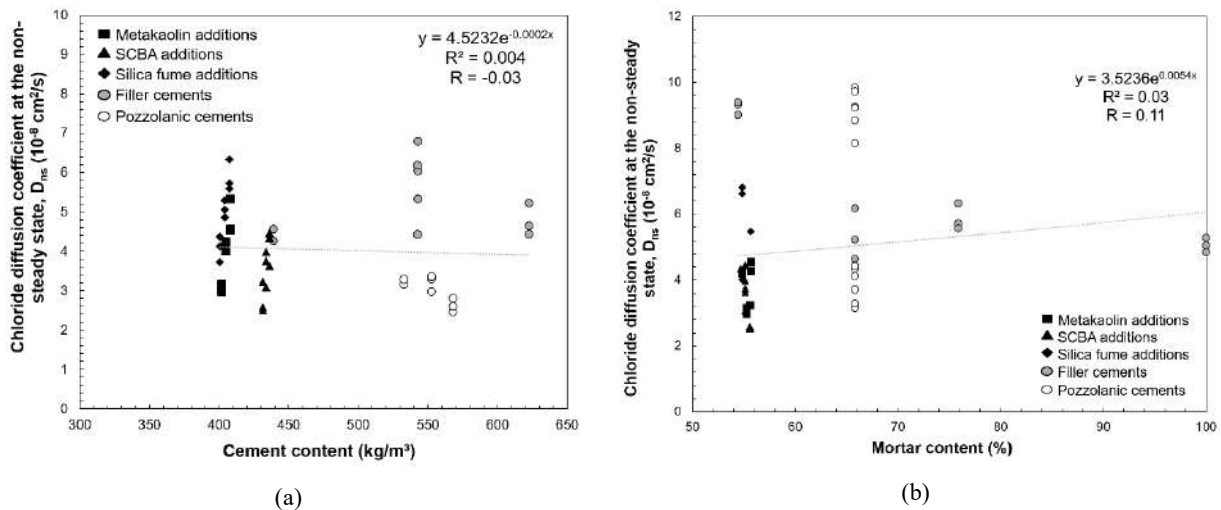


Figure 3. Correlations between non-steady chloride diffusion coefficient and (a) cement content (kg/m^3), and (b) mortar content (%).

More specifically, using the equation shown in figure 2b, an extremely high resistance to chloride penetration ($D < 2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, according to Gjrv (2017)) can be achieved using a water/binder ratio less than 0.40.

In Figure 3, it is observed that the correlations between the diffusion of chlorides and the cement and mortar content in concrete are negligible ($R < 0.30$). Evidently, higher cement levels for concretes without additions and with the same characteristics (w/c, type of cement and mortar content) should favor an increase in durability (less diffusivity), owing to the increase in the aluminate content in the mixture, originating from the Portland cement. However, this effect is less significant than the alteration of more representative parameters, mainly the water/cement ratio, which, for concretes without additions, is equal to the water/binder ratio.

The reduction of coarse aggregate/mortar transition zones, as a consequence of a higher mortar content, makes it possible to reduce the flow of chlorides since the main route for diffusion is the transition zone (Malheiro et al., 2011) Alternatively, the cementitious matrix is more porous than the aggregate, increasing diffusion. Thus, no significant correlation was observed between the mortar content and the diffusivity of the concrete (Figure 3b).

3.2.3. Characteristics of the hardened concrete

The non-steady diffusion was correlated with the apparent porosity and compressive strength of the concretes at 28 days (Figure 4). These concrete properties are a consequence of the parameters previously analyzed and are therefore considered response variables.

It is observed that the apparent porosity of the concretes showed a high correlation ($R = 0.75$) with the non-steady diffusion values. These results converge with those obtained by Zhang and Li (2011) who found that the porosity of the cementitious matrix is directly related to the diffusion of chlorides into it, being the pore size and its degree of interconnection, preponderant in relation to total porosity. Based on the previous correlations, we can conclude that the water/binder ratio has a greater influence on the porosity of the matrix compared to the water/cement ratio, thus, these factors are essential for the control of durability.

Mechanical strength, being a holistic indicator of the main dosing parameters, also has a reasonable inverse correlation ($R = -0.68$) with the diffusivity of the concrete. However, as previously discussed, mechanical strength cannot be the initial parameter for the design of durable concrete, but a natural consequence of these.

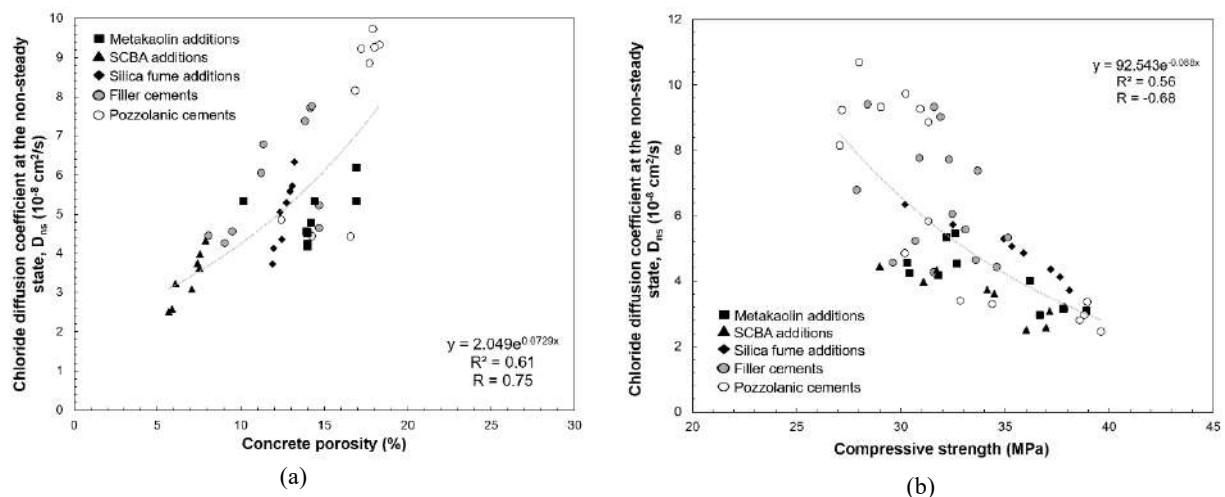


Figure 4. Correlations between non-steady chloride diffusion coefficient and (a) porosity and (b) compressive strength of the concretes.

The characteristics of the materials (cements and pozzolans) used, dosing parameters, and concrete properties (at 28 days) regarding the diffusivity of chlorides in the non-steady state (D_{ns}) are classified according to their degree of importance, according to Table 4.

Table 4. Importance level of the characteristics of the materials used (cements and pozzolans), dosing parameters, and concrete properties (at 28 days) regarding the diffusivity of chlorides in non-steady state (D_{ns}).

Variables correlated to D_{ns}	Importance Level		
	Fundamental	Secondary	Negligible
Characteristics of the materials used	Al_2O_3 content in the binder and/or concrete	Surface area of cement	---
Concrete dosing parameters	Water/binder ratio	Water/cement ratio	Cement and mortar contents
Concrete properties (28 days)	Porosity	Compressive Strength	---

3.3. Combined analysis of factors involved in the diffusion of chlorides in the non-steady state (D_{ns}) of concrete

3.3.1. Combined action of aluminate content and concrete porosity on non-steady chloride diffusion

The combined action of the aluminate content (kg/m^3) and concrete porosity on the non-steady diffusion of chlorides is represented by the surface shown in Figure 5.

Concretes with alumina contents below $20 kg/m^3$ and porosity above 15% are those that presented critical non-steady state diffusion coefficients, that is, greater than $15 \times 10^{-8} cm^2/s$, which, according to Gjrv (2017), classifies these concretes as having low resistance to chloride penetration.

Although this study found that the open porosity of the concrete must be less than 15%, this value cannot be considered a fixed parameter as it does not indicate the distribution of the pore sizes of these concretes. However, it is evident that, depending on the surface formed, non-steady diffusion (D_{ns}) is governed by both parameters evaluated in a combined manner, be it physical or chemical, and that the higher the total concentration of alumina and the lower the porosity of concrete, it will tend to be a material exhibiting greater durability with reduced action of chlorides.

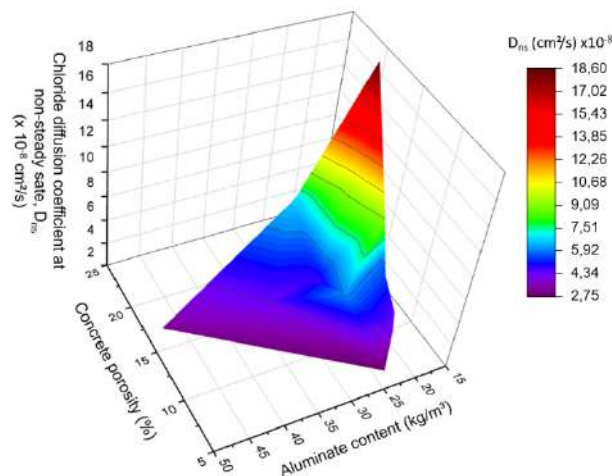


Figure 5. Combined analysis of aluminate content in concrete (kg/m^3) and concrete porosity on the non-steady state chloride diffusion coefficient.

Despite considering the porosity of the concrete as a fundamental parameter in the control of the diffusion of chlorides, there is a more significant variation in the values of non-steady diffusion (D_{ns}) with the increase in the aluminate content in the mixture. This demonstrates that, although the effect is combined, there is a predominance of the chemical effect on the durability of these matrices, corresponding to the ability to form chloroaluminates.

3.3.2. Combined action of aluminate content and water/binder ratio in non-steady chloride diffusion

The combined action of the aluminate content and the water/binder ratio in the non-steady diffusion of chlorides is represented by the surface shown in Figure 6.

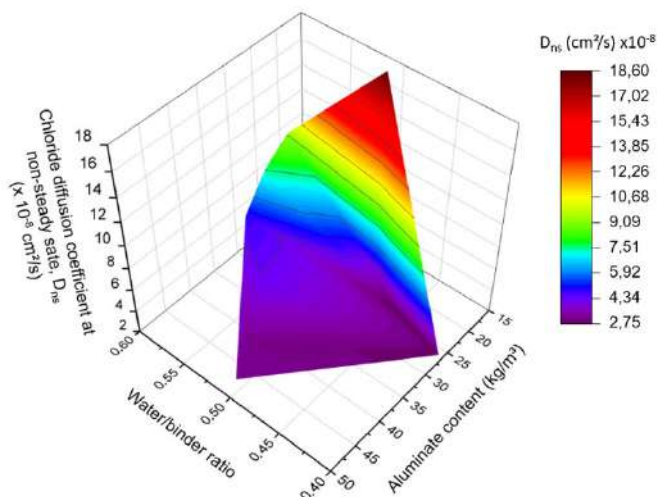


Figure 6. Combined analysis of aluminate content in concrete (kg/m^3) and the water/binder ratio on the non-steady state chloride diffusion coefficient.

As seen in the previous item, it is noted that the surface formed is influenced predominantly by the aluminate content (kg/m^3) in the matrices studied (chemical effect). Although the water/binder ratio has generated a more significant correlation, when compared to the water/cement ratio, its indiscriminate use may result in errors if adopted as a single parameter for assessing durability. This relationship does not specify the type of mineral addition used and as a result may have chemical and/or physical effects associated with resistance to chloride penetration.

Thus, the aluminate content has a greater association with the water/binder ratio when using additions with high Al_2O_3 content, such as metakaolin. However, it is less effective when using additions without the presence of Al_2O_3 , such as when silica fume is incorporated, reinforcing that the chemical effect is more relevant than the physical effect in the non-steady diffusion of chlorides.

4. CONCLUSIONS

From the results presented, it can be concluded that:

- Regarding the characteristics of the materials, the alumina content in the binder and/or in the concrete presented itself as a factor of fundamental importance in the diffusion of chlorides in concrete. The cement fineness is a secondary parameter.
- Regarding the concrete dosing parameters, the water/binder ratio was shown to be a fundamentally important factor in the diffusion of chlorides in concrete. The water/cement ratio is a secondary factor and the consumption of cement and mortar content in the concrete can be considered negligible parameters. According to the results, to achieve an extremely high resistance to chloride penetration, the w/b ratio must be less than 0.40.

- In consideration of the concrete properties, porosity is a fundamentally important factor in the diffusion of chlorides in concrete, with mechanical resistance being a secondary parameter.
- For an adequate concrete durability design, it should not only consider the dosage parameters generally used, such as water/cement ratio and the cement content, since these parameters alone do not have a good correlation with chloride migration. In the concrete durability design, other parameters such as the aluminates content present in the mixture and water/binder ratio must be considered.
- The parameter that influences the diffusion of chlorides in concrete's cementitious matrices most is the total alumina content (Al_2O_3), present in both cement and mineral additions, with a minimum combined content of 20 kg/m^3 being recommended.
- The combined analysis of the studied variables indicates that there is a predominance of the chemical effect (aluminate content) in the diffusion of non-steady chlorides, relative to the porosity and the water/binder ratio.

5. REFERENCES

- Andrade Neto, J. S.; Franca, M. J. S.; Amorim Junior, N. S.; Ribeiro, D.V. (2021), Effects of adding sugarcane bagasse ash on the properties and durability of concrete. *Constr. Build. Mater.*, v. 266, Part A, paper 120959, p. 1-13. [10.1016/j.conbuildmat.2020.120959](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120959)
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2003). *NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2009). *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2009). *NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro.
- associação brasileira de normas técnicas. (2009). *NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2018). *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.
- Balestra, C.E.T.; Reichert, T.A.; Pansera, W.A.; Savaris, G. (2020), Evaluation of chloride ion penetration through concrete surface electrical resistivity of field naturally degraded structures present in marine environment. *Constr. Build. Mater.*, v. 230, paper 116979. [10.1016/j.conbuildmat.2019.116979](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116979)
- Cai, Y.; Zhang, W.; Yu, L.; Chen, M.; Yang, C.; François, R.; Yang, K. (2020), Characteristics of the steel-concrete interface and their effect on the corrosion of steel bars in concrete. *Constr. Build. Mater.*, v. 253, paper 119162. [10.1016/j.conbuildmat.2020.119162](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119162)
- Campos, H.F.; Klein, N.S.; Marques Filho, J.; Bianchini, M. (2020), Low-cement high-strength concrete with partial replacement of Portland cement with stone powder and silica fume designed by particle packing optimization. *J. Clean. Prod.*, v. 261, paper 121228, p. 19. [10.1016/j.jclepro.2020.121228](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121228)

- Das, J. K.; Pradhan, B. (2020), Long term effect of corrosion inhibitor and associated cation type of chloride ions on chloride profile of concrete exposed to composite chloride-sulfate environment. *Mater. Today: Proc.*, v. 32, part 4, p. 803-809. [10.1016/j.matpr.2020.04.014](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.014)
- Fei-Long, F.; Jie, H.; Jiang-Xiong, W.; Qi-Jun, Y.; Zheng-Shan, C. (2014), Corrosion performance of steel reinforcement in simulated concrete pore solutions in the presence of imidazoline quaternary ammonium salt corrosion inhibitor. *Constr. Build. Mater.*, v. 70, p. 43–53. [10.1016/j.conbuildmat.2014.07.082](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.082)
- Gjørv, O. E. (2017), “*Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments*”. Second Edition, CRC Press, p 270.
- Harilal, M.; Rathish, V. R.; Anandkumar, B.; George, R. P.; Mohammed, M. S. H. S.; Philip, J.; Amarendra, G. (2019), High performance green concrete (HPGC) with improved strength and chloride ion penetration resistance by synergistic action of fly ash, nanoparticles and corrosion inhibitor. *Constr. Build. Mater.*, v. 198, p. 299-312. [10.1016/j.conbuildmat.2018.11.266](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.266)
- Huang, X.; Hu, S.; Wang, F.; Yang, L.; Rao, M.; Mu, Y.; Wang, C. (2019), The effect of supplementary cementitious materials on the permeability of chloride in steam cured high-ferrite Portland cement concrete. *Constr. Build. Mater.*, v. 197, p. 99-106. [10.1016/j.conbuildmat.2018.11.107](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.107)
- Malheiro, R.; Meira, G.; Lima, M.; Perazzo, N. (2011), Influence of mortar rendering on chloride penetration into concrete structures. *Cem. Concr. Compos.*, v. 33, i. 2, p. 233-239. [10.1016/j.cemconcomp.2010.11.003](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.11.003)
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (2014), “*Concrete: Microstructure, properties, and materials*”. 4 ed. Mc Graw Hill Education, New York, p. 675.
- Munis, A.; Zheng, M.; Zhao, T. (2020), Influence of phosphate ions on pit initiation and growth on the stainless steel – 316L in chloride contaminated simulated coal gasification wastewater (CGW) environment. *Mater. Chem. Phys.*, v. 249, paper 123120. [10.1016/j.matchemphys.2020.123120](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123120)
- NACE. (2016). *International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study*. Disponível em: <<http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>> Acesso em: 08/012/2020.
- Norma Portuguesa. (2007). *NP – EN 206: Betão, Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade*, 84 p.
- Normalización Española. (2014). *UNE 83987: Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de los coeficientes de difusión de los iones cloruro en el hormigón endurecido. Método multirrégimen*. Madri.
- Rahhal, V.; Talero, R. (2014), Very early age detection of ettringite from pozzolan origin. *Constr. Build. Mater.*, v. 53, p. 674-679. [10.1016/j.conbuildmat.2013.10.082](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.082)
- Ribeiro, D. V., Labrincha, J. A., Morelli, M. R. (2012), Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete. *Cem. Concr. Res.*, v. 42, i. 1, p. 124-133. [10.1016/j.cemconres.2011.09.002](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.09.002)
- Shi, J.; Sun, W.; Jiang, J.; Zhang, Y. (2016), Influence of chloride concentration and pre-passivation on the pitting corrosion resistance of low-alloy reinforcing steel in simulated concrete pore solution. *Constr. Build. Mater.*, v. 111, p. 805-813. [10.1016/j.conbuildmat.2016.02.107](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.107)

- Shi, X.; Xie, N.; Fortune, K.; Gong, J. (2012), Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview. *Constr. Build. Mater.*, v. 30, p. 125-138. [10.1016/j.conbuildmat.2011.12.038](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.038)
- Shi, Z.; Geiker, M. R.; Lothenbach, B.; Weerdt, K.; Garzón, S. F.; Rasmussen, K. E.; Skibsted, J. (2017), Friedel's salt profiles from thermogravimetric analysis and thermodynamic modelling of Portland cement-based mortars exposed to sodium chloride solution. *Cem. Concr. Compos.*, v. 78, p. 73-83. [10.1016/j.cemconcomp.2017.01.002](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.01.002)
- Wang, A.; Zhang, C.; Zhang, N. (1997), Study of the influence of the particle size distribution on the properties of cement. *Cem. Concr. Res.*, v. 27, i. 5, p. 685–695. [10.1016/S0008-8846\(97\)00060-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00060-4)
- Wang, Y.; Shui, Z.; Huang, Y.; Sun, T.; Duan, P. (2018), Properties of coral waste-based mortar incorporating metakaolin: Part II. Chloride migration and binding behaviors. *Constr. Build. Mater.*, v. 174, p. 433-442. [10.1016/j.conbuildmat.2018.04.076](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.076)
- Zhang, D.; Yang, Q.; Mao, M.; Li, J. (2020), Carbonation performance of concrete with fly ash as fine aggregate after stress damage and high temperature exposure. *Constr. Build. Mater.*, v. 242, paper 118125. [10.1016/j.conbuildmat.2020.118125](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118125)
- Zhang, M.; Li, H. (2011), Pore structure and chloride permeability of concrete containing nanoparticles for pavement. *Constr. Build. Mater.*, v. 25, i. 2, p. 608–616. [10.1016/j.conbuildmat.2010.07.032](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.032)

Aplicação de metodologia baseada em critérios empíricos para priorização de inspeções diagnósticas em reservatórios de água, em Sergipe.

Francisco Luiz Campos Lopes ^{1*}, Monalisa Matisse Barreto Oliveira², Natalia Shirley Carvalho Matos³, Emerson Meireles de Carvalho⁴

*Autor de Contato: francisco.campos.lopes@gmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Sergipe

² MM Engenharia Diagnóstica e Consultoria

³ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe

⁴ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe

RESUMO

A realização de inspeções e manutenções periódicas para garantia da integridade e do desempenho da estrutura é indispensável. Visando a orientação para elaboração de um plano de manutenção e recuperação de reservatórios em Sergipe, elaborou-se uma metodologia de análise qualitativa, objetivando uma priorização das estruturas para posterior perícia diagnóstica. Inspeccionou-se a nível 1, 49 reservatórios, sendo estes de concreto armado com mais de 20 anos, avaliando as anomalias e manifestações patológicas com o uso de uma matriz GUT, associada a parâmetros de impacto econômico e risco à vida humana. A metodologia obteve um referencial técnico para auxílio de uma tomada de decisão para a realização de uma inspeção a nível 2 e desenvolvimento do projeto de recuperação e reforço.

Palavras-chave: Inspeção predial, Reservatórios de água, Matriz GUT.

Aplicación de la metodología basada en criterios empíricos para priorizar las inspecciones diagnósticas en los embalses de Sergipe.

Francisco Luiz Campos Lopes ^{1*}, Monalisa Matisse Barreto Oliveira², Natalia Shirley Carvalho Matos³, Emerson Meireles de Carvalho⁴

*Autor de Contacto: francisco.campos.lopes@gmail.com

¹ Departamento de Ingeniería Civil, Instituto Federal de Ciencia y Tecnología de Sergipe

² MM Engenharia Diagnóstica e Consultoria

³ Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Sergipe

⁴ Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Federal de Sergipe

RESUMEN

La realización de inspecciones y mantenimientos periódicos para garantizar la integridad y desempeño de la estructura es fundamental. Con el objetivo de orientar el desarrollo de un plan de mantenimiento y recuperación de los embalses en Sergipe, se desarrolló una metodología de análisis cualitativo-cuantitativo, con el objetivo de priorizar las estructuras para una mayor experiencia de diagnóstico. En el nivel 1 se inspeccionaron 49 embalses, siendo estos de hormigón armado con más de 20 años, evaluando las anomalías y manifestaciones patológicas mediante una matriz GUT, asociadas a parámetros de impacto económico y riesgo a la vida humana. La metodología obtuvo una referencia técnica para ayudar a la toma de decisiones para realizar una inspección de nivel 2 y desarrollo del proyecto de recuperación y refuerzo.

Palabras clave: Inspección de edificios, reservorios de agua, matriz GUT.

Methodology application based on empirical criteria for prioritizing diagnostic inspections in water reservoirs in Sergipe.

Francisco Luiz Campos Lopes ^{1*}, Monalisa Matisse Barreto Oliveira², Natalia Shirley Carvalho Matos³, Emerson Meireles de Carvalho⁴

* Contact Author: francisco.campos.lopes@gmail.com

¹ Department of Civil Engineering, Federal Institute of Science and Technology of Sergipe

² MM Engenharia Diagnóstica e Consultoria

³ Department of Mechanical Engineering, Federal University of Sergipe

⁴ Department of Civil Engineering, Federal University of Sergipe

ABSTRACT

The performance of periodic inspections and maintenance to guarantee the integrity and performance of the structure is essential. Aiming to guide the development of a maintenance and recovery plan for reservoirs in Sergipe, a qualitative-quantitative analysis methodology was developed, aiming at prioritizing structures for further diagnostic expertise. At level 1, 49 reservoirs were inspected, these being reinforced concrete with more than 20 years, evaluating anomalies and pathological manifestations using a GUT matrix, associated with parameters of economic impact and risk to human life. The methodology obtained a technical reference to aid decision making to carry out a level 2 inspection and development of the recovery and reinforcement project.

Keywords: Building Inspection, Water Reservoirs, GUT Matrix.

1. INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil brasileiro tem experimentado os impactos econômicos do envelhecimento de seus empreendimentos e percebido a real importância da inspeção predial, seja a construção antiga ou nova.

O processo da vistoria durante a inspeção é imprescindível para uma boa classificação das não conformidades, anomalias e manifestações patológicas instaladas e visíveis encontradas na estrutura, destacando sua criticidade, risco a vidas humanas, impacto econômico, dentre outros fatores.

A Inspeção Predial é dita pelo IBAPE (2012) como sendo uma ferramenta que propicia a avaliação sistêmica de uma edificação. O IBAPE (2012) e a NBR 16747 (2020) explicitam a necessidade da periodicidade nas inspeções prediais para a mitigação de riscos técnicos e econômicos.

Conforme o IBAPE (2007), a inspeção predial é dividida em três níveis, proporcionais à complexidade da vistoria realizada. O nível 1 visa apenas a identificação das anomalias e falhas aparentes, enquanto a inspeção a nível 2 faz o uso de aparelhos, bem como documentos técnicos específicos, para identificar anomalias e falhas existentes. O nível 3 por sua vez, já é considerado como uma auditoria técnica, abordando uma construção de maior complexidade e elaborando planos de gerenciamento e manutenção. No presente trabalho somente se usou de uma inspeção a nível 1 com objetivo de subsidiar futuras inspeções a nível 2 com uso de ensaios não destrutivos.

A matriz GUT (gravidade, urgência e tendência) é a representação de problemas, ou riscos potenciais, através de quantificações que buscam estabelecer prioridade para abordá-los. A matriz é considerada por Lucinda (2010) como sendo uma ferramenta de priorização baseada na análise de parâmetros de representatividade dos problemas de um sistema. Uma vez que associada à inspeção de nível 1, a matriz proporciona uma avaliação sistemática quali-quantitativa dos elementos estruturais e sistemas construtivos.

Somente no estado de Sergipe degradação de estruturas associada à falta de manutenção foi responsável por diversos acidentes e em alguns casos com vítimas fatais e grande prejuízo à população, como é o caso da ruína da caixa d'água em Dores (2017), a queda da peça metálica do shopping Jardins (2016) e o desabamento da ponte José Américo de Almeida em Pedra Branca (2015).

Dentro desta perspectiva, o artigo em tela apresenta uma proposta metodológica quali-quantitativa desenvolvida para a vistoria de 49 reservatórios de água de abastecimento de água dos tipos: elevado (REL) e apoiado (RAP), sendo estes de concreto armado com idades de construção de 20 a 40 anos.

2. DESENVOLVIMENTO

Inicialmente foi desenvolvido um checklist para a vistoria dos reservatórios, sendo este uma coleta de dados padrão para caracterização da estrutura de reservação, suas regiões limítrofes e as manifestações patológicas e/ou anomalias que neles houvessem.

De modo a melhor investigar os riscos e classes de desempenho, os elementos estruturais dos reservatórios foram analisados individualmente conforme explicitado na Figura 1. As não conformidades e manifestações patológicas presentes nos reservatórios que afetavam as suas funcionalidades e/ou durabilidades foram identificadas e classificadas. Ademais as áreas afetadas pelas anomalias e manifestações patológicas foram aferidas de modo qualitativo.

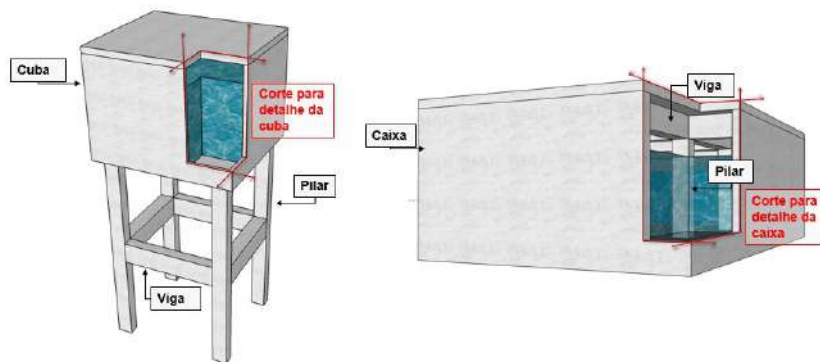


Figura 1. Identificação dos elementos estruturais.

Fonte: Autor (2021)



Figura 2. Representação dos 49 reservatórios vistoriados.

Fonte: Autor (2021)

As anomalias e manifestações patológicas encontradas nos elementos estruturais dos reservatórios foram classificadas diante de sua gravidade, urgência e tendência utilizando a matriz GUT (Tabela 1) proposta por Gomide, Pujadas e Fagundes Neto (2009). A Tabela 2 por sua vez expõe a nota GUT resultante das anomalias e/ou manifestações patológicas observadas.

Tabela 1. Matriz GUT

Grau	Gravidade	Peso
Total	Perda de vidas humanas, do meio ambiente ou do próprio edifício	10
Alta	Ferimentos em pessoas, danos ao meio ambiente ou do edifício	8
Média	Desconfortos, deterioração do meio ambiente ou do edifício	6
Baixa	Pequenos incômodos ou pequenos prejuízos financeiros	3
Nenhuma	-	1
Grau	Urgência	Peso
Total	Evento em ocorrência	10
Alta	Evento prestes a ocorrer	8
Média	Evento prognosticado para breve	6
Baixa	Evento prognosticado para adiante	3

Nenhuma	Evento imprevisto	1
Grau	Tendência	Peso
Total	Evolução imediata	10
Alta	Evolução em curto prazo	8
Média	Evolução em médio prazo	6
Baixa	Evolução em longo prazo	3
Nenhuma	Não vai evoluir	1

Fonte: Gomide, Pujadas e Fagundes Neto (2009).

Tabela 2. Matriz GUT das anomalias e/ou manifestações patológicas observadas

Descrição da irregularidade	G	U	T	G×U×T
Fissuras e trincas	6	3	3	54
Infiltração	6	10	6	360
Lixiviação do concreto	3	3	3	27
Perda de seção do cobrimento de concreto	8	10	6	480
Corrosão eletroquímica	6	10	6	360
Deterioração do concreto	6	3	1	18

Fonte: Autor (2021).

Para a obtenção de uma análise quali-quantitativa dos elementos estruturais dos reservatórios foram aferidas durante a realização da vistoria, as áreas afetadas pelas anomalias e/ou manifestações patológicas instaladas nos mesmos, utilizando como referência de classificação a Tabela 3.

Tabela 3. Porcentagens qualitativas de área afetada.

Área afetada (af)	Degradação do elemento estrutural
af = 0%	Não apresenta manifestação da anomalia e/ou manifestação patológica.
0% < af < 25%	Pouca influência de anomalia e/ou manifestação patológica, iniciação da mesma; Sem riscos à segurança.
25% < af < 50%	Presença significativa da anomalia e/ou manifestação patológica, propagação da mesma; Risco baixo à segurança.
50% < af < 75%	Estado crítico, anomalia e/ou manifestação patológica instalada de forma generalizada; Risco médio à segurança.
75% < af ≤ 100%	Elemento inutilizado pela anomalia e/ou manifestação patológica; Risco alto à segurança.

Fonte: Autor (2021).

Para encontrar a prioridade de cada um dos reservatórios foi elaborado um modelo de cálculo para obtenção de uma pontuação. O modelo considera o somatório das áreas afetadas por anomalias e/ou manifestações patológicas multiplicada por sua respectiva pontuação da matriz GUT, sendo passível de majoração caso necessário como de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Majorações consideradas.

Situação	Majoração (M)
Reservatório elevado com desaprumo	50%
Risco humano alto – Risco de acidentes com perda de vidas humanas	50%
Risco humano baixo – Risco de acidentes com danos materiais à população	25%
Alta interferência na rede de distribuição de água – Reservatórios de grande volume (acima de 200m ³) ou com muitos dependentes de abastecimento	50%
Média interferência na rede de distribuição de água – Reservatórios de grande capacidade (acima de 200m ³) que abastecem a sede	25%
Presença de vazamentos na cuba	25%
Majoração da parcela das anomalias nos pilares na pontuação do reservatório	30%

Fonte: Autor (2021).

O cálculo da pontuação do reservatório é apresentado na equação 1 e 2:

$$Maj = \prod(1 + M) \quad (1)$$

$$Pontuação = Maj * (\sum(af * GUT)) \quad (2)$$

Onde Maj = majoração total adotada; M = majoração adotada de acordo com a situação do reservatório; af = área afetada pela respectiva anomalia e/ou manifestação patológica; GUT = pontuação GUT da respectiva anomalia e/ou manifestação patológica; Pontuação = pontuação usada para a priorização dos elementos.

3. RESULTADOS

3.1 Da análise do risco humano e impacto dos reservatórios

A respeito do risco humano considerou-se a presença de habitações adjacentes aos reservatórios e o grau de deterioração destes. Os REL's possuem um risco humano superior aos apoiados, dado que, na hipótese de ruína destes, o elevado tombaria sua estrutura para o lado mais degradado, podendo atingir uma habitação e gerar vítimas fatais. No caso do RAP a sua ruína representaria um risco médio com danos materiais e financeiros à região, uma vez sua água armazenada seria liberada de modo súbito.

Outro parâmetro de suma importância para a tomada de decisão em caso de recuperação é o impacto do reservatório para a rede de abastecimento. Tendo em vista que esse implica na paralisação das atividades.

Dos 49 reservatórios vistoriados 29 eram elevados e 20 eram apoiados. Enquanto os REL's encontram-se no meio urbano, a maior parte dos RAP's situam-se em regiões mais isoladas, sendo estes de transição entre as regiões de abastecimento. Como pode ser observado na Figura 4, os RAP's apresentam um maior impacto no abastecimento hídrico, por serem em sua maior parte de transição e possuírem uma maior capacidade de armazenamento de água.

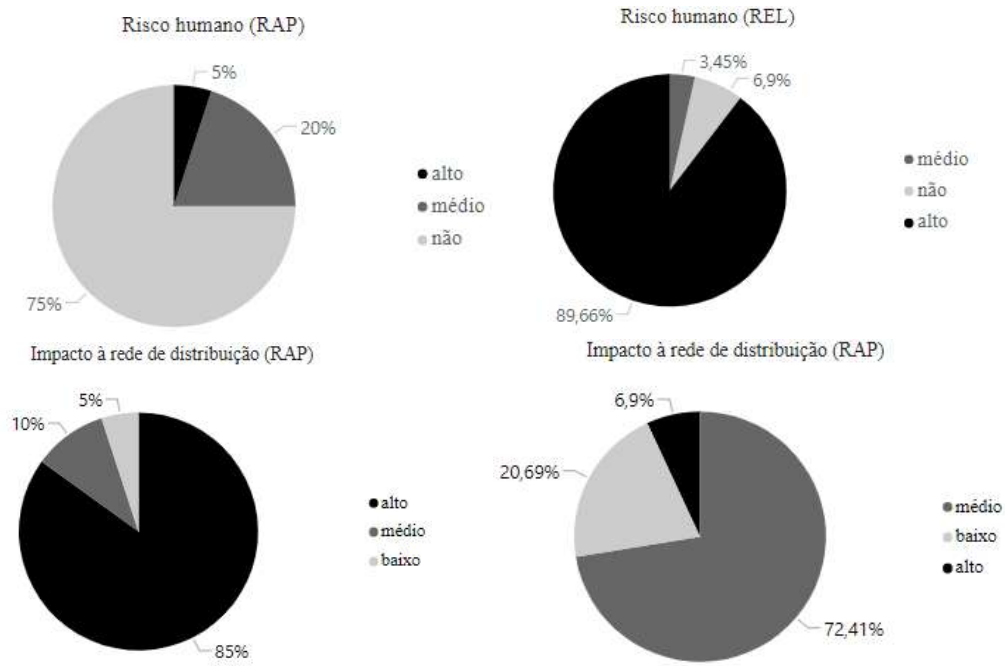


Figura 4. Análise do risco humano e impacto ao abastecimento hídrico.
 Fonte: Autor (2021)

3.2 Resultados agrupados por manifestações patológicas

A partir da Figura 5 é evidenciado que a corrosão nas vigas de concreto armado é a manifestação patológica mais preponderante, representando 14,08% das ocorrências, seguida da corrosão na cuba/caixa (12,85%) e nos pilares (12,06%).

Destaca-se ainda a manifestação patológica mais predominante como sendo a corrosão eletroquímica nos elementos estruturais, o conhecimento desse fator orienta a recuperação e manutenção dessas estruturas de reservação.

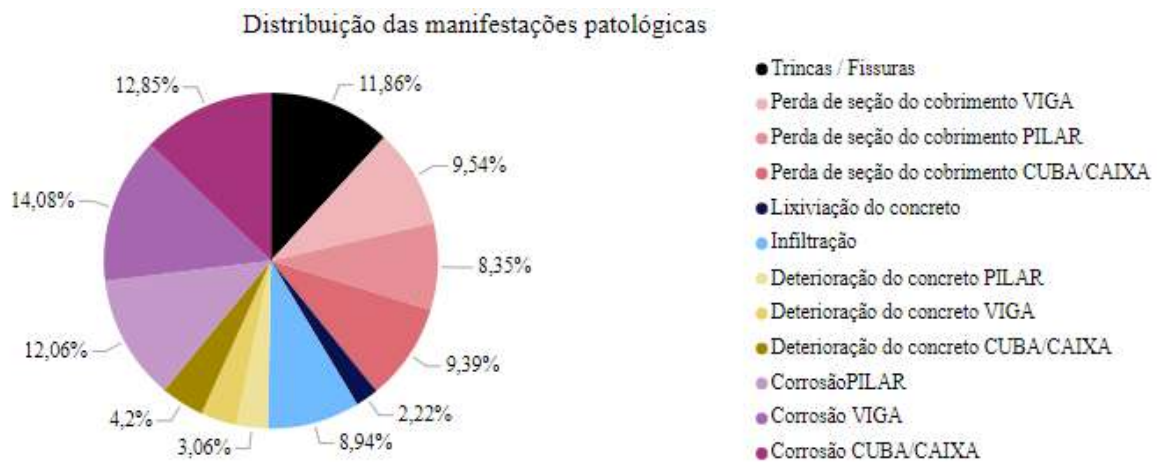


Figura 5. Distribuição de manifestação patológicas por elementos estruturais.
 Fonte: Autor (2021)

Para uma classificação do elemento estrutural em relação à sua degradação foi estabelecida uma equação usando parâmetros empíricos, tendo como limites o pior e o melhor elemento estrutural vistoriado, dando fundamentação à Equação 3. Somente considerou manifestações patológicas que afetassem o desempenho estrutural do reservatório como a corrosão eletroquímica, perda de seção de concreto e deterioração do concreto. O resultado da análise dentro do coletado através da Equação 3 é exposto na Tabela 5.

$$Eel = af_{corr} + af_{desp} + af_{det} \quad (3)$$

Onde: Eel= estado do elemento; af_{corr} = área afetada por corrosão; af_{desp} = área afetada por deslocamento de concreto; af_{det} = área afetada por deterioração do concreto.

Tabela 5. Classificação do estado dos elementos estruturais.

Estado	Pontuação	Descrição
Bom	$50\% > Eel$	Não possui manifestações patológicas ou apenas apresenta pequenos indícios de início do processo.
Médio	$75\% > Eel \geq 50\%$	Focos superficiais visíveis da manifestação patológica, sem danos a estrutura e de fácil recuperação.
Ruim	$150\% > Eel \geq 75\%$	As manifestações patológicas apresentam riscos estruturais e recuperação custosa, requerendo maior conhecimento técnico.
Péssimo	$200\% > Eel \geq 150\%$	Demanda recuperação urgente. Não atendendo mais às especificações de projeto devido à sua degradação estrutural.
Ruína	$Eel \geq 200\%$	Não atende mais às especificações de projeto e oferece riscos de ruína necessitando demolição e reconstrução ou encamisamento.

Fonte: Autor (2021)

3.2.1 Dos pilares

A maior parte dos pilares apresentaram-se em um estado bom, considerando a classificação da Tabela 5. No entanto 6,12% dos pilares encontram-se em um estado de ruína, o que representa 3 reservatórios com pilares em estado de ruína, sendo 1 elevado e 2 apoiados (inativos).

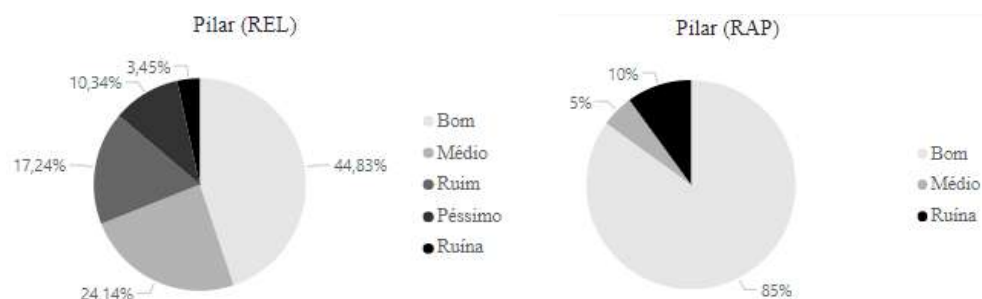


Figura 6. Análise do estado de conservação dos pilares.

Fonte: Autor (2021)

Nos RAP's os pilares permanecem submersos, logo a ausência de oxigênio interrompe a cinética do processo corrosivo. Enquanto os pilares dos REL's estão em contato com uma atmosfera agressiva e, na maioria das vezes, com corrimento e respingo de água clorada em sua superfície, agravando o processo corrosivo no elemento.

Os pilares em estado de ruína nos RAP's foram elementos que, devido à inatividade do reservatório, obtiveram contato com oxigênio e com resistividade baixa devida à penetração de íons cloreto, tendo assim um processo corrosivo intenso.



Figura 7. Pilar em estado de ruína em REL.

Fonte: Autor (2021)

3.2.2 Das vigas

As vigas encontram-se em sua maior parte com um bom estado, com 37,93% para os REL's e 45% para os RAP's. Não obstante, mais de 30% das vigas apresentam-se em um estado médio e 20% em um estado ruim, o que permite inferir que as vigas obtiveram um estado de degradação maior que os pilares. Mediante o exposto, as vigas dos REL's demonstraram uma maior degradação em relação a dos RAP's.

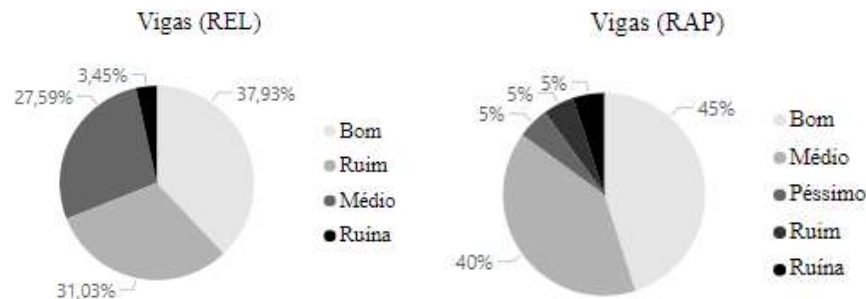


Figura 8. Análise do estado de conservação das vigas

Fonte: Autor (2021)

As vigas dos RAP's estão submetidas a uma alta agressividade ambiental por estarem em um ambiente confinado com intensa presença de vapores de água clorada. De modo que, por meio da corrosão eletroquímica, tendem a se degradar mais rápido do que as vigas dos REL's, com consequente deslocamento do seu concreto de cobertura.



Figura 9. Vigas em estado de ruína em RAP.

Fonte: Autor (2021)

No entanto, como quase todos os REL's possuíam vazamentos nas juntas das tubulações de ferro fundido, as suas respectivas vigas ficavam submetidas à respingos de água clorada constantemente, gerando regiões pontuais de foco de corrosão e deslocamento do concreto.

Salienta-se também a existência do acúmulo de água nas regiões de engaste viga-pilar da maioria dos REL's. Onde ocorria o processo da corrosão com fissuração do concreto, como consequência tanto da falta de cobertura, quanto da alta densidade de aço.

3.2.3 Das caixas/cubas

As caixas/cubas dos reservatórios são compostas por laje, de topo e de fundo, e paredes de concreto armado. Neste conjunto, o elemento estrutural mais afetado é a região da laje de topo interna à caixa/cuba por não possuir proteção química face os vapores de cloro, resultando em uma intensa corrosão com conseqüente deslocamento do concreto. Em praticamente todos os reservatórios observou-se a presença desta manifestação.

Apesar de 55,17% das cubas revelaram-se em um bom estado, apenas 10% das caixas estavam nesta classificação, conforme exposto na Figura 10. Observou-se ainda que as caixas em sua maioria possuíam grandes focos de corrosão na sua laje de topo interna e uma intensa presença de fissuras e trincas com infiltrações e eflorescências.

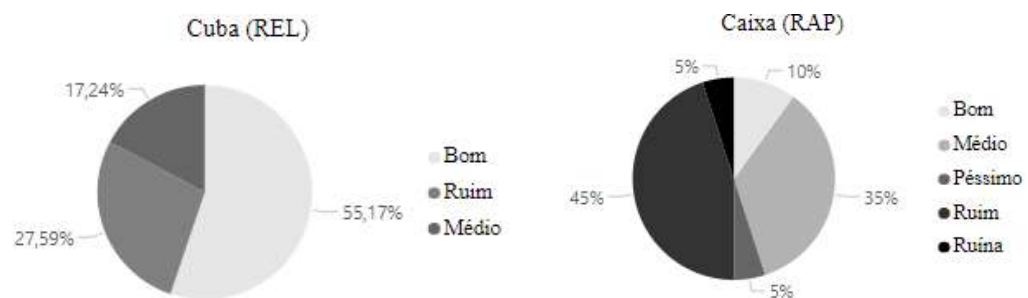


Figura 10. Análise do estado de conservação das caixas/cubas
Fonte: Autor (2021)



Figura 11. Laje do topo da caixa em estado de ruína
Fonte: Autor (2021)



Figura 12. Paredes de caixas em estado ruim

Fonte: Autor (2021)

3.2.4 Do estado serviço dos reservatórios

Cerca de 61% dos reservatórios possuíam infiltração na sua caixa/cuba, com presença de manchas da parede da estrutura e até mesmo presença de vegetação instalada. Destaca-se que 6 REL's continham vazamentos que inviabilizavam sua operação em sua totalidade de reservação.

Com relação ao desaprumo, apenas 3 REL's encontravam-se nessa situação, destaca-se que um desses se encontrava inativo, Figura 13. Os outros dois reservatórios desaprumados estavam estáveis, sem risco de tombamento e sem manifestação patológica grave em seus pilares, estes podem ser visualizados na Figura 14.



Figura 13. REL desaprumado inativo.
Fonte: Autor (2021)



Figura 14. REL's desaprumados ativos.
Fonte: Autor (2021)

4. CONCLUSÕES

A realização de inspeções periódicas de nível 1 é fato obrigatório a toda e qualquer estrutura, independentemente de seu sistema construtivo. No entanto, a cultura de inspeção e manutenção preventiva não é prioritária na maior parte das vezes. A realização das vistorias evidenciou o impacto dessa negligência, apontando o mau envelhecimento das estruturas de concreto armado dos reservatórios, que sem a devida manutenção ficaram à deriva do tempo.

Com a utilização da metodologia desenvolvida neste trabalho foi possível a realização de uma lista de priorização, para realização de inspeção a nível 2, com elaboração de projetos de recuperação em reforço condizentes com a realidade, isto é, o critério empírico do modelo permitiu uma adequação dos casos para com as suas respectivas análises.

A partir da análise quanti-qualitativa, pôde-se avaliar as manifestações patológicas mais presentes e constantes nas estruturas, no caso apresentado, a corrosão eletroquímica. O conhecimento deste fator é importante para a elaboração de planos de manutenção.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.575-2: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os Sistemas Estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

Caixa d'água desaba e mata duas crianças em escola de Nossa Senhora das Dores, diz polícia. G1, Sergipe, 06 de nov. de 2017. Disponível em: <http://www.f5news.com.br/cotidiano/corrosao-precoce-de-estrutura-levou-a-queda-da-caixa-d%E2%80%99%E2%82%80gua-em-dores-se_42975/>. Acessado em 22 de jul. 2021.

GOMIDE, T. L. F.; PUJADAS, F. Z. A.; FAGUNDES NETO, J. C. P. Engenharia diagnóstica em edificações. São Paulo: Pini, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÃO E PERÍCIAS (IBAPE). Norma de Inspeção Predial Nacional. São Paulo, 2012. 18p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÃO E PERÍCIAS DE SÃO PAULO (IBAPE). Norma de Inspeção Predial. São Paulo, 2007. 32p.

Laudo do Crea-SE aponta que corrosão provocada pela falta de manutenção causou queda de peça metálica no Shopping Jardins. CREA, Sergipe, 26 de jul. de 2016. Disponível em: <<http://www.crea-se.org.br/laudo-do-crea-se-aponta-que-corrosao-provocada-pela-falta-de-manutencao-causou-queda-de-peca-metalica-no-shopping-jardins/>>. Acesso em: 22 de jul. de 2021.

LUCINDA, M. A. Qualidade: fundamentos e práticas para cursos de graduação. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

Ponte desaba e rompe tubulação de água em Pedra Branca, SE. G1, Sergipe, 09 de mai. de 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/2015/05/ponte-desaba-e-rompe-tubulacao-de-agua-em-pedra-branca-se.html>>. Acesso em: 22 de jul. de 2021.

SHAH, S.P.; SWARTZ, S.E.; OUYANG, C. Fracture mechanics of concrete -applications of fracture mechanics to concrete, rock and other quasi-brittle materials, New York, John Wiley & Sons, 1995.

SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN EN TÚNELES URBANOS

L. López-de Abajo^{1*}, J. C. Gálvez¹, M. G. Alberti¹

* Autor de Contacto: lucia.lopezdeabajo@upm.es

¹ Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid. C/ Profesor Aranguren s/n, 28040, Madrid, España.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es determinar, mediante el empleo de un modelo numérico, el proceso de la carbonatación en el hormigón que se encuentra sometido a altas concentraciones de gases, como las existentes en los túneles urbanos. De esta manera, se obtiene una herramienta que, además de permitir conocer el estado de deterioro actual del material, posibilita el llegar a predecir su evolución en el tiempo. Esta funcionalidad es de gran importancia para el mantenimiento y reparación de estas infraestructuras, dado que hace posible el diagnóstico de sus patologías sin afectar al tráfico. Para ello, se está realizando la adaptación de un modelo ya existente a los condicionantes propios de un túnel urbano y su calibración mediante una campaña experimental.

Palabras clave: carbonatación; dióxido de carbono; hormigón; simulación numérica; túnel urbano.

ABSTRACT

The aim of the present work is to assess the extent of the carbonation process in the concrete that constitutes the structure of urban road tunnels. This assessment is made by simulation using a numerical model. Thus, a powerful tool is developed, as it not only determines the real damage level of the concrete, but it can also predict its deterioration in the future. This feature is particularly relevant for the maintenance and reparation of these kind of infrastructures, as it allows to diagnose the damage of the concrete without interrupting the traffic flow. To this effect, the adaptation of an existing model to the peculiarities of an urban tunnel is being carried out, and also its calibration with an experimental campaign.

Key words: carbonation; carbon dioxide; concrete; numerical simulation; urban tunnel.

1. INTRODUCCIÓN. EL DETERIORO DE LOS TÚNELES URBANOS

Los túneles, por tratarse de estructuras enterradas y por tanto, en contacto directo con el terreno, presentan unas patologías particulares que las diferencian de otras estructuras (Li et al., 2018). Dentro de los daños que se pueden encontrar en un túnel, se puede diferenciar entre aquellos deterioros que afectan a su equipamiento (daños en el sistema de ventilación, megafonía, etc. (Llopis Serrano, 2012)) o aquellos que están relacionados con el propio túnel. En lo que respecta a estos últimos, a su vez, se encuentran los deterioros que afectan a la explotación, es decir, a los vehículos y a los usuarios (como pueden ser excesos de mortero en la losa superior que puedan precipitarse a la calzada) o aquellos que afectan al túnel como estructura. Dentro de estos deterioros se distinguen las patologías que afectan a la resistencia de la estructura (aquellas que afectan a su capacidad de resistir las cargas a las que se ve expuesto) o las que afectan a su durabilidad (cómo responde la estructura ante el ambiente en el que se encuentra) (Ministerio de Fomento, 2010). Teniendo siempre en cuenta que un deterioro relacionado con la durabilidad, si se mantiene en el tiempo y evoluciona desfavorablemente, puede terminar afectando a la resistencia de la estructura (Ministerio de Fomento, 2012).

El presente trabajo se centra en los deterioros de durabilidad que afectan al hormigón armado que conforma la estructura de los túneles urbanos. Y, entre todos los deterioros que pueden dañar este material (lixiviación, ataque por sulfatos, hielo-deshielo, ataque por cloruros, árido-alkali, etc. (Galan et al., 2019)), en la neutralización por exposición a gases, y concretamente, en la carbonatación del hormigón.

La carbonatación es uno de los mecanismos de deterioro más habituales del hormigón armado. Tiene lugar cuando se produce la absorción de CO₂ en presencia de humedad. Este CO₂ absorbido se disuelve en la fase acuosa de los poros y reacciona con el calcio procedente de los compuestos de hidratación del cemento (portlandita, gel CSH, aluminatos y sulfoaluminatos) (Richardson, 2002). Debido a esta reacción se genera CaCO₃ y agua según la fórmula (1), que se encuentra particularizada para la carbonatación de la portlandita.



Si bien produce una serie de efectos positivos para la matriz del hormigón, como pueden ser la reducción de porosidad (Tongaria, et al., 2018), el posible aumento de resistencia a tracción y compresión (Galán, 2011) o la reducción de su permeabilidad (Phung et al., 2016); este proceso puede comprometer la durabilidad del acero de las armaduras del hormigón, dado que se produce

un descenso de su pH de 12,6 (hormigón sano) a 8,3 y es conocido que las armaduras pierden su capa pasiva protectora cuando el pH de su entorno es inferior a 9 y puede producirse su corrosión (Richardson, 2002).

Cabe destacar que la carbonatación se trata de un fenómeno complejo, dado que en ella intervienen una gran cantidad de parámetros, tanto de composición del hormigón, como de ejecución y de ambiente de exposición, que se encuentran relacionados entre sí (López-de Abajo et al., 2020; Singh and Singh, 2016).

Este fenómeno se está estudiando en unos túneles urbanos de gran relevancia para la ciudad de Madrid: los túneles de Calle 30 (López-de Abajo et al., 2020) (cuya denominación era M-30 antes de la cesión al Ayuntamiento). Madrid cuenta con 3,5 millones de habitantes y su área metropolitana con unos 6 millones (Perez-Prada and Monzon, 2014), lo que la convierte en la mayor ciudad de España (Núñez-Alonso et al. 2019). La Calle 30 es uno de los anillos de circunvalación que rodean la ciudad de Madrid, en concreto el más interior, con una IMD aproximada de 200.000 veh/día y una longitud total de 32 km (Perez-Prada and Monzon, 2017). Esta infraestructura se construyó entre los años 1970 y 1990 y entre los años 2004 y 2007 se llevó a cabo el soterramiento de su zona sur, fecha en la que se construyeron los túneles actuales, que tienen una longitud de 8,8km (Perez-Prada and Monzon, 2017).

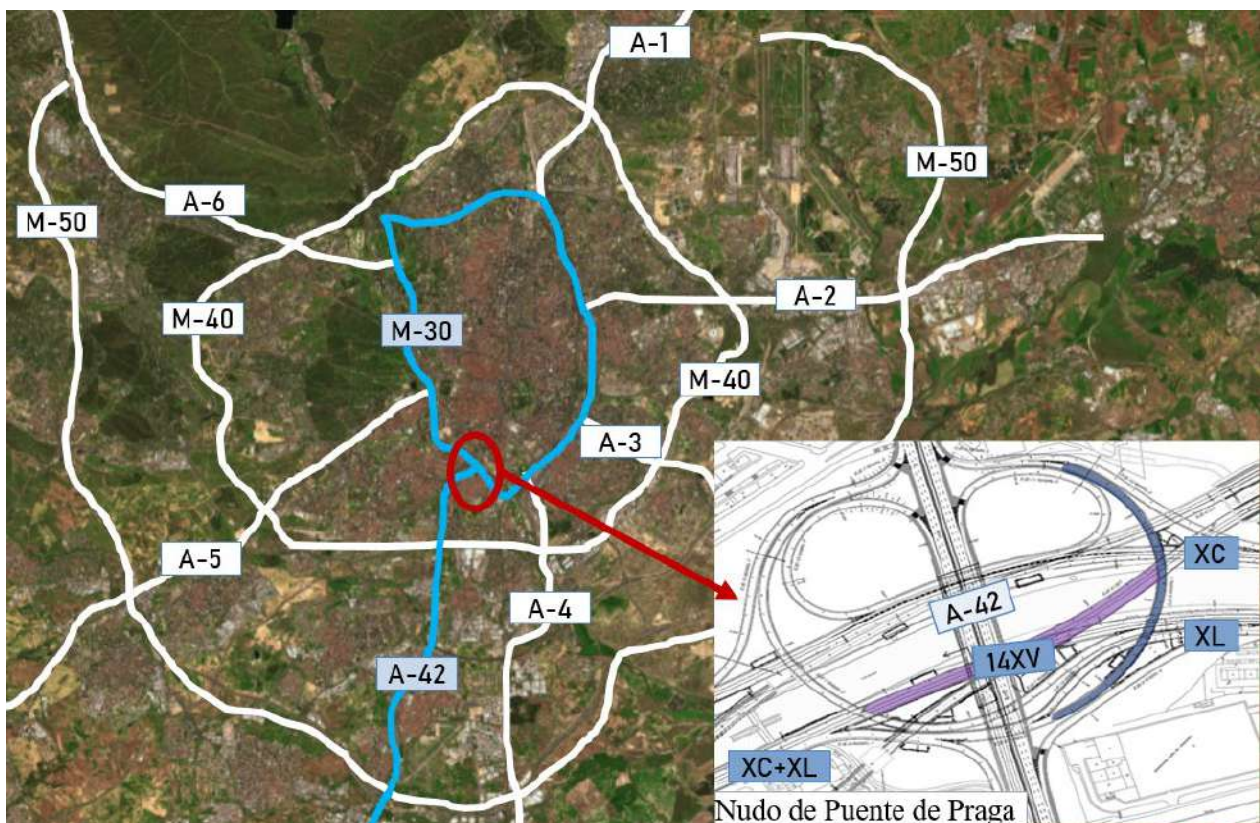


Figura 1. Situación de la galería de ventilación 14XV, Nudo de Puente de Praga y principales vías de circulación.

Concretamente, la zona de estudio se encuentra en el Nudo del Puente de Praga (Figura 1), que materializa el cruce de la Calle 30 con la carretera A-42. En esta zona se produce la particularidad de que las dos calzadas que circulan hacia el sur (XC y XL) se encuentran superpuestas y entre

ellas se localiza una galería de ventilación (14XV) que absorbe los gases producidos por los vehículos que circulan por la calzada y los expulsa hacia el exterior.

Esta galería tiene unas dimensiones aproximadas de 345 m de longitud y 15 m de anchura media y en la Figura 2 (izquierda) se muestra su sección transversal. La zona central de la galería se corresponde con la zona de circulación del aire sucio extraído de la calzada y dispone de dos conducciones de inyección de aire limpio a ambos lados. Se muestra en la Figura 2 (derecha) una imagen tomada en el interior de la galería, en la que se aprecian las mencionadas conducciones de aire limpio.

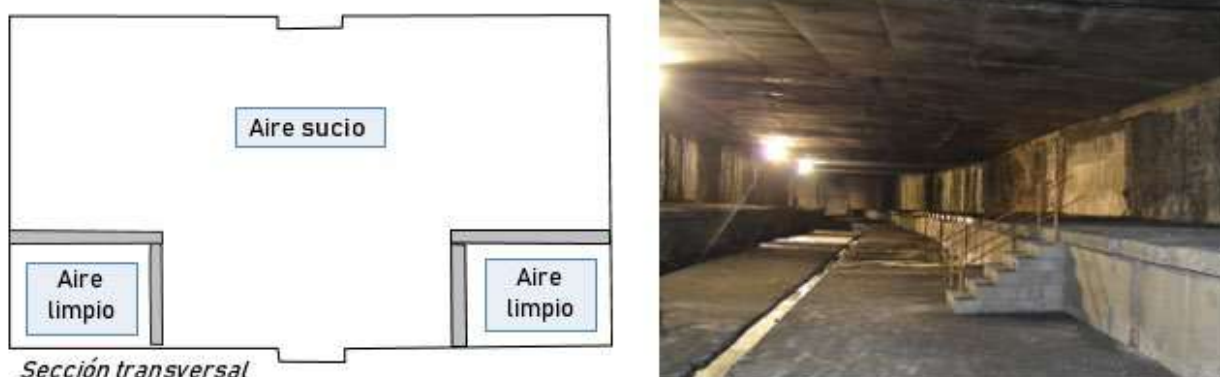


Figura 2. Sección transversal de la galería de ventilación (izquierda) e imagen tomada en el interior de la galería (derecha).

Dado que esta zona de la estructura se encuentra sometida a unas elevadas concentraciones de gases contaminantes, pues en ella se concentran los productos de las emisiones de los vehículos que circulan por esta zona de los túneles, se ha seleccionado como zona de estudio.

En este contexto, dado que se trabaja en una gran infraestructura urbana como Calle 30, es de gran importancia poder determinar y predecir el estado en el que se encuentra el hormigón que conforma el túnel. Cabe destacar que la corrosión de las armaduras del hormigón es un deterioro que implica, además de una posible reducción de la capacidad resistente de la estructura (Papadakis et al., 1989), un gran impacto económico, cuyos costes directos representan del orden del 3,1% en países como Estados Unidos (Angst, 2018). Por ello, es necesario poder conocer y predecir tanto el alcance como el avance de esta patología para poder realizar actuaciones preventivas de mantenimiento o reparación antes de que su evolución sea desfavorable.

Por tanto, poder conocer el estado actual, pero también el estado futuro del deterioro del material supone un gran avance de cara a la planificación del mantenimiento y reparaciones sin necesidad de producir alteraciones en la circulación del tráfico. Para ello, se está desarrollando un modelo numérico que permita determinar el avance del frente de carbonatación en el hormigón, de manera que sea posible predecir el momento en el que esa disminución de pH en el interior del hormigón podría alcanzar a las armaduras y posibilitar su corrosión. Asimismo, este modelo se está calibrando con una campaña experimental llevada a cabo en laboratorio y en la propia galería de ventilación del túnel.

2. SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA CARBONATACIÓN

Como se ha indicado anteriormente, en el proceso de la carbonatación intervienen una importante cantidad de parámetros que presentan una gran interdependencia, lo que hace que se trate de un fenómeno complejo y que su simulación sea complicada.

Existen en la actualidad una amplia variedad de modelos que estudian este fenómeno desde diferentes aproximaciones, desde modelos empíricos (Papadakis et al., 1991a; Parrott, 1994), estadísticos (Ann et al., 2010; Hills et al., 2015) o incluso de simulación mediante redes neuronales (Kwon and Song, 2010; Luo et al., 2014). Entre todos estos modelos, por su mayor precisión a la hora de analizar el proceso de deterioro del material, se ha seleccionado un modelo numérico, concretamente el modelo de Phung (Phung et al., 2016). Este modelo se desarrolla en el contexto del estudio de estructuras enterradas para eliminación de residuos radiactivos, sometidas a una elevada presión hidrostática y a muy altas concentraciones de CO₂. Si bien se trata de un escenario diferente al del estudio de la carbonatación en túneles urbanos, este modelo es muy completo y detallado, por lo que se está procediendo a su adaptación y particularización a los condicionantes concretos de un túnel urbano.

El modelo de Phung (Phung et al. 2016) es un modelo unidimensional que tiene en cuenta las siguientes consideraciones: estudia tanto el transporte por difusión como el transporte por advección, tiene en cuenta la carbonatación de la portlandita y del gel CSH y asume que la hidratación del hormigón no varía durante el proceso de carbonatación.

Mediante estos supuestos, predice cambios en el frente de carbonatación, contenido de portlandita, variación del perfil de pH en el interior de la pieza, cantidad de CO₂ absorbido y cambios en permeabilidad, porosidad, saturación y coeficiente de difusión.

Las principales modificaciones que deben realizarse para adaptarlo a los condicionantes propios de un túnel son las siguientes:

- Dado que el modelo de referencia está calibrado para pastas de cemento, debe realizarse su adaptación para poder trabajar con morteros y hormigones.
- El modelo considera el empleo de cemento tipo I y adiciones de filler calizo, por lo que debe adaptarse también para trabajar con adiciones de humo de sílice.
- Dado que el modelo existente está calibrado para simular ensayos a muy altas concentraciones de CO₂ y elevadas presiones, debe adaptarse a los condicionantes de presión atmosférica y concentraciones de CO₂ similares a las existentes en los túneles urbanos.
- El modelo base considera que la hidratación del hormigón es constante durante el proceso de carbonatación porque trabaja con ensayos cortos. Sin embargo, dado que se va a simular un proceso de carbonatación del orden de años, sí debe tenerse en cuenta esta variación de la hidratación.

El modelo se basa, fundamentalmente, en tres ecuaciones de conservación de la masa de aquellos agentes implicados en el proceso de carbonatación como son: el CO₂ (en fase gaseosa y acuosa), el ion Ca²⁺ y el agua (en fase líquida y en fase vapor).

Estas ecuaciones de balance de masa tienen la forma que se indica en la ecuación (2), en la que C es la concentración en el interior de la muestra [kg/m^3], J es el flujo que la atraviesa [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$] y Q es el término de reacción química [$\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{s}$].

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial x} = -Q \quad (2)$$

En la Figura 3 se esquematiza el sentido físico de esta ecuación de conservación de masa. En dicha figura se representa una muestra de hormigón que tiene una cierta concentración en su interior C , es atravesada por un flujo J y tiene una reactividad química Q . Esta ecuación indica que la variación de masa en el interior de la pieza con respecto al flujo que la atraviesa es constante. De esta manera, se combinan los conceptos de transporte con los de reactividad química, lo cual es de gran relevancia, dado que en el fenómeno de la carbonatación intervienen ambos procesos.

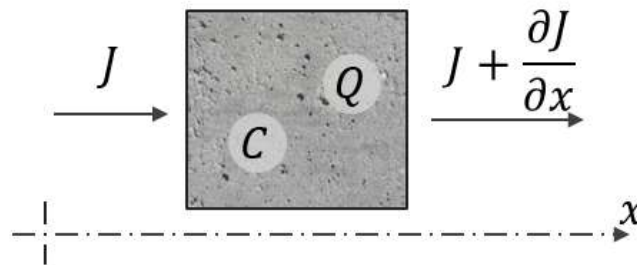


Figura 3. Esquema de funcionamiento de la ecuación de balance de masa en una muestra de hormigón atravesada por un flujo J .

Siguiendo el esquema de la ecuación (2), las ecuaciones diferenciales que describen el modelo se construyen como se indica a continuación. Tomando como ejemplo la ecuación de conservación del CO_2 , que se indica de manera simplificada en (3), se aprecia que tiene tres términos que se corresponden con la variación de la concentración en el interior de la pieza con el tiempo, la variación del flujo que la atraviesa y un término de reacción química.

$$\frac{\partial(\phi(1-S)c_g + \phi S c_w)}{\partial t} - \frac{\partial(J_g + J_w)}{\partial x} = -r\phi M_{\text{CO}_2} \quad (3)$$

El término de concentración en el interior de la pieza se divide a su vez en dos sumandos, que se corresponden con la concentración gaseosa c_g [kg/m^3] y la concentración acuosa c_w [kg/m^3] existentes en el interior de los poros, donde S es la saturación [-] y Φ es la porosidad [-]. Ambas concentraciones se relacionan mediante la Ley de Henry.

El término correspondiente a la variación del flujo tiene en cuenta también las fases gaseosa y acuosa, siendo J_g el flujo de la fase gaseosa [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$] y J_w el flujo de la fase acuosa [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]. Estos flujos, a su vez, se descomponen en dos términos dado que tienen en cuenta tanto el flujo por advección como el flujo por difusión. En (4) se indica la ecuación del flujo gaseoso J_g , siendo la del flujo acuoso J_w una expresión análoga.

$$J_g = - \left[c_g v_g + D_{ef,g} \frac{\partial c_g}{\partial x} \right] \quad (4)$$

El primer término de la ecuación (4) se corresponde con el transporte por advección, en el que v_g es la densidad de flujo volumétrico de la fase gaseosa [m/s] que se calcula mediante la Ley de Darcy. El segundo término de la ecuación se corresponde con el transporte por difusión que se calcula mediante la Ley de Fick, donde $D_{ef,g}$ es el coeficiente de difusión efectivo de la fase gaseosa [m²/s].

En cuanto al último término, el correspondiente a la reactividad química, tiene en cuenta tanto la variación de concentración debida a la portlandita como la correspondiente al CSH, como se indica en (5).

$$r = -\frac{\partial[CH]}{\partial t} - \frac{\partial[CSH]}{\partial t} \quad (5)$$

Con este modelo, que se está implementando, adaptando y calibrando mediante el software COMSOL Multiphysics, se han obtenido ciertos resultados preliminares que se muestran seguidamente. Actualmente se está trabajando con una geometría como la representada en la Figura 4, que se trata de una pieza de hormigón unidimensional de 3cm que se encuentra sometida a la acción del CO₂ en su extremo izquierdo.

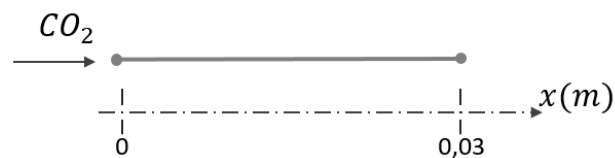


Figura 4. Esquema de la pieza unidimensional de hormigón que se emplea en el modelo.

Se ha comprobado, como se muestra en la Figura 5, que a medida que aumenta la porosidad de la muestra de hormigón (a igualdad del resto de factores, tanto de composición como de exposición), aumenta también la concentración de CO₂ en la fase acuosa de los poros. Este resultado se debe a que el avance de la carbonatación es más notable en aquellos hormigones que presentan una mayor porosidad (Valcuende and Parra, 2010).

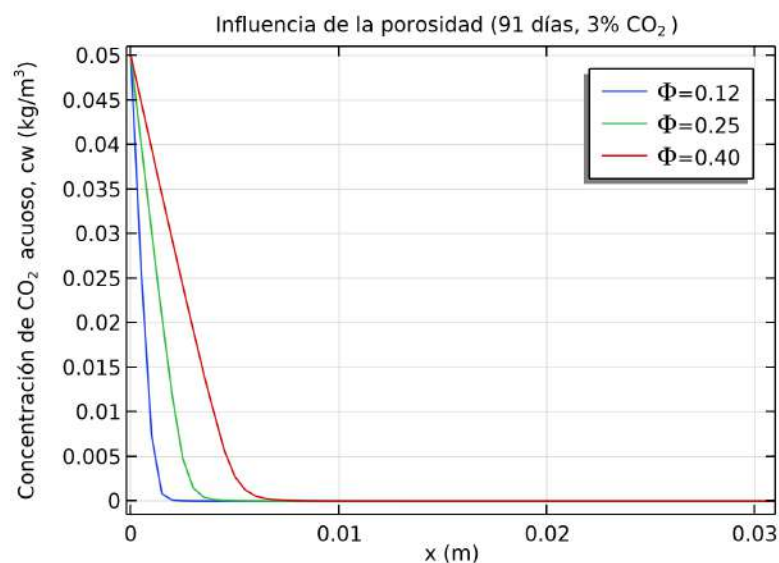


Figura 5. Influencia de la variación de porosidad en el avance de la concentración de CO₂ acuoso en el interior de la pieza de hormigón.

Además, la carbonatación tiene un efecto reductor de la porosidad en la zona carbonatada con respecto a la zona sana del hormigón, dado que, por un lado, el CaCO_3 que se forma tiene un volumen mayor que la portlandita que desaparece; y, por otro, aunque la descalcificación del CSH que podría aumentar en cierta medida la porosidad de la muestra, al formarse también CaCO_3 a partir del calcio del CSH, la porosidad total de la muestra disminuye (Morandeu, 2014). Este comportamiento se aprecia en la Figura 6, donde se observa cómo a medida que aumenta el tiempo de exposición de la muestra al ambiente de carbonatación, la porosidad de la zona carbonatada disminuye.

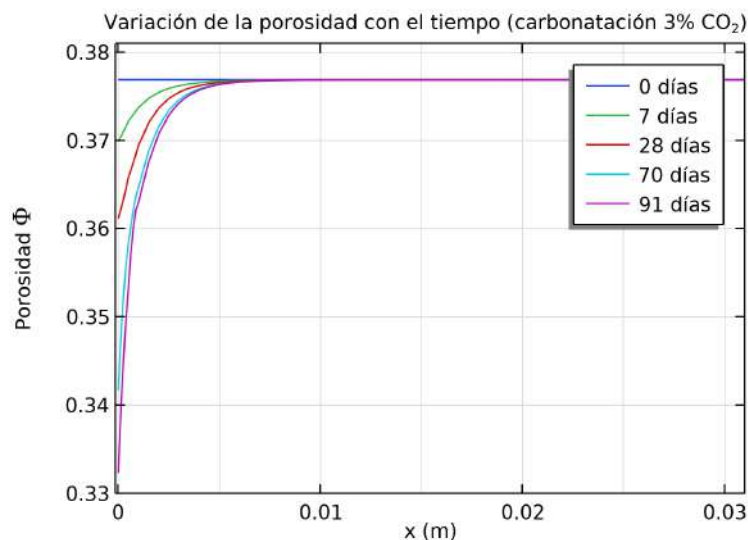


Figura 6. Variación de la porosidad en la zona carbonatada con el tiempo de exposición de la pieza al CO_2 .

En cuanto al efecto de la saturación en la porosidad, es conocido que valores muy bajos ralentizan la carbonatación (dado que para que se produzca el deterioro es necesario contar con la presencia de humedad) y que valores muy altos de saturación son contrarios también al avance de la carbonatación, dado que dificulta la entrada del CO_2 gaseoso en el poro (Papadakis et al., 1991b). Este último comportamiento se muestra en la Figura 7, donde se observa que, en rangos altos de saturación, a medida que aumenta este parámetro (a igualdad del resto de factores, tanto de composición como de exposición), disminuye también la concentración de CO_2 en la fase acuosa de los poros.

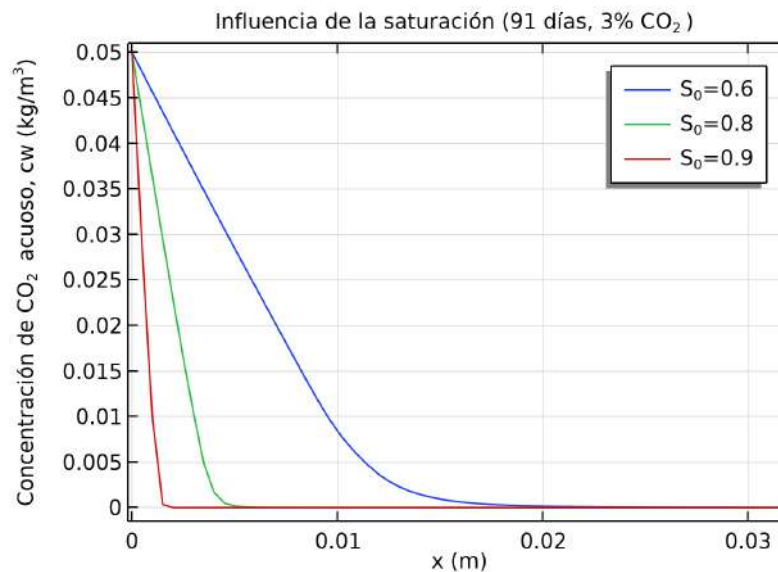


Figura 7. Influencia de la variación del grado de saturación en el avance de la concentración de CO₂ acuoso en el interior de la pieza de hormigón.

3. CAMPAÑA EXPERIMENTAL

Para poder calibrar el modelo anteriormente descrito y adaptarlo a las condiciones particulares del túnel de estudio, se está llevando a cabo una campaña experimental en dos fases. Por un lado, una fase realizada en laboratorio mediante la fabricación de morteros y hormigones; y otra fase diferenciada, en la que se analizan muestras y se estudian datos tomados en el interior del túnel.

En la campaña experimental que se está llevando a cabo en el laboratorio, se han fabricado morteros y hormigones con diferentes dosificaciones variando la relación agua/cemento y empleando cemento tipo CEM I con y sin adiciones de humo de sílice en unos porcentajes de 6% y 10% con respecto al peso de cemento. Se seleccionaron estas adiciones debido a que, según el Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto de Construcción, los hormigones empleados en la construcción de los túneles tenían una cierta adición de humo de sílice.

Sobre estas muestras, se están llevando a cabo ensayos de caracterización del material y ensayos de carbonatación acelerada y natural, como los que se muestran en la Figura 8. En la imagen de la izquierda se muestra una probeta de mortero sobre la que se han pulverizado tres indicadores distintos: fenolftaleína (8,2-9,8), timolftaleína (8,6-10,0) y rojo de cresol (7,0-8,8). Dado que estos tres indicadores viran a diferentes intervalos de pH, se obtiene una mayor información de este ensayo. Como se observa en la imagen, el mayor frente se obtiene con la timolftaleína, seguido de la fenolftaleína y del rojo de cresol. En cuanto a este último indicador, se ha seleccionado por su bajo pH de viraje, dado que está previsto realizar también ensayos acelerados con SO₂ que, previsiblemente, producirán un mayor descenso del pH de las muestras.



Figura 8. Ensayos de carbonatación llevados a cabo en morteros. Empleo de tres indicadores (izquierda) y cámara de carbonatación acelerada (derecha).

En cuanto a la campaña experimental que se está llevando a cabo en el interior del túnel, se ha realizado una determinación de las concentraciones de gases existentes en el interior de la galería de ventilación. Esta toma de datos se realizó durante un periodo de 15 días y se midieron concentraciones de CO_2 , CO , SO_2 , NO_x , H_2S y O_3 y de partículas PM_1 , $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} ; así como parámetros ambientales. Las medias de los valores registrados se muestran en la Figura 9, donde se observa que el gas que presenta una mayor concentración es el CO_2 , seguido en menor medida por las concentraciones de CO , SO_2 y NO_x . Se han registrado también unas ciertas concentraciones de H_2S y O_3 .

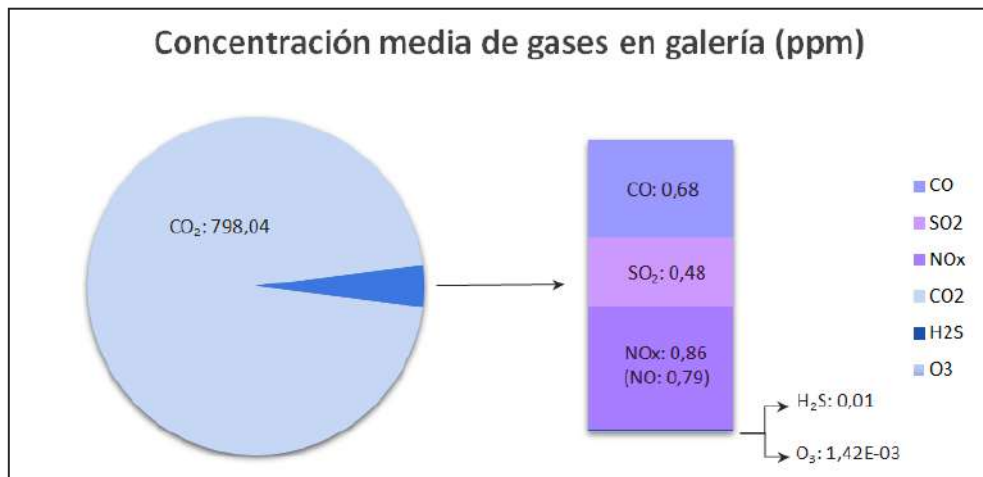


Figura 9. Ensayos de carbonatación llevados a cabo en morteros. Empleo de tres indicadores (izquierda) y cámara de carbonatación acelerada (derecha).

Mediante esta toma de datos, además de conocer las concentraciones de gases que existen en la galería de ventilación, se ha observado que su variación a lo largo del día y a lo largo de la semana se encuentra fuertemente influenciada por el tráfico que circula por la calzada (Figura 10). Para llegar a esta conclusión, se ha realizado también un estudio del tráfico que circuló durante los días de toma de datos por la calzada del túnel, así como de las concentraciones de CO y NO que se miden diariamente como parte de la gestión de la infraestructura.

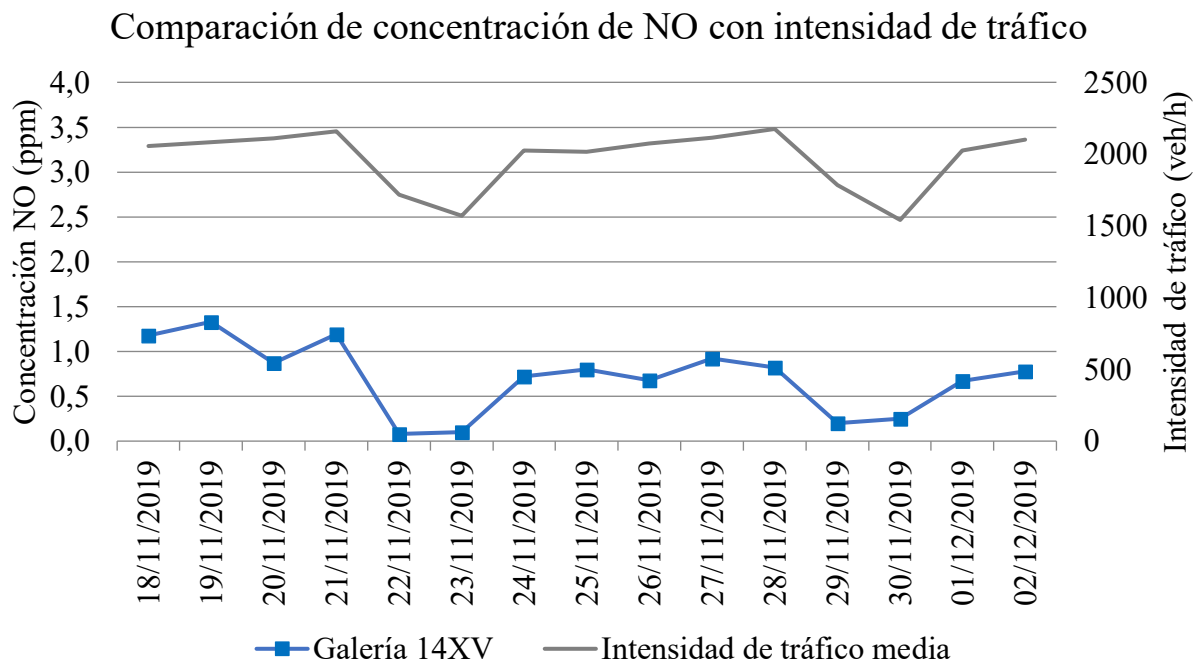


Figura 10. Comparación de la concentración de NO medida en la galería de ventilación y la intensidad de tráfico que circulaba por la calzada.

La importancia y el interés de esta conclusión residen en la capacidad de realizar una estimación precisa de la concentración de gases a la que se ha visto expuesto el hormigón de la galería desde su construcción, basada en el registro de intensidades de tráfico del que se dispone. De esta manera, y mediante la extracción y análisis de testigos del hormigón de la galería, es posible conocer el grado de deterioro del material que ha producido dicha concentración de gases. Pero, además, posibilita también realizar una predicción a futuro de las concentraciones a las que se verá expuesta la galería en los próximos años y, por tanto, estimar el grado de deterioro que presentará el material y la necesidad, o no, de reparación de la estructura.

4. CONCLUSIONES

En los túneles urbanos se puede producir el deterioro del hormigón que los conforma debido a la neutralización provocada por los gases de los vehículos que circulan por sus calzadas y, en especial, a la carbonatación que produce el CO_2 . Estos mecanismos de deterioro provocan un descenso del pH en el interior del material (de 12,6 en hormigón sano a 8,3) que puede comprometer la durabilidad del acero de las armaduras, dado que su despasivación se produce cuando se encuentran en un entorno con un pH inferior a 9, favoreciendo la aparición de la corrosión.

Es de gran importancia poder conocer y predecir el estado de deterioro de una infraestructura de gran envergadura como los túneles de la Calle 30 en Madrid, dado que la corrosión implica consecuencias tanto estructurales como económicas.

La carbonatación del hormigón es un fenómeno complejo y su simulación no es sencilla, por lo que para poder predecir y conocer el estado del material, es importante poder contar con modelos de deterioro y ciclo de vida de la estructura. Estos modelos deben calibrarse mediante una campaña experimental.

El empleo de estos modelos como herramienta para la conservación de estructuras es de gran relevancia, dado que permiten conocer y predecir el estado de deterioro del material sin que se afecte al tráfico que circula por las mismas.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación la concesión de la ayuda BIA2016-78742-C2-2-R, y a Calle 30 la financiación de la Cátedra Universidad Empresa “Calle 30”.

6. REFERENCIAS

- Angst, U. M. 2018. “Challenges and Opportunities in Corrosion of Steel in Concrete.” *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 51(1):1–20. doi: 10.1617/s11527-017-1131-6.
- Ann, K. Y., S. W. Pack, J. P. Hwang, H. W. Song, and S. H. Kim. 2010. “Service Life Prediction of a Concrete Bridge Structure Subjected to Carbonation.” *Construction and Building Materials* 24(8):1494–1501. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.01.023.
- Galán, I. 2011. “Carbonatación Del Hormigón: Combinación de CO₂ Con Las Fases Hidratadas Del Cemento y Frente de Cambio de PH.” Universidad Complutense de Madrid.
- Galan, I., Balderman A., Kusterle, W., Dietzel, M. and Mittermayr, F. 2019. “Durability of Shotcrete for Underground Support– Review and Update.” *Construction and Building Materials* 202:465–93. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.151.
- Hills, T. P., Gordon, F., Florin, N. H. and Fennell, P. S. 2015. “Statistical Analysis of the Carbonation Rate of Concrete.” *Cement and Concrete Research* 72:98–107. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.02.007.
- Tongaria K., Mandal S. and Mohan, D. 2018. “A Review on Carbonation of Concrete and Its Prediction Modelling.” *Journal of Environmental Nanotechnology* 7(4):75–90. doi: 10.13074/jent.2018.12.184325.
- Kwon, S J and Song, H.W. 2010. “Analysis of Carbonation Behavior in Concrete Using Neural Network Algorithm and Carbonation Modeling.” *Cement and Concrete Research* 40(1):119–27. doi: 10.1016/j.cemconres.2009.08.022.
- Li, C., Wu, M., Chen, Q. and Jiang, Z. 2018. “Chemical and Mineralogical Alterations of Concrete Subjected to Chemical Attacks in Complex Underground Tunnel Environments during 20–36 Years.” *Cement and Concrete Composites* 86:139–59. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2017.11.007.
- Llopis Serrano, G. 2012. “Inspección de Túneles de Carretera de La Dirección General de Carreteras Del Ministerio de Fomento.” *Rutas* 149:33–38.
- López-de Abajo, L., Alberti, M.G. and Gálvez, J. C. 2020. “Critical Review on Concrete Carbonation: Factors Involved and Mathematical Modelling.” in *V International Conference on Technological Innovation in Building*. Madrid.
- López-de Abajo, L., Pérez-Fortes, A. P., Alberti, M.G., Gálvez, J.C. and Ripa, T. 2020. “Sustainability Analysis of the M-30 Madrid Tunnels and Madrid Río after 14 Years of Service Life.” *Applied Sciences (Switzerland)* 10(20):1–20. doi: 10.3390/app10207368.
- Luo, D., Niu, D. and Dong, Z. 2014. “Application of Neural Network for Concrete Carbonation Depth Prediction.” *Proceedings of the 4th International Conference on the Durability of Concrete Structures, ICDCS 2014* 66–71. doi: 10.5703/1288284315384.
- Ministerio de Fomento. 2010. *Instrucción de Hormigón Estructural. EHE-08*. 4th ed. Ministerio de Fomento.
- Ministerio de Fomento. 2012. *Guía Para La Realización de Inspecciones Principales de Obras de Paso En La Red de Carreteras Del Estado*.
- Morandau, A., Thiéry, M. and Dangla, P. 2014. “Investigation of the Carbonation Mechanism of CH and C-S-H in Terms of Kinetics, Microstructure Changes and Moisture Properties.” *Cement and Concrete Research* 56:153–70. doi: 10.1016/j.cemconres.2013.11.015.

- Núñez-Alonso, D, Pérez-Arribas, L.V., Manzoor, S. and J. O. Cáceres, J. O.. 2019. “Statistical Tools for Air Pollution Assessment: Multivariate and Spatial Analysis Studies in the Madrid Region.” *Journal of Analytical Methods in Chemistry* 2019. doi: 10.1155/2019/9753927.
- Papadakis, V. G., Vayenas, C.G. and Fardis, M. N. 1989. “A Reaction Engineering Approach to the Problem of Concrete Carbonation.” *AIChE Journal* 35(10):1639–50. doi: 10.1002/aic.690351008.
- Papadakis, V. G., Vayenas, C.G. and Fardis, M. N. 1991a. “Experimental Investigation and Mathematical Modeling of the Concrete Carbonation Problem.” *Chemical Engineering Science* 46(5–6):1333–38. doi: 10.1016/0009-2509(91)85060-B.
- Papadakis, V. G., Vayenas, C.G. and Fardis, M. N. 1991b. “Physical and Chemical Characteristics Affecting the Durability of Concrete.” *ACI Materials Journal* 88(2):186–96. doi: 10.14359/1993.
- Parrott, L. J. 1994. “Design for Avoiding Damage Due to Carbonation-induced Corrosion.” in *CANMET/ACI Conference on Durability of Concrete*. Nice, France.
- Perez-Prada, F., and Monzon, A. 2014. “How Lowering Speed Limits in an Urban Highway Affects Traffic Performance and Emissions: The Case of Madrid M-30 Ring-Road.” Pp. 1–16 in *XI Congreso de Ingeniería del Transporte, CIT 2014*. Santander, Spain.
- Perez-Prada, F, and Monzon, A. 2017. “Ex-Post Environmental and Traffic Assessment of a Speed Reduction Strategy in Madrid’s Inner Ring-Road.” *Journal of Transport Geography* 58:256–68. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2016.12.018.
- Phung, Q.T., Maes, N., Jacques, D., De Schutter, G., Ye, G. and Perko, J. 2016. “Modelling the Carbonation of Cement Pastes under a CO₂ Pressure Gradient Considering Both Diffusive and Convective Transport.” *Construction and Building Materials* 114:333–51. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.191.
- Richardson, M. 2002. *Fundamentals of Durable Reinforced Concrete*. First ed. London: Spon Press.
- Singh, N. and Singh, S. P.. 2016. “Reviewing the Carbonation Resistance of Concrete.” *Journal of Materials and Engineering Structures* 3:35–57.
- Valcuende, M., and Parra, C. 2010. “Natural Carbonation of Self-Compacting Concretes.” *Construction and Building Materials* 24(5):848–53. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.10.021.

Teoría de corte-fricción aplicada al hormigón reforzado con fibras de acero

A. Picazo¹, J.C. Gálvez^{2*}, M.G. Alberti², A. Enfedaque²

* Autor de Contacto: jaime.galvez@upm.es

¹ Departamento de Tecnología de la Edificación. E.T.S. de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Juan de Herrera 6, 28040 Madrid-España.

² Departamento de Ingeniería Civil: Construcción. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. C/ Profesor Aranguren, s/n, 28040 Madrid-España.

RESUMEN

El hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA) puede tener carácter estructural si cumple los requisitos establecidos por las normas de hormigón estructural basadas en resistencias residuales en ensayos de fractura a flexión. Sin embargo, para fractura a cortante el uso de dichas resistencias sigue estando cuestionado. Por esto los mecanismos resistentes de engranamiento de áridos y efecto pasador de la armadura conforme a la teoría de corte-fricción en HRFA sigue siendo objeto de estudio. Cabe recordar que las fibras mejoran el comportamiento del material frente a tensiones de corte en una grieta ya que cosen los labios de la fisura, reduciendo su apertura y aumentando el rozamiento del material. Con estos antecedentes, se diseñó y desarrolló una campaña experimental sobre HRFA en probetas tipo “push-off” sometidas a esfuerzos de corte directo para la obtención de los desplazamientos relativos entre los lados de las fisuras y así estudiar la validez de la teoría de corte-fricción desarrollada por Walraven. Del estudio comparativo entre los resultados experimentales y el modelo analítico de corte-fricción se concluye que el modelo analítico propuesto es apto al aplicarlo al comportamiento del HRFA, una vez creada la fisura de cortante, reproduciendo de forma adecuada los desplazamientos normales y tangenciales en la fisura sometida a tensiones tangenciales.

Palabras clave: Teoría de corte-fricción, hormigón reforzado con fibras de acero, esfuerzo cortante, ensayos “push-off”, deslizamiento a cortante.

ABSTRACT

Steel fibre reinforced concrete (SFRC) can be structural in design if it meets the requirements established by structural concrete standards based on residual strengths in bending fracture tests.

However, for shear fracture the use of these residual strengths is still questioned. For this reason, the resistant mechanisms of aggregate interlock and dowel action of the reinforcement, according to the theory of shear-friction in SFRC, continues to be studied. It should be remembered that the fibres improve the behaviour of the material against shear stresses in a crack since they sew the lips of the crack, reducing its opening and increasing the friction of the material. With this background, an experimental campaign on SFRC was designed and developed on push-off tests subjected to direct shear forces to obtain the relative displacements between the sides of the cracks and thus study the validity of the shear-friction theory developed by Walraven. From the comparative study between the experimental results and the analytical shear-friction model, it is concluded that the proposed analytical model is suitable when applied to the behaviour of the SFRC, once the shear fissure has been created, adequately reproducing the normal and tangential displacements in the crack subjected to tangential stresses.

Keywords: Shear-friction theory, Steel fibre reinforced concrete, shear strength, push-off tests, shear slide.

1. INTRODUCCIÓN

El refuerzo del hormigón mediante fibras aleatoriamente dispuestas es una técnica ampliamente usada en los últimos 50 años (Conforti et al., 2020, López et al., 2014, Plizzari and Tiberti, 2006). La capacidad resistente de las fibras puede ser considerada en el cálculo estructural del hormigón, si se cumplen ciertas condiciones, debido a que las fibras mejoran la resistencia a tracción y flexión del material (Brandt, 2008). Los requerimientos, para considerar la contribución de las fibras en el cálculo, vienen determinados por diversas normas (American Concrete Institute, 2008, International Federation for Structural Concrete (fib), 2010, Ministerio de Fomento, 2008). Estos requisitos están basados en ensayos de fractura en Modo I (European Committee for Standardization, 2007). Las citadas normativas consideran la capacidad resistente de las fibras en función de las resistencias residuales a tracción por flexión denominadas f_{R1} y f_{R3} . Sin embargo, para el cálculo de elementos sometidos a esfuerzos diferentes, como a cortante todavía se producen discrepancias a la hora de aceptar como válidas estas resistencias residuales (Conforti et al., 2020, Cuenca et al., 2015, Krassowska et al., 2019, Ortiz-Navas et al., 2020).

Es unánime la opinión de que el refuerzo del hormigón con fibras permite la reducción, e incluso la eliminación, del armado tradicional de cercos (Voo et al., 2010). Pese a ello, todavía existe incertidumbre a la hora de determinar y cuantificar los mecanismos resistentes ante esfuerzos cortantes en el HRFA (Cuenca, 2012). Para poder mejorar en el conocimiento de los mecanismos que se movilizan en un elemento de hormigón fisurado sometido a cortante es necesario identificar las tensiones tangenciales en la zona de hormigón no fisurada, el engranamiento de áridos, el efecto pasador de la armadura longitudinal, el efecto arco y las tensiones residuales de tracción en las fisuras (Taylor, 1974). De tal forma, la teoría más extendida y utilizada para el estudio del esfuerzo cortante sobre el hormigón es la de corte-fricción (Walraven, 1980).

Para poder estudiar la validez de la teoría de corte-fricción cuando ésta se aplica a HRFA fue necesario obtener los desplazamientos relativos entre ambos lados de la sección fisurada. Con tal fin se emplearon hormigones estudiados previamente y que cumplían los requisitos para considerar la contribución de las fibras al comportamiento estructural (Picazo, 2020). Los HRFA empleados estaban reforzados con fracciones volumétricas del 0,64% y 0,89%. La campaña experimental de obtención de datos se basó en probetas tipo push-off (Echegaray, 2014, Jongvivalsakul et al., 2016) de HRFA sin refuerzo de cercos. Para la obtención de desplazamientos relativos en la fisura se

empleó un sistema de vídeo-extensometría con el que, además, se obtuvieron los mapas de deformación (Picazo et al., 2018).

La importancia de este estudio radica en la mejora del conocimiento de los mecanismos de engranamiento de áridos y efecto pasador de las fibras en el HRFA en relación a la teoría de corte-fricción, ampliamente aceptada para cortante en el hormigón reforzado con barras de acero.

2. OBTENCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES PARA EL MODELO

2.1 Ensayos push-off

Se emplearon dos hormigones autocompactantes reforzados con 50 y 70 kg/m³ (0,64% y 0,89% de fracción volumétrica), denominados SCS50 y SCS70. La dosificación del hormigón y las principales propiedades mecánicas, junto con las verificaciones de su capacidad estructural conforme a normas, se encuentran publicadas anteriormente (Picazo, 2020).

Los ensayos realizados fueron del tipo push-off. Las probetas tenían forma de prisma con dos entallas contrapuestas, mostrando la probeta una forma de “Z”. Entre las puntas de las entallas se forma un ligamento plano sobre el que se aplica una carga vertical (Cuenca and Serna, 2010). Las probetas no fueron prefisuradas y la máquina de ensayos empleada tenía una capacidad máxima de carga de 500 kN. Los ensayos se realizaron con control de desplazamiento fijando el desplazamiento del actuador a una velocidad constante de 1 µm/s. Se dispuso un sistema de vídeo-extensometría formado por dos cámaras de 5 MPx encargadas de grabar las secciones de ligamento de las probetas. Este sistema se relacionó con los datos registrados por la máquina de ensayos, lo que permitió obtener de manera sincronizada los datos de tiempo, desplazamiento, carga y deslizamiento a cortante

2.2 Abertura de fisura y deslizamientos a cortante mediante vídeo-extensometría

El sistema de vídeo-extensometría permitió obtener las distancias relativas entre diferentes puntos de la superficie de las probetas a lo largo de los ensayos. En la Figura 1(a) se muestra un ejemplo de la colocación de extensómetros virtuales al final de un ensayo. La diferencia relativa de distancias verticales y horizontales entre los puntos refleja la abertura de la fisura y el deslizamiento a cortante.

Con los datos obtenidos en los ensayos se realizaron las curvas de abertura de fisura frente a deslizamiento a cortante. Éstas se muestran en la Figura 1(b) en la que también se muestra la correspondiente a la teoría de corte-fricción (Walraven, 1980) para un hormigón con armadura de refuerzo en la discontinuidad.

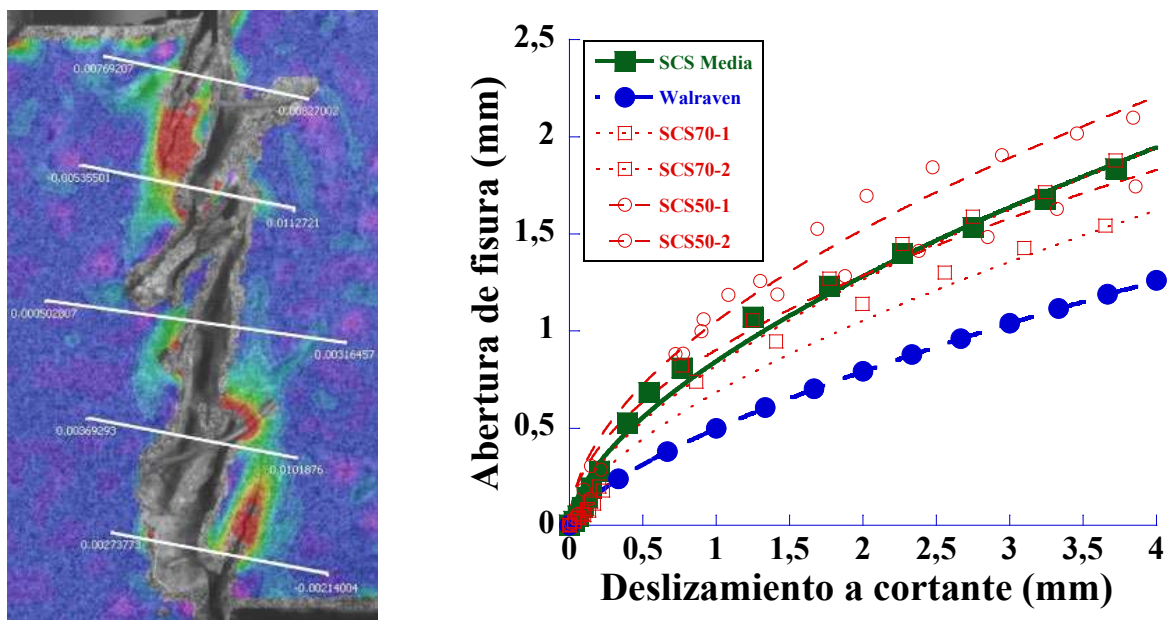


Figura 1. (a) Extensómetros virtuales y (b) gráficas de abertura de fisura frente a deslizamientos a cortante.

Otro factor a considerar a la hora de comparar los resultados analíticos y los experimentales es que, en las probetas, las fibras estaban aleatoriamente dispuestas, en tanto que en el modelo los cercos se disponen de manera favorable para soportar el esfuerzo cortante. Así, en la campaña experimental, solamente las fibras fueron las encargadas de soportar la tensión normal en la fisura.

3. MODELO DE CORTE-FRICCIÓN

El modelo de corte-fricción (Walraven, 1980) estudiado en comparación con los resultados experimentales de SFRC sometido a esfuerzo de cortante se puede esquematizar, según aparece en la Figura 2(a): el esfuerzo cortante provoca la generación y desarrollo de fisuras del hormigón produciéndose un deslizamiento relativo entre sus caras. Este desplazamiento se ve impedido por la rugosidad de la intercara y por la acción del refuerzo en la fisura. Si aumenta el esfuerzo cortante se produce el encabalgamiento de una cara sobre la otra, provocando la abertura de la fisura y que las fibras trabajen a tracción evitando dicha abertura y haciendo trabajar al hormigón a compresión en ambas caras. Los principales parámetros a considerar en esta teoría son: el esfuerzo cortante, la resistencia del hormigón, la rugosidad de la intercara y el refuerzo.

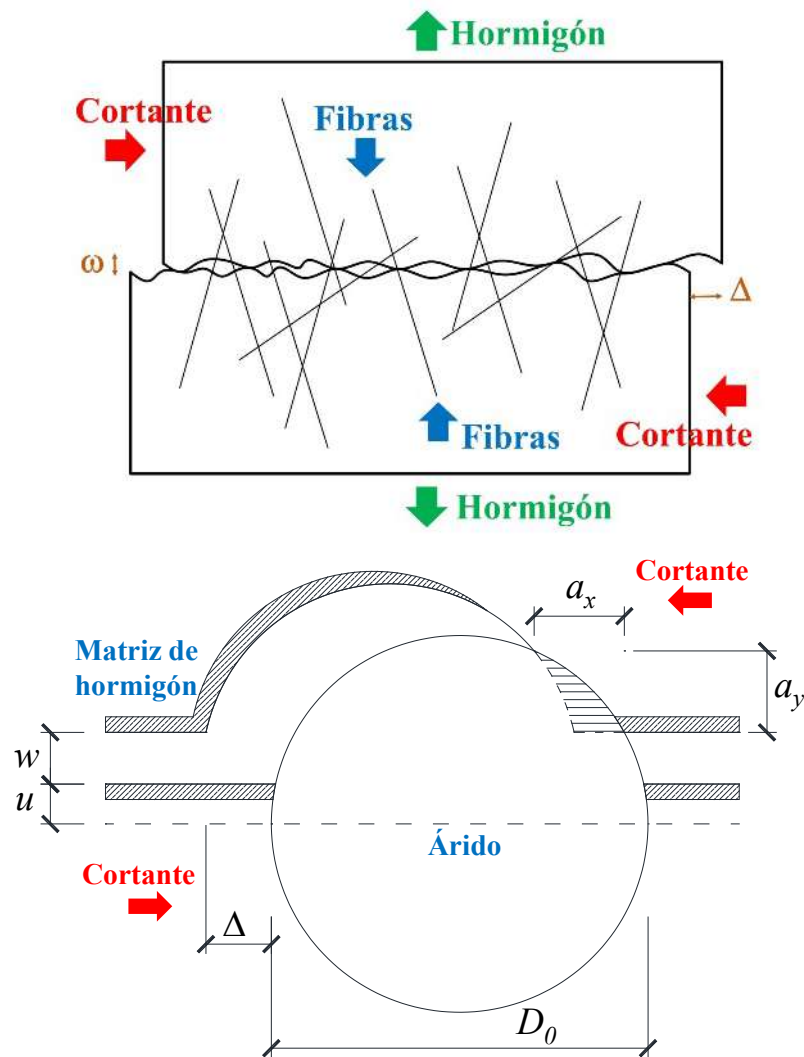


Figura 2. (a) Esquema de los mecanismos resistentes de la teoría corte-fricción y (b) parámetros empleados para el cálculo de la relación entre las proyecciones de las áreas de contacto y los desplazamientos en las caras de la fisura (adaptado de (Walraven, 1980)).

3.1 Engranamiento de los áridos

Para poder implementar el modelo de corte-fricción es necesario considerar que la fisura se produce, en hormigones de resistencia normal, en la pasta de cemento, alrededor de los áridos. Igualmente, se realizan las siguientes simplificaciones, la discontinuidad se considera como un plano y los áridos se asumen con geometría esférica. Por último, la matriz del hormigón tiene un comportamiento rígido-plástico. De tal forma, como se puede ver en la Figura 2(b), los áridos de una cara de la fisura provocan un engranamiento con la matriz de la cara contraria por deformación plástica de ésta. Por tanto, existirá contacto árido-matriz que provocará áreas de contacto en los ejes “x” e “y”. De tal forma, las tensiones longitudinales y tangenciales se pueden expresar con las ecuaciones (1) y (2), respectivamente.

$$\sigma = \sigma_{pu}(A_x - \mu \cdot A_y) \tag{1}$$

$$\tau = \sigma_{pu}(A_y + \mu \cdot A_x) \tag{2}$$

Siendo: σ_{pu} el límite elástico de la matriz, A_x y A_y el sumatorio de las proyecciones de las áreas de contacto por unidad de superficie áridos-matriz y μ el coeficiente de rozamiento árido-matriz. Según la Figura 2(b), también existe relación entre los desplazamientos entre las caras de las fisuras (w es la abertura de fisura y Δ el deslizamiento por cortante) y las proyecciones de las áreas de contacto por unidad de superficie.

3.2 Efecto pasador

El efecto pasador se produce en piezas armadas sometidas a cortante como consecuencia de la resistencia de las barras de refuerzo dispuestas en el plano de la fisura. Este efecto, en el HRFA sin armadura de cercos, tiene que ser soportado por la resistencia a tracción del hormigón y la contribución de las fibras. Dichos mecanismos no tienen un comportamiento frágil, permitiendo la redistribución de tensiones tangenciales en el plano de fisuración. Para considerar el refuerzo de las fibras se empleó la ecuación (3), tomada de la teoría de corte-fricción y adaptada al HRFA.

$$F_{df} = \frac{(10 \cdot (w + 0.2))^{-1} \cdot \Delta^{0.36} \cdot \phi_f^{1.75} \cdot n_f^{\theta} \cdot \theta}{A_c} \quad (3)$$

Donde: ϕ_f el diámetro de una fibra de acero, n_f^{θ} el número de fibras en la discontinuidad, θ el coeficiente de orientación de las fibras (Alberti et al., 2016) y A_c el área de la sección de hormigón en la discontinuidad.

3.3 Secciones fisuradas sometidas a esfuerzo cortante con refuerzo de fibras de acero

En la sección fisurada de HRFA no sólo se producen los mecanismos de transmisión de fuerzas de engranamiento de áridos y efecto pasador. Las fibras son las encargadas de soportar una fuerza normal en la sección que impide que la probeta push-off se rompa en dos mitades. Esta fuerza es función del número de fibras y de su resistencia. Para considerar la resistencia de las fibras se tiene que especificar que se debe considerar el menor valor, entre la resistencia a tracción y la de arrancamiento de la matriz. Esta consideración se demostró experimentalmente durante el conteo de las fibras en la sección de la fisura, ya que todas las fibras de acero se encontraron arrancadas de la matriz, nunca rotas. Para poder implementar en el modelo numérico la tensión generada por la fuerza indicada se utilizó la ecuación (4).

$$\sigma_f \cdot \rho_f = \sigma_c \Rightarrow \sigma_f = \frac{\sigma_c}{\rho_f} = \frac{\sigma_{pu} \cdot (A_x - \mu \cdot A_y)}{\frac{n_f^{\theta} \cdot A_f \cdot \theta}{A_c}} = \frac{A_c \cdot \sigma_{pu} \cdot (A_x - \mu \cdot A_y)}{n_f^{\theta} \cdot A_f \cdot \theta} \quad (4)$$

Donde ρ_f es la cuantía de fibras, σ_c la tensión normal en el hormigón y A_f el área de la sección transversal de una fibra.

De tal forma, se produce un equilibrio de fuerzas en la discontinuidad, representado en la Figura 3(a). La fuerza de la máquina de ensayos es la denominada L_e , L_p es la del efecto pasador, L_h la fuerza normal sobre las fibras, A_v y A_h las fuerzas horizontales y verticales del engranamiento de los áridos y, por último, una fuerza, de valor despreciable, A_2 , correspondiente al engranamiento de los áridos no embebidos en la discontinuidad.

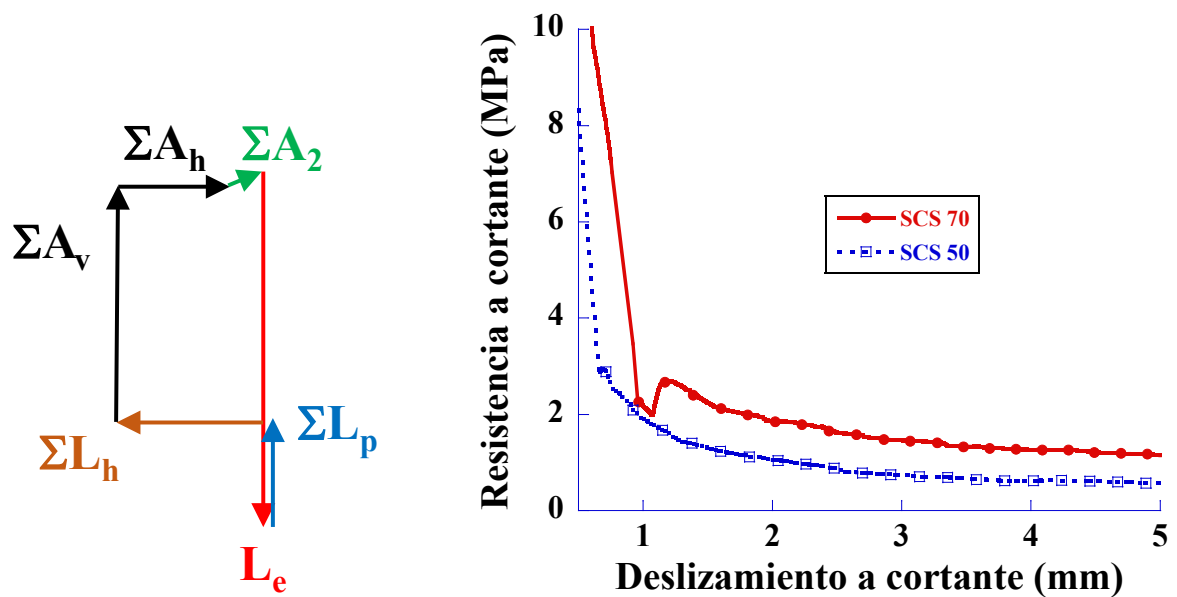


Figura 3. (a) Equilibrio de fuerzas en una discontinuidad reforzada con fibras de acero y (b) detalle, de la zona post-fisuración del HRFA, de la gráfica tensión-deslizamiento a cortante experimental de los HRFA estudiados.

3.4 Variables a considerar en el modelo numérico de corte-fricción en HRFA

Las variables consideradas en el modelo numérico de corte-fricción sobre SFRC son: resistencia a compresión del hormigón sin reforzar, diámetro máximo del árido, relación entre el volumen de áridos y de hormigón, coeficiente de rozamiento entre las caras de la discontinuidad, sección de ligamento, abertura crítica del hormigón, diámetro de las fibras de acero, número teórico de fibras, coeficiente de orientación de éstas, resistencia a tracción de las fibras y la tensión de arrancamiento de las fibras.

4. COMPARATIVA DE RESULTADOS EXPERIMENTALES FRENTE A ANALÍTICOS

4.1 Resultados experimentales

El comportamiento experimental de los dos HRFA Está compuesto por una primera rama lineal de carga hasta el punto de inflexión para producirse a continuación una caída brusca de la misma, aparejada a un deslizamiento a cortante importante. Posteriormente, gracias a la entrada en carga de las fibras, se produjo un descenso poco pronunciado de las resistencias residuales. El comportamiento post-fisuración señalado se muestra en la Figura 3(b). Esta zona del ensayo mostrada en la Figura 3(b) es la que se comparó con el modelo, ya que es cuando las fibras gobiernan el comportamiento post-fisuración del HRFA.

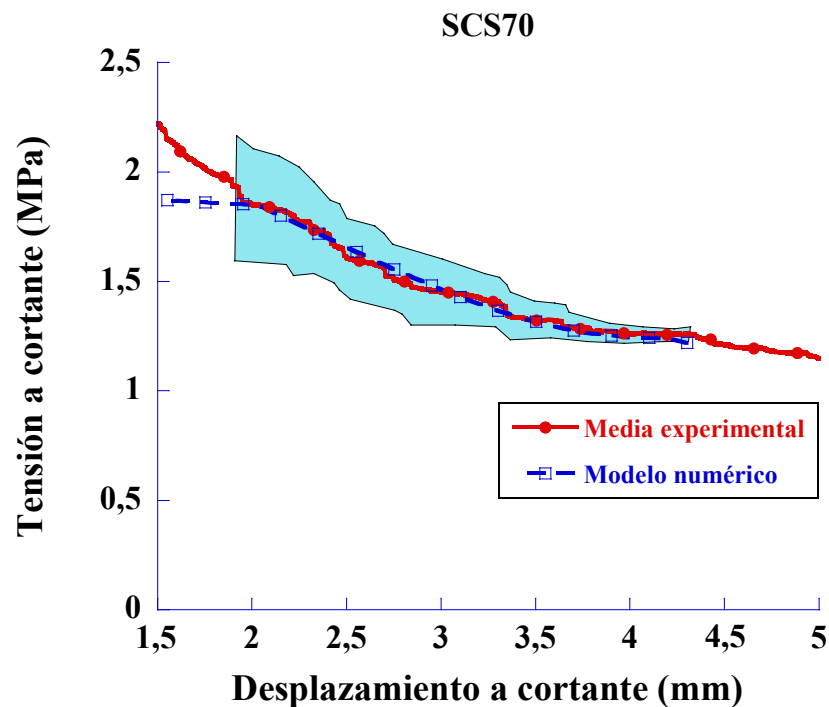
Debido a que en el modelo estudiado existen diversas variables, éstas se tienen que ajustar para cada tipo de hormigón, por lo que se realizó una comparación experimental-numérica para cada hormigón.

4.2 Comparativa experimental-numérica en el SCS70

Mediante la introducción de las variables para el SCS70 se pudo realizar la comparativa de los resultados experimentales frente a los obtenidos por el modelo numérico. De tal forma, en la Figura

4(a) se muestra la gráfica de tensión frente a deslizamiento a cortante para la zona de validez del modelo. Con el fin de centrar la atención en la comparativa buscada se ha eliminado de la gráfica de la Figura 4(a) la zona correspondiente a la rama inicial de carga y parte de la caída brusca posterior al inicio de la fisuración. Se puede ver el comportamiento medio de las probetas ensayadas, junto a su zona de influencia frente al desarrollo numérico analizado. Se puede observar en la Figura 4(a) que a partir de un deslizamiento a cortante, en el entorno de los 2 mm, y hasta un deslizamiento de 4,5 mm el comportamiento del SFRC según el modelo numérico y experimental resultó muy similar.

De igual forma, se estudió el comportamiento del material respecto a la relación abertura de fisura frente a deslizamiento a cortante. En la Figura 4(b) se puede ver que los resultados del modelo y los hallados experimentalmente guardan una semejanza evidente. No obstante, hay que señalar que en el caso del modelo se produjo un menor valor de abertura de fisura que en los resultados experimentales, para un mismo valor de desplazamiento. Esta diferencia de comportamiento pudo ser causada por la ausencia de una fisura previa en las probetas ensayadas ya que en el modelo se basó en el comportamiento de probetas prefisuradas.



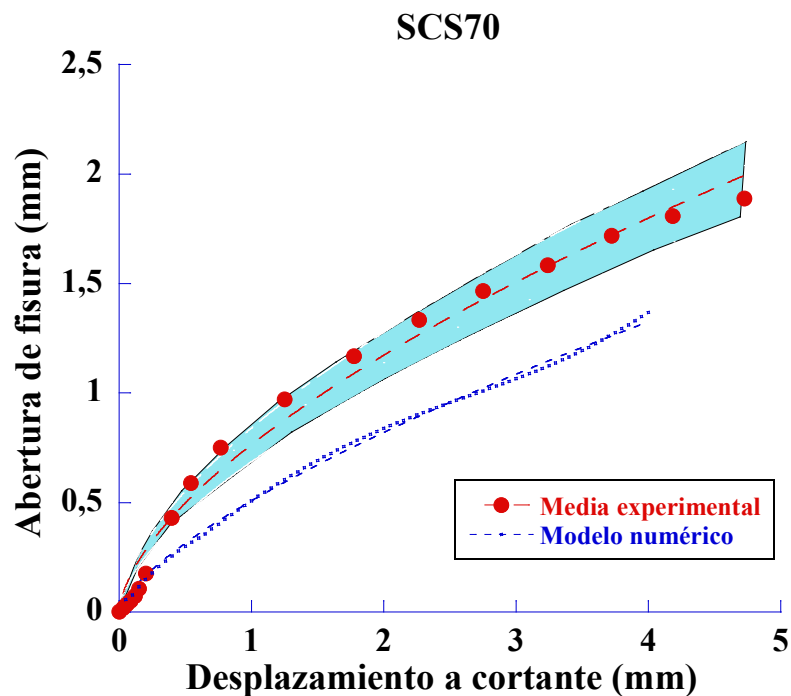


Figura 4. (a) Detalle de la gráfica tensión-desplazamiento a cortante de las probetas SCS70 comparativa experimental-analítica y (b) gráficas apertura de fisura frente a deslizamiento a cortante para el SCS70.

4.3 Comparativa experimental-numérica en el SCS50

Análogamente a lo mostrado en la sección anterior, en la Figura 5(a) se observa la comparativa de las gráficas tensión frente a deslizamiento a cortante de los resultados experimentales y la obtenida mediante el modelo analítico. En el caso de los SCS50 la semejanza entre los resultados analíticos y experimentales se muestra a partir de un deslizamiento a cortante menor al del SCS70, en este caso en los 1,5 mm. La similitud de comportamiento de la media de los ensayos frente a la predicción del modelo es importante y se desarrolla hasta un deslizamiento de 4,3 mm.

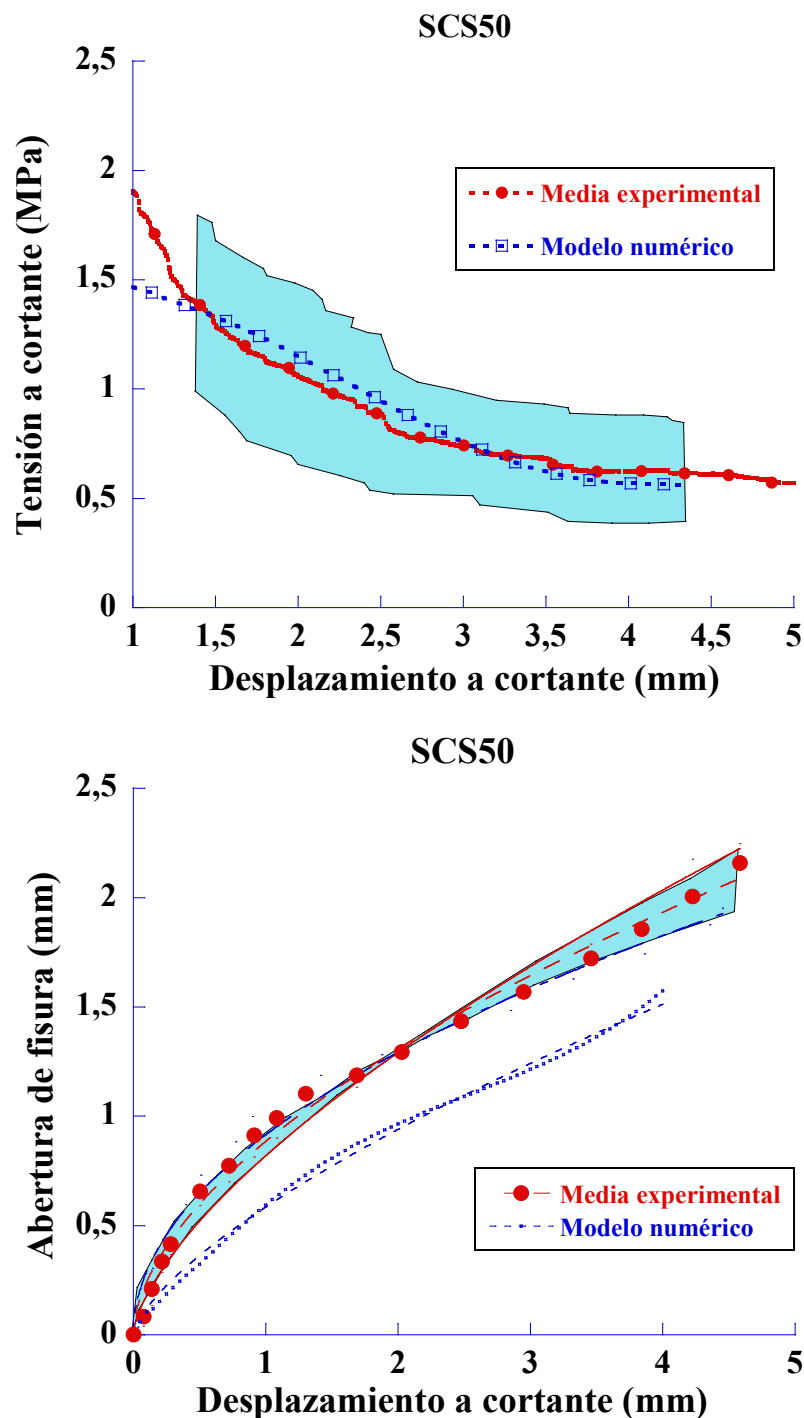


Figura 5. (a) Detalle de la gráfica tensión-desplazamiento a cortante de las probetas SCS50 comparativa experimental-analítica y (b) gráficas abertura de fisura frente a deslizamiento a cortante para el SCS50.

También se desarrolló la comparación los resultados de abertura frente a deslizamiento, tal y como aparece en la Figura 5(b). El comportamiento del SCS50 sigue la misma tendencia que el que mostraba la formulación SCS70 pudiéndose apreciar un comportamiento similar en el modelo numérico y el experimental. Sin embargo, en el modelo analítico la abertura de fisura es menor en el modelo debido, como se indicó, a que las probetas no fueron prefisuradas.

5. CONCLUSIONES

Se analizó el comportamiento experimental de HRFA sometido a esfuerzos de cortante: éste muestra una rama de carga lineal gobernada por la resistencia de la matriz, tras la cual se produjo un punto de inflexión antes de una rama brusca de descarga asociada a un importante deslizamiento a cortante y abertura de fisura. Tras esta segunda rama se produjo una descarga suave debida a la aportación resistente de las fibras.

Se desarrolló un modelo numérico basado en la teoría de corte-fricción en la rama residual del HRFA sometido a cortante. Para la obtención de los desplazamientos y abertura de fisura se utilizó un sistema de vídeo-extensometría del que se obtuvieron datos válidos para realizar la comparativa experimental-numérica. Los resultados del modelo numérico de corte-fricción se compararon con los experimentales, obteniéndose un buen ajuste.

Una vez conocidos los desplazamientos relativos se pudieron obtener las tensiones en la discontinuidad del HRFA. De tal forma, las resistencias residuales a cortante se podrían integrar a lo largo de las secciones del elemento estructural para poder obtener valores de cálculo en función de su capacidad de carga a cizallamiento.

De la comparativa numérico-experimental en el HRFA sometido a cortante se puede indicar que los ajustes del modelo fueron válidos desde el momento post-fisuración en el que las fibras gobiernan el comportamiento del HRFA.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero prestado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España a través del Proyecto PID2019-108978RB-C31. También agradecen la contribución de Sika SAU a través de la Cátedra Universidad-Empresa "Cátedra Sika-UPM".

7. REFERENCIAS

Alberti MG, Enfedaque A, Gálvez JC, Agrawal V. Fibre distribution and orientation of macro-synthetic polyolefin fibre reinforced concrete elements. *Construction and Building Materials*. 2016;122:505-17.

American Concrete Institute. 544.3R-08: Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete. Farmington Hills, MI, USA: American Concrete Institute (ACI); 2008.

Brandt AM. Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. *Composite structures*. 2008;86(1):3-9.

Conforti A, Ortiz-Navas F, Piemonti A, Plizzari GA. Enhancing the shear strength of hollow-core slabs by using polypropylene fibres. *Engineering Structures*. 2020;207:110172.

Cuenca E, Serna P. Shear behavior of Self-Compacting concrete and Fiber-Reinforced concrete push-off specimens. *Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete*: Springer; 2010. p. 429-38.

Cuenca E. On shear behavior of structural elements made of steel fiber reinforced concrete 2012.

Cuenca E, Echegaray-Oviedo J, Serna P. Influence of concrete matrix and type of fiber on the shear behavior of self-compacting fiber reinforced concrete beams. *Composites Part B: Engineering*. 2015;75:135-47.

Echegaray J. Upgrading the push-off test to analyze the contribution of steel fiber on shear transfer mechanisms 2014.

European Committee for Standardization C. Test Method for Metallic Fiber Concrete. Measuring the Flexural Tensile Strength (Limit of Proportionality (LOP), Residual); EN14651:2007+A1. 2007.

International Federation for Structural Concrete (fib). The fib Model Code for Concrete Structures 2010. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete; 2010.

Jongvivatsakul P, Attachaiyawuth A, Pansuk W. A crack-shear slip model of high-strength steel fiber-reinforced concrete based on a push-off test. *Construction and Building Materials*. 2016;126:924-35.

Krassowska J, Kosior-Kazberuk M, Berkowski P. Shear behavior of two-span fiber reinforced concrete beams. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2019;19(4):1442-57.

López JA, Serna P, Camacho E, Coll H, Navarro-Gregori J. First ultra-high-performance fibre-reinforced concrete footbridge in Spain: design and construction. *Structural Engineering International*. 2014;24(1):101-4.

Ministerio de Fomento MF. Instrucción de hormigón estructural. EHE-082008.

Ortiz-Navas F, Navarro-Gregori J, Leiva G, Serna P. Comparison of macrosynthetic and steel FRC shear-critical beams with similar residual flexure tensile strengths. *Structural Engineering and Mechanics*. 2020;76(4):491-503.

Picazo Á, Gálvez JC, Alberti MG, Enfedaque A. Assessment of the shear behaviour of polyolefin fibre reinforced concrete and verification by means of digital image correlation. *Construction and Building Materials*. 2018;181:565-78.

Picazo Á. Estudio experimental y numérico del comportamiento a cortante de hormigones reforzados con fibras de poliolefina y acero: Ph. D. Thesis, Technical University Madrid, Madrid, Spain.; 2020.

Plizzari G, Tiberti G. Steel fibers as reinforcement for precast tunnel segments. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2006;21(3):438-9.

Taylor HP. The fundamental behavior of reinforced concrete beams in bending and shear. *Special Publication*. 1974;42:43-78.

Voo YL, Poon WK, Foster SJ. Shear strength of steel fiber-reinforced ultrahigh-performance concrete beams without stirrups. *Journal of structural engineering*. 2010;136(11):1393-400.

Walraven JC. Aggregate interlock: a theoretical and experimental analysis. 1980.

Análisis de geles C-S-H mediante espectros de ^{29}Si MAS-RMN

A.I. Ruiz^{1*}, E. Reyes¹, C. Argiz¹, M .A. De la Rubia¹, A. Moragues¹

*Autor de Contacto: albertoisaac.ruiz@upm.es

¹ Ingeniería Civil: Construcción, ETSI Caminos, Canales y Puerto, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

RESUMEN

En esta investigación se han analizado varios productos sintéticos de C-S-H por medio de la resonancia magnética nuclear (RMN) y la información ha sido procesada con el método matemático de la desconvolución. Se fabricaron geles sintéticos de silicato de calcio y aluminio C-(A)-S-H mediante agitación magnética y a temperatura ambiente, con una relación Ca/Si fijada en 2 y una relación Al/Si variable de 0.1, 0.5 y 1. Se utilizaron dos nano-sílices (A200 y OX50) y una nano-alúmina (Alu65) que se mezclaron con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en las relaciones descritas. Consecuentemente se observaron modificaciones de los Q_n en la estructura (Dreierketten) y los Q_{2b} fueron modificados por el Al. La hidratación y longitudes de cadena fueron muy variables en cada experimento.

Palabras clave: C-S-H; nanosílice; nanoalúmina; RMN; desconvolución

ABSTRACT

In this research, several synthetic C-S-H products have been analysed by means of nuclear magnetic resonance (NMR) and the information has been processed with the mathematical method of deconvolution. Synthetic C-(A)-S-H calcium aluminium silicate gels were fabricated by magnetic stirring at room temperature with a Ca/Si ratio set at 2 and a varying Al/Si ratio of 0.1, 0.5 and 1. Two nano-silicas (A200 and OX50) and one nano-alumina (Alu65) were blended with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the described ratios. Consequently, modifications of the Q_n in the structure (Dreierketten) were observed whereas Q_{2b} were modified by Al. Hydration and chain lengths were highly variable in each experiment.

Palabras clave: C-S-H; nanosilica; nanoalumina; NMR; deconvolution

ABSTRACT

Nesta investigação, vários produtos sintéticos C-S-H foram analisados por meio de ressonância magnética nuclear (NMR) e a informação foi processada com o método

matemático de deconvolución. Os géis sintéticos C-(A)-S-H de silicato de cálcio e alumínio foram fabricados por agitação magnética à temperatura ambiente com uma razão Ca/Si fixada em 2 e uma razão Al/Si variável de 0,1, 0,5 e 1. Duas nano-sílicas (A200 e OX50) e uma nano-alumina (Alu65) foram misturadas com Ca(OH)₂ nas razões descritas. Consequentemente, foram observadas modificações do Qn na estrutura (Dreierketten) enquanto que o Q2b foi modificado por Al. A hidratação e o comprimento da cadeia foram altamente variáveis em cada experiência.

Palabras clave: C-S-H; nanosilica; nanoalumina; NMR; deconvolução

1. INTRODUCCIÓN

El producto resultante de la hidratación del cemento portland ordinario (CPO) más importante por sus propiedades resistentes y de durabilidad es el silicato de calcio hidratado C-S-H. La fase del C-S-H es una amorfa tipo gel, con contenidos variables de calcio, agua y sílice, que influyen significativamente en las propiedades físicas, químicas y mecánicas que alcance el CPO. Queda por lo tanto patente la importancia de estudiar la microestructura de los productos de hidratación obtenidos en los materiales base cemento, y en particular del gel C-S-H. Con el uso de la resonancia magnética nuclear (MAS-NMR), (Taylor, 1998), (Hôpital, 2015) se pueden distinguir los diferentes tipos de unidades estructurales que componen el gel C-S-H. Los hallazgos de la RMN, junto con los resultados de otras técnicas instrumentales, se han utilizado para establecer algunos modelos para la estructura del gel C-S-H, entre los que destaca el conocido como el "modelo de estructura de tobermorita defectuosa". (Richardson and Groves, 1993) (Nonat, 2004) (Lothenbach, et al., 2011) (Richardson, 2008) (Barbarulo, 2002) (Love et al., 2007). Según este modelo, el gel C-S-H puede describirse como una capa de óxido de calcio intercalada por cadenas de sílice organizadas en una estructura "dreierketten", una cadena repetida de tres tetraedros de sílice, como se muestra en la Fig. 1. Dos de estas unidades de sílice, denominadas pares tetraédricos, están unidas a la capa de óxido de calcio, mientras que la tercera el tetraedro puente, une los dos tetraedros de emparejamiento. El agua, calcio, álcalis u otros iones están presentes en la capa intermedia entre las capas. Si todos los dímeros están puenteados, las cadenas son infinitas y corresponden a la disposición dreierketten de las cadenas de sílice que se encuentran en los silicatos de calcio naturales como la tobermorita, la jennita y la wollastonita.

La tobermorita perfecta consiste en dos cadenas lineales de tetraedros de sílice dispuestas a ambos lados de una lámina central de CaO. En este caso, las cadenas lineales de tetraedros de sílice, correspondientes a las unidades Q2 obtenidas por RMN, serían infinitas, mientras que en el gel C-S-H faltan muchos de los tetraedros puente (unidades Q2_b), dando lugar a cadenas finitas de dos, tres o cinco enlaces en el caso del CPO. Este tipo de estructura genera esencialmente dos tipos de señales: una en torno a 79 ppm asociada a la presencia de dímeros o unidades finales de cadena, correspondiente a Q1 obtenidos por RMN, y otra en torno a 85 ppm, asociada a Q2 o unidades intermedias.

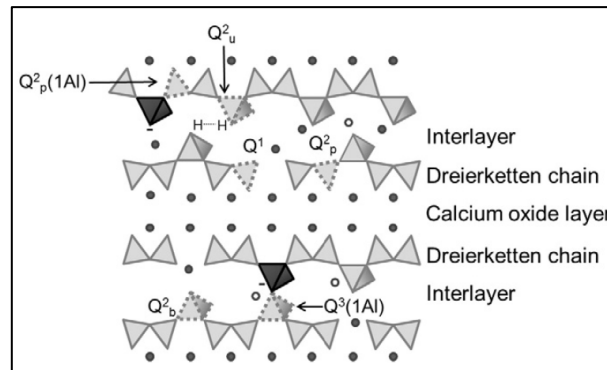


Figura 1 Estructura esquemática de C-S-H. El círculo gris: Calcio, círculo vacío: capa intermedia (agua o álcali), tetraedros gris claro: SiO_4 , tetraedros gris oscuro: AlO_4 . Q_n (mAl): n indica el número de vecinos del Si y m el número de vecinos de Al, b: puente, p: emparejamiento (pareado). (Hôpital,2015)

Los materiales silíceos solubles que pueden estar presentes en los cementos mezclados con adiciones, como el humo de sílice, nano sílice (NS), metacaolín (MK), las cenizas volantes o las escorias, reaccionan de manera diferente cuando se hidratan junto con el CPO, donde se ha observado una reducción de la relación Ca/Si y un aumento de la relación Al/Si. Los estudios de RMN de ^{29}Si han contribuido en gran medida a mostrar que el número de tetraedros puente disminuye cuando aumenta el Ca/Si (García et.al, 2012) (Richardson, 2014). Para el gel C-S-H sintético, que es representativo del C-S-H en los cementos mixtos con un alto contenido de sílice reactiva (cementos de bajo pH), se ha demostrado que la composición de la fase sólida está determinada por la composición de la solución. El mayor Ca/Si está limitado por la solubilidad de la portlandita. Estudios experimentales previos (García et.al, 2012) (Chen et.al, 2004) (Richardson, 1999) confirman que la estructura del C-S-H con este rango de composición puede describirse como una estructura de tobermorita defectuosa; éste es el tema de la primera parte de este trabajo. La relación Ca/Si del gel C-S-H en una pasta de cemento es generalmente superior a 1.5, 1.7 en promedio, y podría llegar a 2 en ciertas condiciones (García et.al 2012) (Richardson and Groves,1993). Estas relaciones tan elevadas se observan porque, durante la hidratación de la alita, la solución está sobresaturada con respecto a la portlandita. En otras palabras, la concentración de hidróxido de calcio es mayor que la solubilidad de la portlandita, lo que conduce inicialmente a un mayor contenido de calcio en el C-S-H. Los datos estructurales experimentales sobre el gel C-S-H con esta composición son escasos (Richardson, 2014) (Battocchio et.al, 2012) (Thomas et.al, 2010). Varios estudios de RMN han investigado la incorporación de aluminio en el gel C-S-H. La sustitución del aluminio se produce principalmente como Al(IV) coordinado tetraédricamente en la posición de puente (Q^2_b) (Dolado et.al, 2007), como se indica en la Figura. 1. En la tobermorita, el Al(IV) está presente también en las unidades que unen dos cadenas de dreierketten, obtenidas como Q^3 por RMN (Lothenbach,2011).

A mayores proporciones de Ca/Si, la cantidad relativa de Al(IV) en el gel C-S-H disminuye, en su lugar se observa más Al(VI) coordinado octaédricamente (Faucon et.al, 1998). Se ha sugerido que el Al(VI) coordinado de forma octaédrica representa un hidróxido de aluminio amorfo o un hidrato de aluminato de calcio en la superficie del C-S-H: tercer hidrato de aluminio (TAH)(Faucon et.al, 1998) o en la capa intermedia dentro del C-S-H (Richardson,2014). Además de Al(IV) y Al(VI) aproximadamente el 10% del aluminio asociado al C-S-H está presente como Al(V) pentacoordinado, independientemente de la relación Ca/Si del C-S-H. Se parte del supuesto que el Al(V) y el Al(VI) podrían compensar la carga negativa introducida por la sustitución del Si(+IV)

por el Al(+III) en la cadena de sílice. Sin embargo, la cantidad de Al(V) y Al(VI) no se correlaciona con la cantidad de Al(IV) en las cadenas de sílice (Richardson,2014).

La siguiente investigación se consiste en buscar por RMN esta interacción de los silicatos hidratados y la incorporación de alúmina, utilizando dos tipos de nano sílices (NS) y una nano alúmina (NA) para conseguir alargar las cadenas de silicatos tendiendo a reproducir la estructura de tobermorita perfecta con mezclas con CPO y obtener un resultado orientativo de estas estructuras.

2. Materiales y procedimiento

2.1 Preparación de la solución

Para sintetizar los geles C-S-H y C-(A)-S-H se utilizaron $\text{Ca}(\text{OH})_2$ suministrado por Scharlab S. L.®, SiO_2 (AEROSIL A200 y OX50) y Al_2O_3 (AEROXIDE Alu65 (A65), ambos proporcionados por Evonik®. Los datos de la superficie específica del fabricante se indican en la Tabla I.

Tabla 1 Propiedades de los materiales

Producto Comercial	Superficie específica (BET) (m^2/g)	Tamaño medio (nm)
AEROSIL A200	175-225	~12
AEROSIL OX 50	35-65	~40
AEROXIDE Alu 65	55-75	~86

Los geles C-(A)-S-H se prepararon con una relación Ca/Si fija de 2 y una relación Al/Si variable de 0, 0,1, 0,5, 1, añadiendo $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,01M, SiO_2 0,005M y Al_2O_3 (0.025, 0.0125, 0.0025 M). La composición de las mezclas utilizadas para preparar los geles C-(A)-S-H se indica en la Tabla 2. Las soluciones se prepararon con agua destilada y descarbonatada a 20°C. La mezcla se agitó durante otros 60 minutos cubierta con un plástico para minimizar la contaminación por CO_2 . La solución se dejó reposar 24 horas hasta que se diferenciaron claramente las dos partes, por un lado el gel sólido y por otro la fase líquida. Se separaron las dos fases por medio de filtración al vacío utilizando un papel de filtro de 0,45 μm . Los geles se almacenaron en una bolsa de plástico y se secaron a 40°C durante 7 días antes de las mediciones de resonancia magnética nuclear (RMN) de ^{29}Si .

Tabla 2 Proporciones de los materiales en mol/l

Al/Si	Mezcla	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (mol/l)	SiO_2 (mol/l)		Al_2O_3 (mol /l)
			OX50	A200	Alu 65
0	Ox50	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-3}$		
	A200	10^{-2}		$5 \cdot 10^{-3}$	
1	1AA65	10^{-2}		$5 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-3}$
	1OA65	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-3}$		$2.5 \cdot 10^{-3}$
0.5	0.5AA65	10^{-2}		$5 \cdot 10^{-3}$	$1.25 \cdot 10^{-3}$
	0.5OA65	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-3}$		$1.25 \cdot 10^{-3}$
0.1	0.1AA65	10^{-2}		$5 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$
	0.1OA65	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-3}$		$2.5 \cdot 10^{-4}$

Para asegurarse de que todo el Ca^{2+} se ha incorporado al gel, se midió la concentración de Ca^{2+} por tritación en todas las mezclas antes y después de la incorporación de sílice y alúmina, a varios intervalos de tiempo. La prueba se realizó con un Ti-Touch Metrohm con un sensor fotométrico (Optrode) a una longitud de onda de 610 nm utilizando una solución estándar de Na_4EDTA 0,002M como agente de valoración.

2.2 Análisis de la fase sólida con Resonancia Magnética Nuclear

Los geles se estudiaron en un espectrómetro Bruker A400 ^{29}Si MAS-NMR con una frecuencia de resonancia ^{29}Si de 79,5 MHz y una velocidad de giro de 10 kHz. Los espectros se obtuvieron tras irradiar las muestras con un pulso de $\pi/2$ (5 microsegundos). Se registraron H/ ^{29}Si MAS-NMR en muestras seleccionadas a un tiempo de contacto corto de 3 ms. La naturaleza del proceso de polarización cruzada, en el que el espín de ^{29}Si recoge una mayor polarización del depósito de espín de protón, restringe la detección de los núcleos de silicio que tienen interacciones con los núcleos de protón pueden ser detectados por ^{29}Si MAS-NMR. Se utilizó tetrametilsilano (TMS) como estándar externo para los espectros de ^{29}Si .

La desconvolución de los espectros ^{29}Si MAS se realizó con el software MestReNova (Mnova) y se empleó el perfil Gauss-Lorentziano en el caso de los espectros ^{29}Si MAS NMR. Los datos de los espectros de RMN se procesaron adoptando una corrección de la línea de base Polinomial de Bernstein de 1º para pastas sintéticas para aplanar el fondo. Se realizó un llenado de cero para aumentar la resolución del espectro hasta 32768 (32k), se realizó una apodización a 15 Hz (Fuencisla, 2012) para pastas sintéticas. Las desconvoluciones se realizaron empleando un perfil Gauss-Lorentziano para cada componente, con una relación Gaussiana-Lorentziana de 0.5 para el sílice. Se identifica la parte de ruido en el espectro para la detección de picos y descartar el ruido. Se determina la integral en el rango de interés y se normaliza al pico más alto. A partir de esto se delimita el área de la desconvolución que fue de -65 ppm a -115 ppm (Garcia et.al 2012) donde se encuentran los puntos más importantes del espectro. La identificación los picos dentro del rango especificado, iniciando por le mayor y siguiendo con la búsqueda de los picos ocultos en los rangos del Q0, Q1 y Q2 en este último se busca identificar los tetraedros puente Q2_b , tetraedros pareados Q2_p y la intrusión de la estructura de Al como puente entre los tetraedros de sílice Q2Al_b . El número de iteraciones para cada espectro fue de 20 como mínimo para que el ajuste fuera lo más cercano a cero.

3. RESULTADOS

Considerando que el equilibrio de los geles sintéticos se alcanza a las 24 horas, comprobando que después se observa que la concentración de Ca^{2+} permanece constante, se asegura una buena incorporación el Ca^{2+} al gel. En las Figuras 2 y 3 se pueden observar los rangos de los datos de RMN de ^{29}Si que se han determinado en este estudio para la identificación de los desplazamientos para los tetraedros.

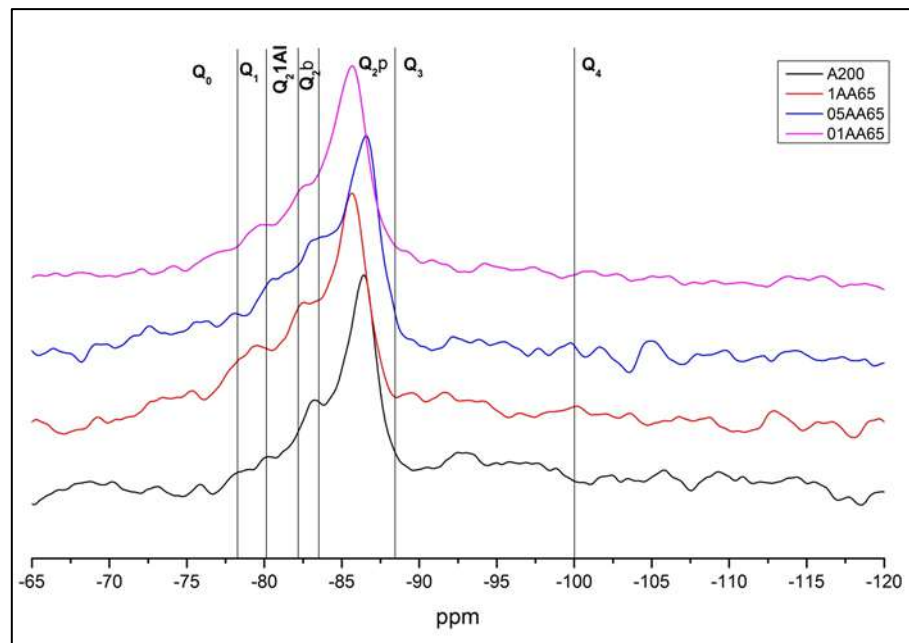


Figura 2 Espectros de ^{29}Si MAS-RMN de la combinación de la A200 y la Alu65 (A65).

Estudios anteriores recogidos en la literatura (Lothenbach,2011) (Richardson,2014) asignaron los diferentes entornos de los tetraedros de sílice rangos de frecuencias en el espectro de RMN. De esta forma, la sílice posicionada en el final de la cadena, Q1, se asigna a -78 a -80 ppm, la sílice puente, Q2_b, a -82.1 a -83.5 ppm dentro del "dreierketten", el tetraedro puente Al Q2_b(1Al) resulta más complicado de ubicar en los desplazamientos, así que se determinó un rango a -80 a -82 ppm (10,11,16,45,46) y el sitio de emparejamiento Q2_p se asigna a -83.6 a -88.3 ppm, encontrándose en la cadena sintética C-S-H considerando los puentes sílice tetraedros por enlace de hidrógeno Q2_u a -88,5 ppm.

El rango de análisis del espectro de la resonancia se delimito de -65 a -115 ppm, para que fuera representativo en todos los experimento. Se puede observar que ambas figuras predomina una señal en entre -86 y -87 ppm que está asociado a los tetraedros pareados unidos a la cadena del CaO.

La NS A200 presenta unos resultados de resonancia muy similar en todas las combinaciones, es por eso que el hombro del Q2_b se muestra muy similar en todas las combinaciones de Al/Si. Se puede observar más presencia de Q3 en la NS A200 y el Q1 es más visible en las combinaciones de Al/Si.

La NS OX50 muestra una resonancia muy diferente a la A200. Se observa más presencia de Q4, correspondiente al tetraedro completo, que presenta sus cuatro enlaces unidos a otro tetraedro, sea puente o pareado. Otra diferencia destacable que se puede observar es una menor presencia de picos en las resonancias de las combinaciones de Al/Si, siendo significativamente más suaves comparadas con las que tienen A200.

La señal de RMN de ^{29}Si de la sílice de pareado, Q2_p, está desplazada por un aluminio coordinado tetraédricamente, Al(IV) presente en la posición de puente vecina de las cadenas "dreierketten", formando Q2_b(1Al), como se puede observar en la Figura 2.

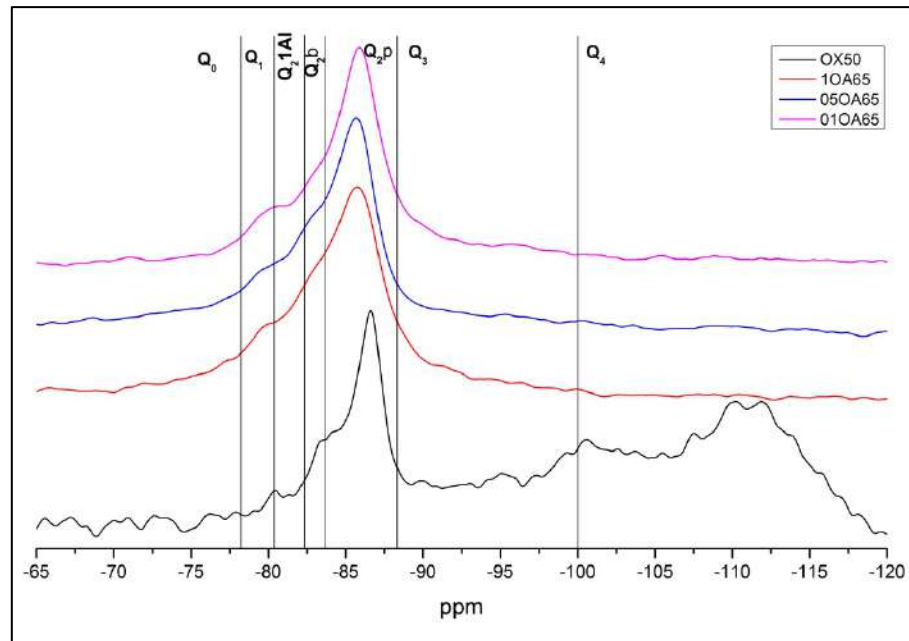
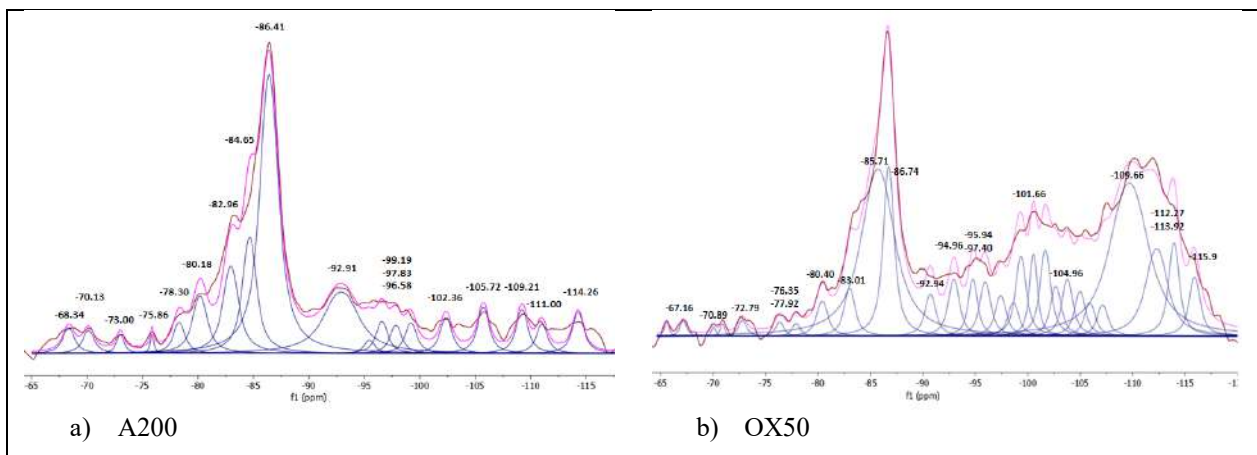


Figura 3 Espectros de ^{29}Si MAS-RMN de la combinación de la OX50 y la Alu65 (A65).

El análisis de los espectros ^{29}Si MAS-NMR proporcionó información cuantitativa sobre las fracciones de silicio presentes en los entornos tetraédricos Q_n ($0 < n < 4$), donde Q representa el tetraedro de sílice y n el número de átomos de oxígeno que forman puentes con tetraedros adyacentes. Se puede realizar un análisis más exhaustivo de los geles C-S-H mediante la desconvolución de los espectros, como se muestra en la Figura 4.

La desconvolución del espectro es una operación matemática que identifica los posibles componentes de la señal, en este caso, los componentes del ^{29}Si . Aunque este procedimiento, que se basa en una interpretación específica de los resultados, puede tolerar errores, es ampliamente utilizado por la comunidad científica(19,30-33). En este caso concreto, las señales de la mayoría de los geles presentaban picos claramente definidos, lo que facilitó en gran medida el establecimiento de los componentes desconvolucionados. La Figura 4 muestra los componentes de las señales MAS-NMR en los geles A200, 1AA65, 0.5AA65, 0.1AA65, OX50, 10A65, 0.5OA65 y 0.1OA65. Las muestras A200 y OX50 es la NS combinada con $\text{Ca}(\text{OH})_2$.



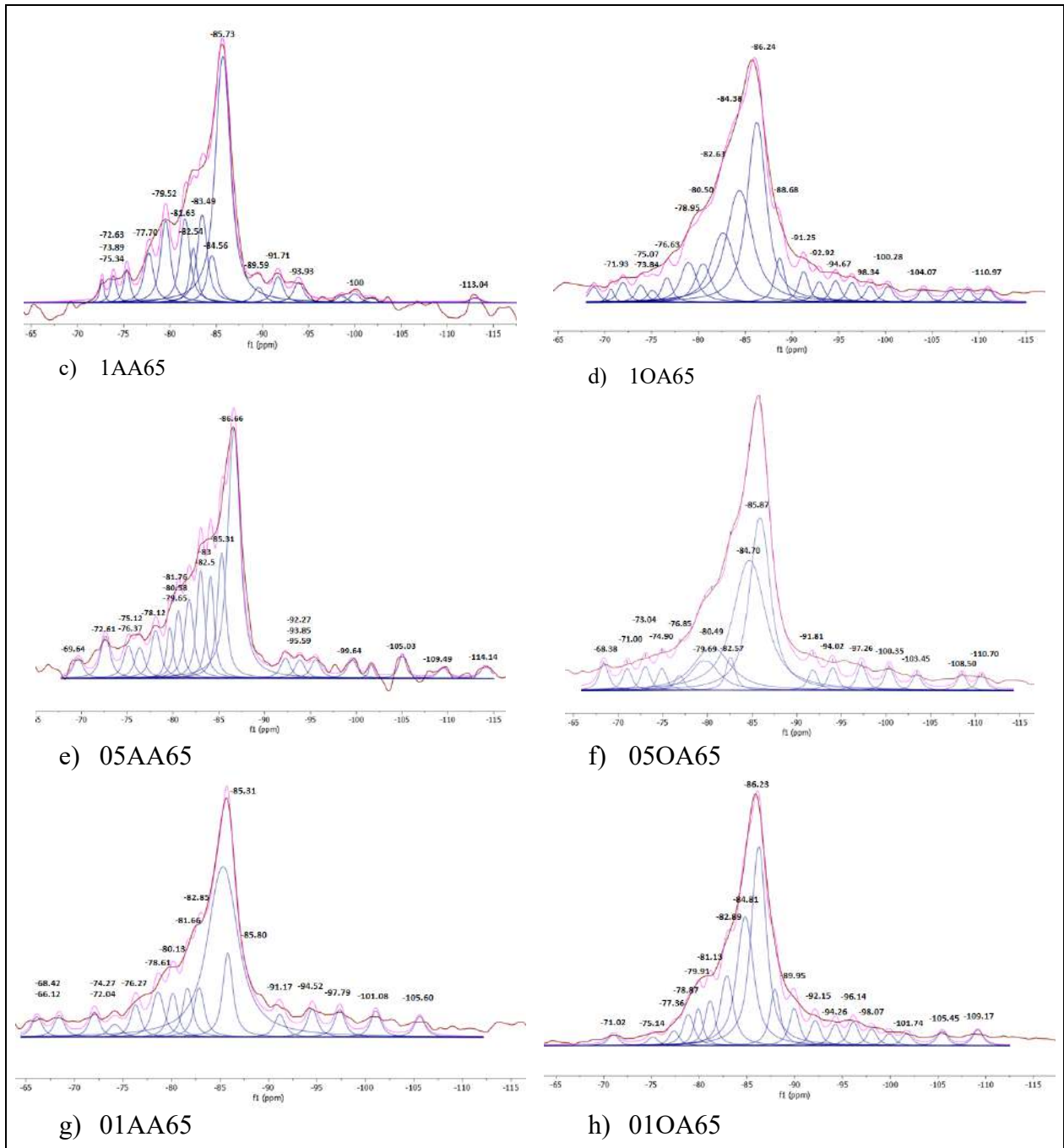


Figura 4 Desconvolución de los espectros de ^{29}Si , en cada uno la línea magenta es el espectro ajustado, la línea oscura es el espectro del experimento y las curvas son el ajuste de la señal.

La tabla 3 enumera los desplazamientos químicos [δ (ppm)] y los porcentajes de área (A%) para los distintos componentes resultantes de la desconvolución. Se puede observar en la Figura 4 el resultado del espectro obtenido del ajuste matemático con respecto al espectro real del experimento, mostrando una muy buena aproximación. Esto se debe al número de interacciones generadas en el programa y a la búsqueda de las señales ocultas dentro del espectro, ya que algunos picos u hombros que se identifican a simple vista no son suficientes para realizar un buen ajuste. Se observó que la intensidad minoritaria u oculta son clave para una cuantificación de los valores Q. Esto se debe a que el mayor porcentaje de área se le asigna a un pico, pero las pequeñas contribuciones de algunos picos minoritarios pueden mostrar un valor más real de esa

cuantificación. La tendencia de las estructuras observadas es a mostrar más tetraedros pareados Q_{2p} en mayor o menor cantidad, por lo cual se puede decir que los geles sintéticos obtenidos presentaros una estructura que se aproxima a la tobermorita perfecta.

Tabla 3 Desplazamientos químicos [δ (ppm)] y porcentajes de área (A%) de los componentes desconvolucionados en los espectros ^{29}Si -RMN

Muestra	1AA65		05AA65		01AA65		1OA65		05OA65		01OA65	
	Peak (ppm)	Area %	Peak (ppm)	Area %	Peak (ppm)	Area %	Peak (ppm)	Area %	Peak (ppm)	Area %	Peak (ppm)	Area %
Q0	-72.63	1.05	-69.64	1.92	-66.12	2.02	-71.93	3.48	-68.38	1.99	-71.02	1.15
	-73.89	1.81	-72.61	4.05	-68.42	2.16	-73.84	1.39	-71.00	1.63	-75.14	0.92
	-75.34	2.34	-75.12	3.11	-72.03	2.50	-75.07	0.97	-73.04	1.76	-77.36	1.50
	-77.70	5.47	-76.37	2.94	-74.15	1.50	-76.63	2.00	-74.90	1.62		
					-76.28	3.10			-76.85	1.10		
Q1	-79.52	9.09	-78.12	4.58	-78.61	5.14	-78.95	5.20	-79.69	6.58	-78.87	3.44
			-79.65	3.22	-80.13	3.99					-79.91	3.22
Q2 _b (Al)	-81.63	9.33	-80.58	5.13					-80.49	12.38	-81.13	4.61
			-81.76	6.99	-81.66	4.79	-80.50	4.93				
Q2 _b	-82.54	4.47	-83.00	8.26	-82.85	4.83	-82.63	13.12	-82.57	2.46	-82.89	9.09
	-83.49	9.75										
Q2 _p	-84.56	5.27	-85.31	17.90	-85.31	49.21	-84.38	23.50	-84.70	32.44	-84.81	21.77
	-85.73	41.64	-86.66	29.97	-85.80	8.26	-86.24	27.48	-85.87	27.54	-86.23	35.86
Q3	-89.59	1.72	-92.27	1.92	-91.17	2.26	-88.68	3.57	-91.81	1.54	-89.95	3.82
	-91.71	2.83	-93.85	1.76	-94.52	2.82	-91.25	2.49	-94.02	1.68	-92.15	2.61
	-93.93	2.30	-95.59	1.81	-97.34	2.75	-92.92	1.67	-97.26	1.90	-94.26	2.17
	-98.56	0.74	-99.56	1.78			-94.67	3.34			-96.14	2.48
	-100.00	1.02					-98.34	1.31			-98.07	2.95
Q4	-101.76	0.56	-105.03	2.37	-101.08	2.58			-100.35	1.72	-101.74	1.25
	-113.04	0.59	-109.49	1.03	-105.60	2.06			-103.45	1.22	-105.45	1.49
			-114.14	1.24			-100.28	1.31	-108.50	1.25	-109.17	1.65
							-104.07	2.11	-110.70	1.19		
							-110.97	2.13				

En las figuras 5 y 6 se muestra un diagrama de barras comparativo de la cuantificación de la tabla 3. En ellas se puede observar que la combinación de la NS A200 con la NA A65 genera ligeramente más Q_{2b} en comparación con la combinación de la NS OX50 con la NA A65. Lo mismo sucede con el Q_{2b} (1Al), pudiendo asociarse este resultados al Al (IV), forma en la que el Al coordina mayormente en el caso de la relación Al/Si= 0.5.

Se puede observar una mayor proporción e Q_0 , correspondiente a la parte anhídrida en las combinaciones NS A200 y NA A65. Una posible causa de esto es el menor el tamaño de partícula y la alta superficie específica de la NS a200.

La señal de Q_{2b} (1Al) aumenta en intensidad en presencia de más de aluminio, lo que indica la captación de más aluminio en posición de puente; la intensidad relativa del final de cadena Q_1

disminuye mientras que Q_{2p} se mantienen aproximadamente constante, como se muestra en las figuras 5 y 6.

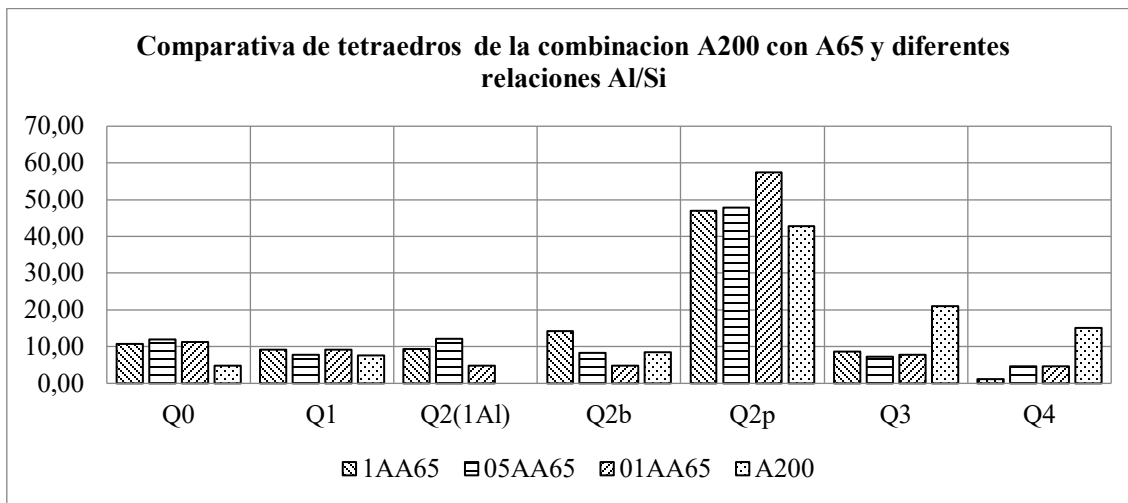


Figura 5 Gráfica comparativa de la cuantificación de los Q_n para la combinación A200 y A65

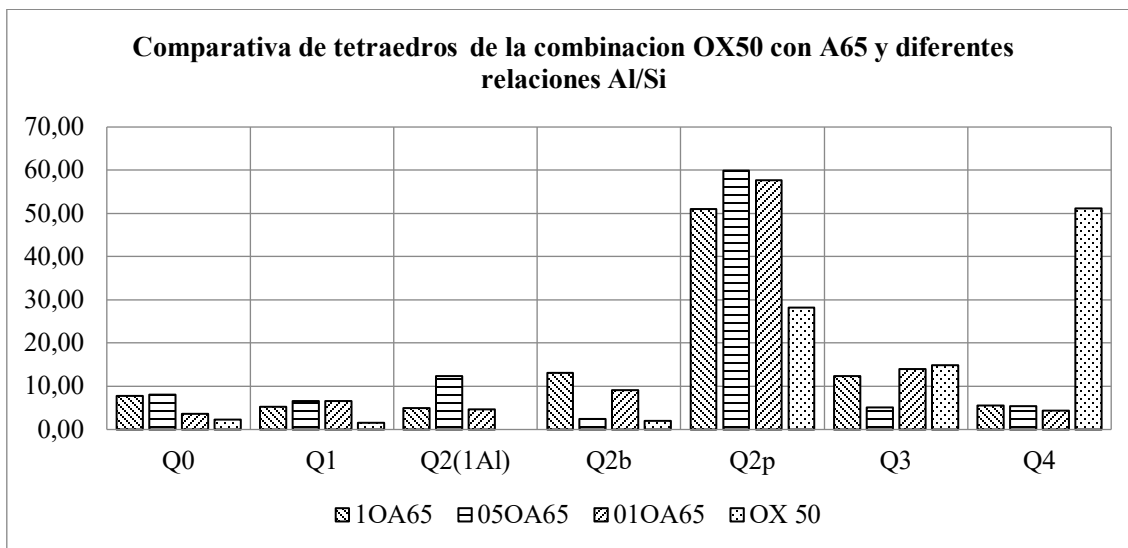


Figura 6 Gráfica comparativa de la cuantificación de los Q_N para la combinación OX50 y A65

Richardson propuso el uso de información derivada de las diferentes unidades Q_n para calcular las longitudes medias de las cadenas (MCL) de los geles C-S-H a partir de la siguiente ecuación (Richardson, 2014):

$$MCL = \frac{2}{\frac{Q_1 + Q_2 + \frac{3}{2}Q_2(1Al) + Q_3 + Q_3(1Al)}{Q_1}} \tag{1}$$

Se realiza una modificación de la ecuación original, agregando el aporte de los Q_{2b} (1Al), aunque sean minoritario aporta a la cadena.

Otro parámetro interesante que se puede obtener cuando se utiliza el RMN es el grado de hidratación que se calcula con la siguiente ecuación (Richardson,2014):

$$\varphi(\%) = (1 - Q_0) * 100 \tag{2}$$

Para determinar la relación Ca/Si y la relación Al/Si que realmente tienen los geles sintéticos se utilizaron las ecuaciones 3 y 4 (Richardson,2014). El Q3(1Al) no se incluye en el numerador porque todo el Al está representado por el Q2(1Al). Esto es para observar la interacción del C-A-S-H en los geles sintéticos.

$$\frac{Ca}{Si} = \frac{\frac{1}{2}Q_1 + \frac{2}{3}Q_1}{Q_1 + Q_2} \quad (3)$$

$$\frac{Al}{Si} = \frac{\frac{1}{2}Q_2(1Al)}{Q_1 + Q_2 + Q_2(1Al)} \quad (4)$$

La creciente ocupación de tetraedros puente por Al(IV) disminuye la relación Ca/ (Si+Al) y conduce a un mayor grado de polimerización de los tetraedros de sílice de los tetraedros de sílice y, por lo tanto, una mayor longitud de la cadena de sílice.

Tabla 4 Valores de MCL, relaciones Ca/Si y relaciones Al/Si para todos los experimentos

Muestra	MCL	Ca/Si	Al/Si
1AA65	18.53	0.6667	0.05920
05AA65	21.08	0.6667	0.08514
01AA65	17.22	0.6667	0.03022
1OA65	29.52	0.6667	0.03017
05OA65	26.61	0.6667	0.08350
01OA65	24.12	0.6667	0.02638

En la tabla 4 se muestran las longitudes de cadena media para cada una de las muestras y sus respectivos valores de las relaciones de Ca/Si y Al/Si. Como se puede observar las MCL para las relaciones teóricas de 0.5 son cadenas largas y tiene un comportamiento muy similar, corroborando lo descrito anteriormente en las figuras 5 y 6. De manera general las MCL son mayores cuando se combina OX50 y A65, se podría argumentar que polimeriza más que otras combinaciones, mostrando una tendencia a tener una estructura más similar a la tobermorita perfecta, evolucionando a partir de la estructura de tobermorita defectuosa.

La relación Ca/Si se mantiene fija en todos los experimentos, significativamente menor a la relación teórica establecida en el diseño experimental, mostrando que la saturación del Ca fue más que suficiente agotando la mayor parte de Si reactivo de la disolución.

La relación Al/Si es muy distinta a la relación teórica que se estableció al inicio. Se puede observar que la relación 1 y 0.1 son muy similares siendo los extremos y la relación 0.5 muy similar en ambas combinaciones, aquí la combinación de materiales no muestra cambios muy significativos, pero si la relación Al/Si.

En la figura 7 se muestran los valores de MCL y los grados de hidratación para todas las muestras, comparando todas las relaciones con las NS combinadas con Ca(OH)₂, La OX50 muestra la mejor hidratación sola y combinada con la A65, en comparación con la A200. La hidratación no guarda una relación importante en la MLC, pero si en la combinación con el agua y el calcio.

La combinación de OX50 y A65 es la que mejor resultados muestra, esto puede justificarse por la superficie que tienen ambas y el tamaño de partículas, que al tener valores muy similares que posiblemente provoque una interacción más fluida que cuando se utiliza la A200.

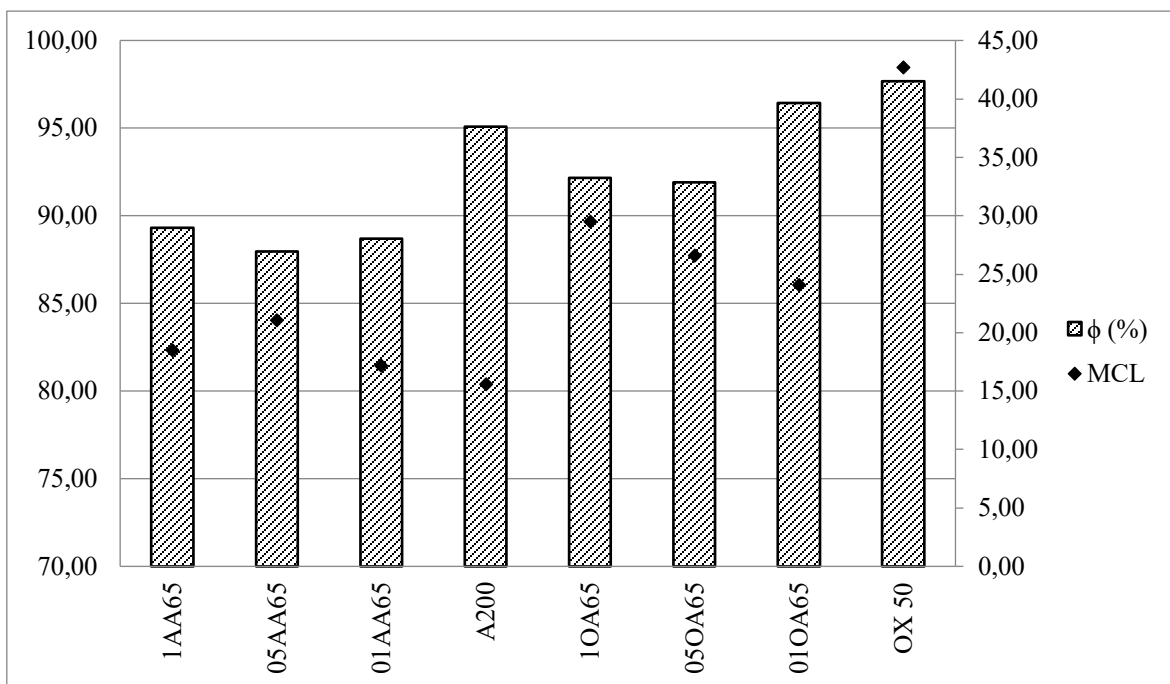


Figura 7 Gráfica del grado de hidratación y MCL para todas las combinaciones y las NS como referencia

4. CONCLUSIONES

En el uso de nanoadiciones una mayor superficie específica no asegura un mejor comportamiento del material resultante. En el presente estudio la mayores modificaciones de la estructura de los geles C-S-H lo presentaron las combinaciones OX50 y A65. En estas mezclas se han encontrado los mayores resultados de MCL.

La mayor superficie específica de la nanosílice han presentado modificaciones en la coordinación de los silicatos. En las mezclas con A200 se han generado estructuras de gel tipo C-A-S-H al mostrar más Q_{2b}(1Al) en todos sus combinaciones. Esto podría ser beneficioso si se busca una mayor fijación del cloruro.

La RMN ²⁹S es un método adecuado para estudiar los cambios en las estructuras de los silicatos hidratados cuando se utilizan nanoadiciones. El uso combinado con RMN de ²⁷Al, podría completar el análisis y hacer posible confirmar la coordinación tetraédrica o pentaédrica del Al como enlaces puente.

5. REFERENCIAS

A.C. Courault, Simulation experimentale des C-S-H dans les betons modernes: etude de la composition et des proprietes a l'equilibre dans des milieux complexes, in, Université de Bourgogne, Dijon, France, 2000, pp. 203.

A.V. Girão, I.G. Richardson, R. Taylor, R.M.D. Brydson, Composition, morphology and

C.A. Love, I.G. Richardson, A.R. Brough, Composition and structure of C-S-H in white Portland cement-20% metakaolin pastes hydrated at 25 degrees C, *Cem. Concr. Res.* 37 (2007) 109–117.

E. L'Hôpital, B. Lothenbach, G. Le Saout, D. Kulik, K. Scrivener. Incorporation of aluminium in calcium-silicate-hydrates, *Cement and Concrete Research* 75 (2015) 91–103 .

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.04.007>

- F. Battocchio, P.J.M. Monteiro, H.-R. Wenk, Rietveld refinement of the structures of 1.0 C-S-H and 1.5 C-S-H, *Cement and Concrete Research*, 42 (2012) 1534-1548.
- Fuencisla (2012) Modificaciones nanoestructurales en pastas de cemento, CSIC, Universidad Autónoma de Madrid.
- G. Richardson and G. W. Groves, "Microstructure and Microanalysis of Hardened Ordinary Portland Cement Pastes," *J. Mater. Sci.*, 28, 265–77 (1993).
- G. Richardson, "The Calcium Silicate Hydrates," *Cem. Con. Res.*, 38, 137–58 (2008).
- G. Richardson, "The Nature of C–S–H in Hardened Cements," *Cem. Concr. Res.*, 29, 1131–47 (1999).
- García-Lodeiro, I., Fernández-Jiménez, A., Sobrados, I., Sanz, J. & Palomo, A. (2012). *J. Am. Ceram. Soc.* 95, 1440–1446.
- H. F. W. Taylor, "Proposed Structure for Calcium Silicate Hydrate Gel," *J. Am. Ceram. Soc.*, 69 464–7 (1986).
- H. F. W. Taylor, *Cement Chemistry*. Academic Press, London, UK, 1990.
- I.G. Richardson, G.W. Groves, The incorporation of minor and trace elements into calcium silicate hydrates (C-S-H) gel in hardened cement pastes, *Cem. Concr. Res.* 23 (1993) 131–138.
- I.G. Richardson, Model structures for C-(A)-S-H(I), *Acta Crystallographica*, B70 (2014) 903-923.
- I.G. Richardson, The calcium silicate hydrates, *Cem. Concr. Res.* 38 (2008) 137–158.
- J. J. Chen, J. J. Thomas, H. F. W Taylor, and H. M. Jennings, "Solubility and Structure of calcium Silicate Hydrate," *Cem. Con. Res.*, 34, 1499–519 (2004).
- J.J. Thomas, H.M. Jennings, A.J. Allen, Relationships between Composition and Density of Tobermorite, Jennite, and Nanoscale CaO-SiO₂-H₂O, *The Journal of Physical Chemistry C*, 114 (2010) 7594-7601
- J.S. Dolado, M. Griebel, J. Hamaekers, A molecular dynamic study of cementitious calcium silicate hydrate (C–S–H) gels, *J Am Ceram Soc*, 90 (2007) 3938-3942.
- Lothenbach, K. Scrivener, R.D. Hooton, Supplementary cementitious materials, *Cem. Concr. Res.* 41 (2011) 1244–1256.
- nanostructure of C–S–H in 70% white Portland cement–30% fly ash blends hydrated at 55 °C, *Cem. Concr. Res.* 40 (2010) 1350–1359.
- Nonat, "The Structure and Stoichiometry of C–S–H," *Cem. Con. Res.*, 34, 1521–8 (2004).
- P. Faucon, T. Charpentier, A. Nonat, J.C. Petit, Triple-quantumtwo-dimensional Al-27magic angle nuclear magnetic resonance study of the aluminum incorporation in calcium silicate hydrates, *J. Am. Chem. Soc.* 120 (1998) 12075–12082.
- R. Barbarulo, Compartement des matériaux cimentaires: actions des sulfates et de la temperature, in, Université Laval, Quebec, 2002, pp. 272.
- R. Taylor, I.G. Richardson, R.M.D. Brydson, Composition and microstructure of 20-year-old ordinary Portland cement-ground granulated blast-furnace slag blends containing 0 to 100% slag, *Cem. Concr. Res.* 40 (2010) 971–983.

Caracterización del comportamiento electroquímico en concreto reforzado con el uso de residuo minero Jal

J. J. Mejia Briseño¹, F. J. Olguin Coca^{1,2*}, L. D. López León¹, I. Castañeda Robles¹, L. Lizarraga Mendiola¹, F. Almeraya Calderon³, J.A. Cabral Miramontes³, A. Carreño Avila¹, M. A. Baltazar Zamora⁴, E. Sanchez Murillo², E. Hernandez Perez²

*olguinc@uaeh.edu.mx

¹ CA Construcción Sostenible y Desarrollo de Materiales, AAI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, México

² Ciencias de la Tierra, Instituto Tecnológico de Pachuca, [1]Pachuca, México

³ CIIIA, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México

⁴ Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Xalapa, México

RESUMEN

El estudio de la corrosión en estructuras de concreto reforzado empleando agregados naturales es de vital importancia para caracterizar su durabilidad. En el presente trabajo se realizó la caracterización electroquímica de especímenes de concreto reforzado empleando jal como sustituto de arena. Para esto, se emplearon diferentes relaciones a/c (0.40, 0.50 y 0.60); de igual manera se realizaron concretos con arena de banco; además, se empleó la técnica de impedancia electroquímica para determinar la velocidad de corrosión. se realizó la comparación de los distintos sistemas evaluados, los cuales se sometieron a un medio salino sintético para acelerar el proceso de corrosión, empleando una cámara de niebla salina a diferentes tiempos de exposición de las probetas evaluadas.

Palabras clave: Corrosión, Jales, Electroquímica, Durabilidad

ABSTRACT

The study of corrosion in reinforced concrete structures using natural aggregates is of vital importance to characterize their durability. In the present work, the electrochemical characterization of reinforced concrete specimens was carried out using jal as a substitute for sand. For this, different a / c relationships were used (0.40, 0.50 and 0.60); in the same way concretes were made with bank sand; In addition, the electrochemical impedance technique was used to determine the corrosion rate. The different evaluated systems were compared, which were subjected to a synthetic saline medium to accelerate the corrosion process, using a saline mist chamber at different exposure times of the evaluated specimens.

Keywords: Corrosion, Jales, Electrochemical, Durability

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país en gran medida los avances tanto científicos como tecnológicos están encaminados a la generación de nuevos productos conjuntamente con el establecimiento de nuevos procesos que garanticen un desarrollo sustentable, los cuales involucran sin dejar duda alguna a todas las áreas del conocimiento. En el campo de la ingeniería civil no hay excepciones ya que también se debe cumplir con la función esencial de fomentar la producción de nuevos materiales además de desarrollar esquemas tecnológicamente adecuados que aseguren un mejor empleo de los recursos naturales igualmente hay que asegurarse de que los procesos de producción y transformación de estos recursos satisfagan las necesidades de una comunidad cada vez mas demandante.

El inicio del concreto armado ocurrió en la segunda mitad del siglo XIX con la introducción del acero como material de refuerzo al concreto, hecha por Lambot en 1855 en la construcción de barcos de ferrocemento; ya en 1897 Hennebique construyó la primer estructura de concreto reforzado en Gran Bretaña en el Molino de Weaver [1].

Se pueden obtener concretos en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constructivos, agregados especiales (los diversos agregados ligeros o pesados), aditivos (plastificantes, micro sílice, ceniza volante) [2].

El incorporar materiales cementantes suplementarios al cemento Pórtland (mezclas ternarias) presenta grandes ventajas, debido a que desarrolla excelentes propiedades mecánicas y características de larga durabilidad [3].

La corrosión del acero embebido en el concreto, es un proceso electroquímico en el cual se desarrolla un ánodo donde se produce oxidación y un cátodo donde se produce reducción. El proceso de corrosión puede ser ocasionado por diversos factores, uno de esos factores son los sulfatos los cuales forman parte de las sales inorgánicas que normalmente están presentes en el terreno, en las aguas freáticas y superficiales, aunque su grado de concentración puede ser muy variable [4,5]. La presencia de sulfatos en el agua que está en contacto con una pasta endurecida de cemento, puede incrementar considerablemente solubilidad de los componentes de dicha pasta y causar, por una parte el desarrollo de la degradación del concreto por lixiviación y por otra parte el acero queda desprotegido y es ahí donde se desencadena el proceso de corrosión [6,7].

El material residuo de proceso de extracción de materiales de mina (jal), genera un contaminante muy importante en la cd. de Pachuca, el interés de esta investigación es poder aprovecharlo en la fabricación de elementos de concreto reforzado, con el fin de determinar las propiedades mecánicas así como su comportamiento electroquímico en el refuerzo de la varilla de acero en un sistema acero-concreto.

2. PROCEDIMIENTO

Los principales parámetros a considerar para la realización de la presente investigación son:

1. Mezcla de concreto con $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.
2. Dos tipos de cemento CPC 30 R y CPO 30R RS.
3. Acero al carbono AISI 1018, diámetro de 3/8".
4. Cuatro medios de exposición (arena contaminada con: 0, 1, 2 y 3% de Mg_2SO_4).

5. Monitoreo de potenciales e interpretación de acuerdo a Norma ASMT C876- 09[8].
6. Monitoreo de velocidad de corrosión con la técnica de Rp ASTM [9]

2.1 Diseño y proporcionamiento de la Mezcla de Concreto

El diseño de las mezclas de concreto, se realizo de acuerdo al método del ACI 211.1[10]; para el cual se debe hacer la caracterización de las propiedades físicas de los agregados a utilizar, con base a la Normativa ONNCCE, posteriormente con el método del ACI se hace el proporcionamiento para determinar la cantidad de material necesario para elaborar un metro cubico de concreto; en la siguiente tabla se muestra las cantidades empleadas.

Tabla 1. Dosificación de la mezcla de concreto.

CONTENIDO KG/M ³	CONCRETO CON F' C=350 KG/M ³
CEMENTO	456
AGUA	205
AGREGADO GRUESO	995
AGREGADO FINO O JAL	562

2.2 Características y Especificaciones de los especímenes de estudio

Como anteriormente se menciona se emplearon dos tipos de acero de refuerzo, acero al carbono AISI 1018 de 3/8", en el centro de los especímenes se coloco una barra de acero inoxidable la cual funciona como electrodo auxiliar. Las dimensiones de los especímenes y el arreglo de las barras embebidas en ellos se observa en la Figura 1.

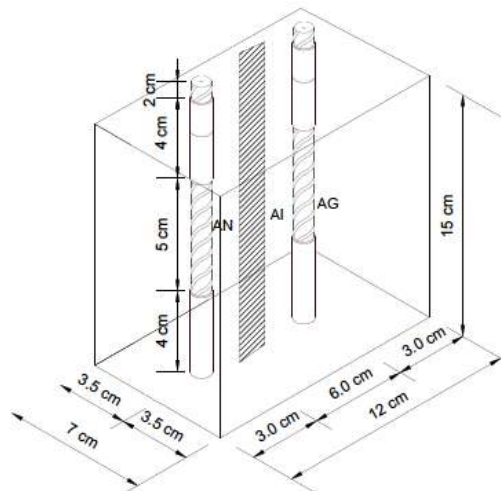


Figura 1. Dimensiones de los especímenes de prueba.

Las varillas de acero normal fueron limpiadas para retirar cualquier impureza que en ellas estuviese presente, posteriormente se delimito el área a evaluar y el resto se cubrió con una pintura anticorrosiva.



Figura 2. Varillas pintadas a utilizar.

La fabricación de los especímenes de prueba se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-C-159-2004. A cada uno de los especímenes se le asignó una nomenclatura, en función de sus variables, la cual se muestra en la tabla 2.

Se fabricaron tipos de especímenes:

- □ □ 25% de jal
 - □ □ 50% de jal
 - □ □ 75% de jal
 - □ □ 100% de jal
 - □ □ Agregados de banco
- Y 2 relaciones a/c 0.40 y 0.60

Tabla 2. Nomenclatura de especímenes de prueba.

Nomenclatura Empleada				
0J40C	50J40C	75J40C	100J40C	25J40C
25J60C	50J60C	75J60C	100J60C	0J60C

Los especímenes después de haber sido elaborados y descimbrados se sometieron a la etapa de curado durante 28 días como lo indica la norma, NMX-C-403-ONNCCE-1999.



Figura 3. Curado de especímenes.

Los especímenes fueron expuestos a la cámara de niebla salina (marca Ascott modelo S120s) utilizando el método que establece la norma ASTM B117 por periodos de 24 horas en dos ciclos, al igual se les realizó un monitoreo empleando la técnica electroquímica para determinar potenciales de corrosión y velocidad de corrosión.

En dado caso de que las figuras sean gráficas tener claro que los títulos del eje horizontal como vertical deben estar escritos en el idioma del artículo y en Times New Roman a 12pts, al igual que todo el texto que se le incluya a las imágenes.

Toda figura o tabla que no sea propia y sea tomada de otro artículo de revistas, libros, tesis o memorias, deberán de darles el crédito correspondiente (referenciarlas en el texto debajo de la figura o tabla).

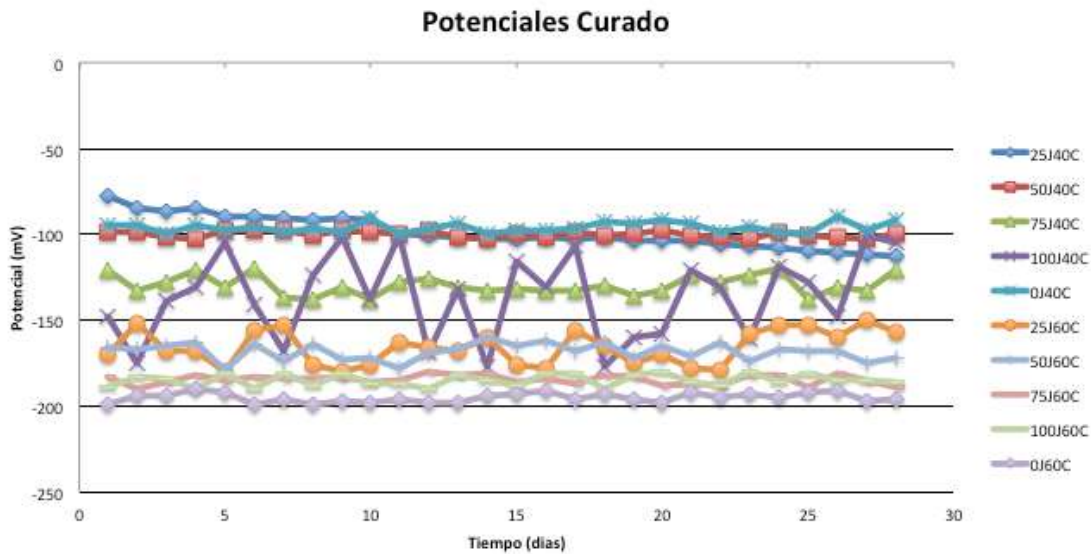
3. RESULTADOS

El monitoreo y la interpretación de los potenciales de corrosión se realizó con base a lo establecido en la Norma ASTM C876-09, que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Potenciales de corrosión en concreto reforzado.

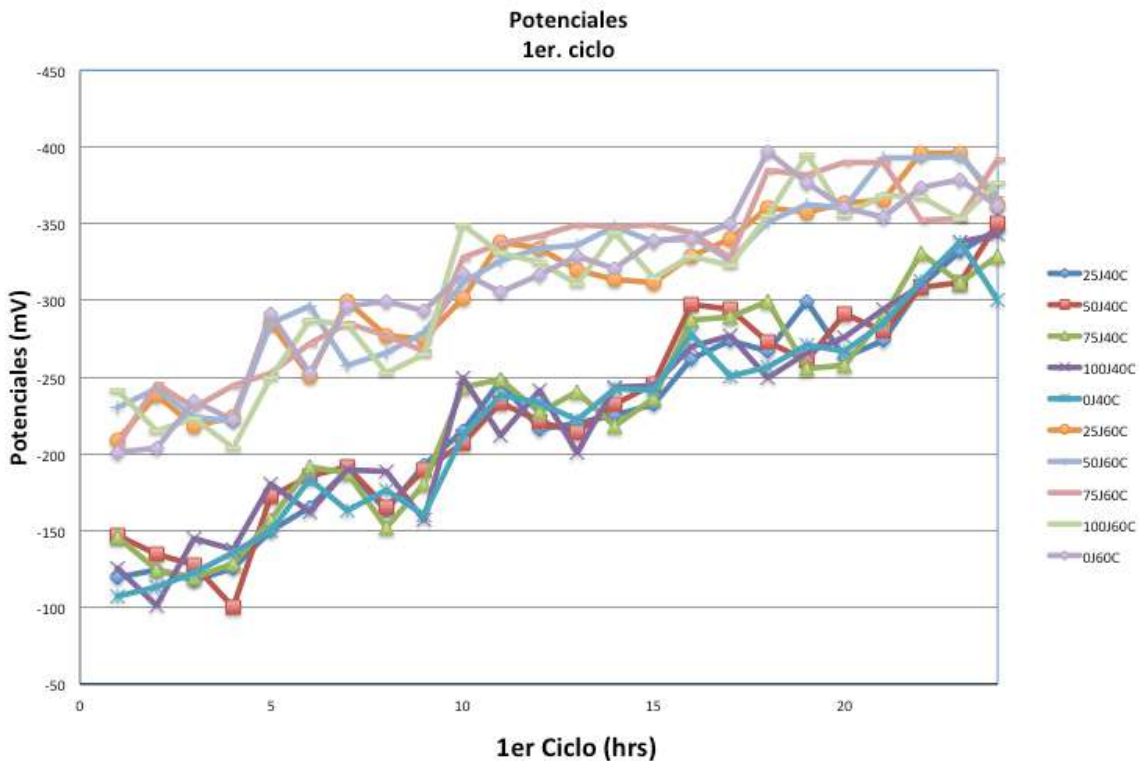
Potenciales de corrosión	
mV vs Cu/CuSO4	
< - 500	Corrosión Severa
< -350	90% de Probabilidad de Corrosión
-350 a -200	Incertidumbre
> -200	10% de Probabilidad de Corrosión

En la grafica 1 se muestran los potenciales de corrosión en la etapa de curado donde se observa que los especímenes se encuentran en la zona de potenciales menores de -200 mV con un 10 % de probabilidad de corrosión.



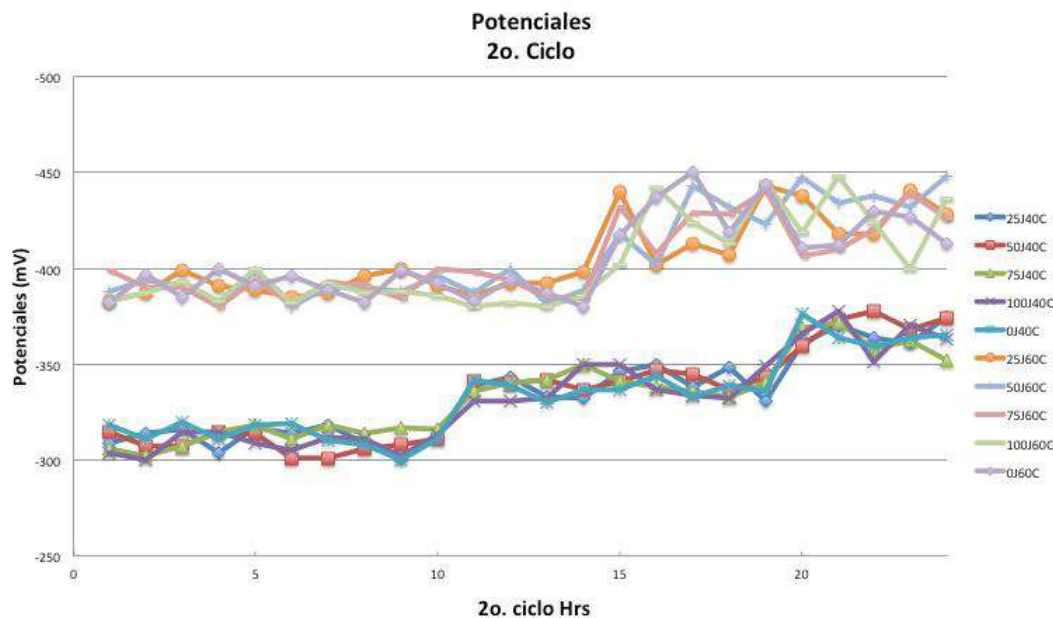
Grafica 1 Potenciales de corrosión en etapa de curado

En la grafica 2 se muestran los potenciales en las horas de exposición en la cámara salina donde se observa un incremento del porcentaje de corrosión después de la etapa de curado, el comportamiento de los potenciales en los especímenes de relación a/c 0.40 indican un incremento del potencial a zonas mas activas a un 90 % de probabilidad de corrosión, mientras que los de relación a/c 0.60 se conservan en una zona de incertidumbre.



Grafica 2 Potenciales de corrosión en el 1er ciclo

En la grafica 3 se muestra los potenciales en el 2o ciclo en la cámara salina se muestra los potenciales de media celda, se observa como los especímenes se encuentran en la zona de 90 % de probabilidad de corrosión por lo que muestra que los residuos de material de mina (Jal) se comportan de manera semejante que si se empleara arena de banco.



Grafica 3. Potenciales de corrosión en el 2o ciclo

Velocidad de corrosión

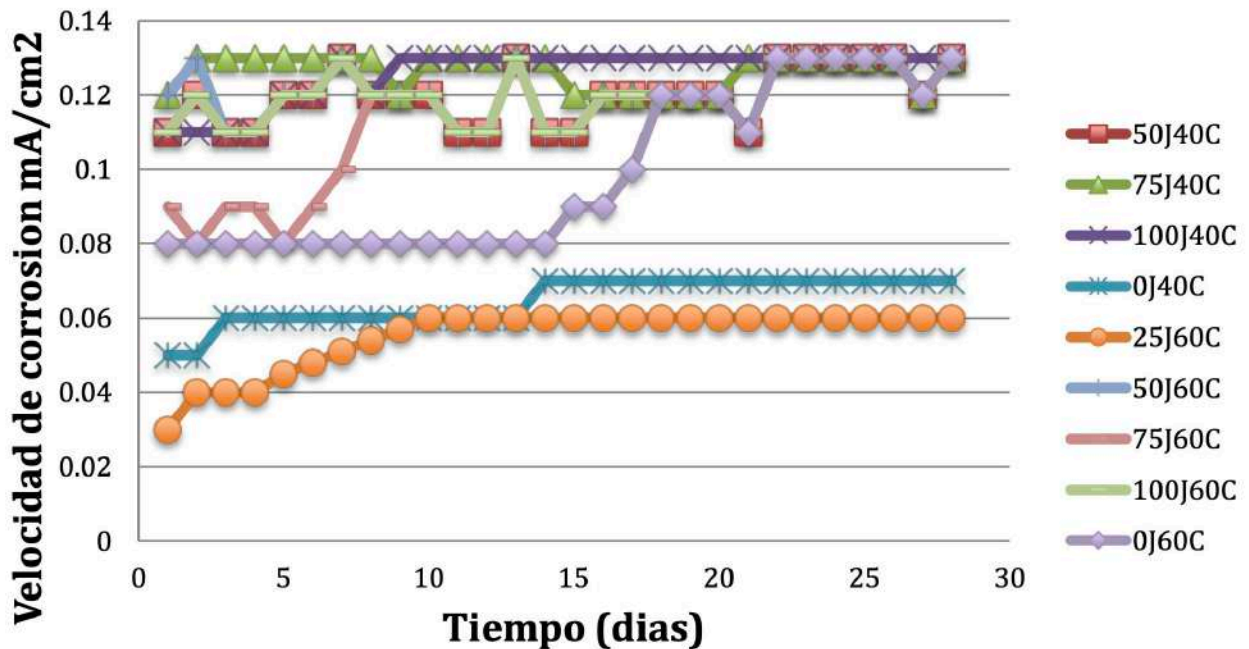
Las graficas 4 a 6 muestran el comportamiento de la velocidad de corrosión del acero 1018 durante la etapa de curado y los ciclos de la cámara salina. La interpretación de los valores de icorr se realizó con base los rangos establecidos en el manual de la red DURRAR, tabla 4.

Tabla 4. Valores de icorr para la determinación de la velocidad de corrosión

Velocidad de corrosión	
$\mu\text{A}/\text{cm}^2$ vs Cu/CuSO4	
< 0.1	Despreciable
0.1 – 0.5	Moderada
0.5 – 1	Elevada
>1	Muy Elevada

En la grafica 4 se observa el proceso del comportamiento de la velocidad de corrosión empleando la técnica de resistencia a la polarización, donde se observa una velocidad un velocidad de corrosión con mayor actividad en los especímenes con material con jal, de igual forma se observa que los especímenes se encuentran en una velocidad de corrosión despreciable siendo que los especímenes están en la etapa de curado.

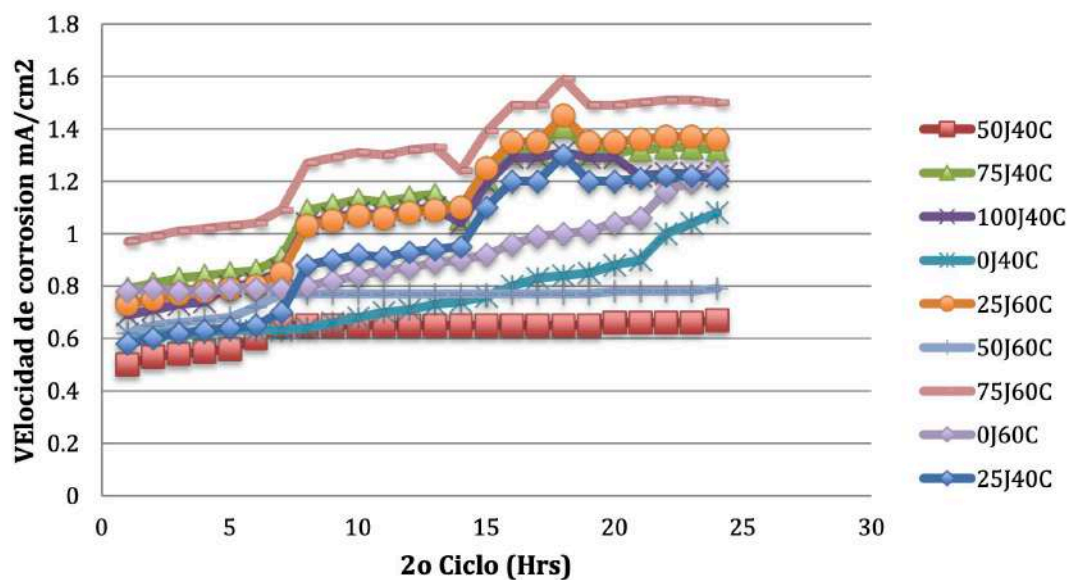
Velocidad de corrosión



Grafica 4 Velocidad de corrosión en la etapa de curado.

En la grafica 5 donde se observa la velocidad de corrosión en los especímenes en el 2o ciclo expuestos en la cámara salina se observo un incremento en la velocidad de corrosión y generándose una pasivación en los especímenes con 50% de Jal y un aumento en la velocidad de corrosión en los especímenes con rel. a/c de 0.60 pero mostrando de igual forma un periodo de pasivación en los especímenes con 50% de jal.

Velocidad de corrosión



Grafica 5 Velocidad de corrosión en 2o ciclo de cámara salina

4. CONCLUSIONES

El reciclado de material de mina (jal) aporta en un 50% una protección contra la corrosión de manera preliminar al combinarse con materiales de banco de material calizo.

El material estudiado presenta un comportamiento muy similar al material de banco en su comportamiento corrosivo, el material presenta una actividad corrosiva cuando se emplea al 100% debido a los componentes químicos que lo contiene.

La velocidad de corrosión se presentó como una corrosión elevada debido a que los resultados presentan valores entre 0.5 y 1.0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, en estudios posteriores se realizara los estudios con ruido electroquímico para conocer la evolución del material y su deterioro.

5. REFERENCIAS

- [3] R.E. Núñez, C. Gaona-Tiburcio, J. Uruchurutu, C. P. Barrios, F. Almeraya- Calderón y A. Martínez-Villafañe, Corrosion Evaluation of Modified Reinforcement Concrete by Electrochemical Noise Techiques, Portugalie Electrochimica, Acta 23 (2005).
- [4] E.E. Maldonado-Bandala y et al. “Electrochemical Characterization of Modified Concretes with Sugar Cane Bagasse Ash” International Journal of Electrochemical Science, Vol. 6., Pág. 4915-4926, Rep. de Serbia, 2011.
- [5] E.P. Reyes-Díaz y et al. “Corrosion Behavior of Steel Embedded in Ternary Concrete Mixtures” International Journal of Electrochemical Science, Vol. 6, Pág. 1892-1905, Rep. de Serbia, 2011.
- [1] P. Castro-Borges, M. Castillo, J. Carpio, J. Genescá, P. Helene, W. López, J. Pazini, A. Sanjuán y L. Véleva, Corrosión en estructuras de concreto armado, IMCYC, México (2001).
- [2] A. H. Nilson, Diseño de estructuras de concreto, Mc. Graw Hill, Colombia, (1999).
- [6] ACI. Proporcionamiento de Mezclas, Concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1, p. 29. Ed. IMCYC, México (2004).
- IMCYC, México (2004).
- [7] Baltazar Zamora M.A., Corrosión por Sulfatos en Concreto Reforzado, Tesis de Maestría, U.A.CH, 2000.
- Memorias en Congresos:*
- De Coss, R., Murrieta, G., Castro, P. (1998). “*Effect of weather cycles on chloride diffusion in*”
- [9] M. A. Baltazar-Zamora y et al. “Efecto del tipo curado en la probabilidad de corrosión de concreto con acelerante expuesto a un medio urbano y marino”. CONGRESO ALCONPAT 2010, Xalapa, Ver; México. (2010).

[8] Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing steel in Concrete, ASTM C 876-09, ASTM Volume 03.02, (2009).

[11] ASTM B117

Mapeamento das manifestações patológicas de edificação histórica de Campina Grande: A estação ferroviária como patrimônio Art Déco

E.M. Mendes¹, M.P. Viana¹, T.P. Albuquerque¹*, T.B. Araújo¹

*Autor de Contacto: tairone.albuquerque@maisunifacisa.com.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Unifacisa, Campina Grande, Brasil.

RESUMO

As fachadas correspondem à identidade visual de uma edificação, sua exposição direta a intempéries desencadeia manifestações patológicas. Este artigo tem como objetivo identificar e apresentar as condições de preservação das fachadas do edifício principal destinado à Estação Ferroviária Nova, fazendo um resgate histórico do edifício e da *art déco* na cidade. A metodologia baseia-se em levantamento bibliográfico, inspeção visual, mapeamento de danos e aplicação da Matriz (GUT) Gravidade, Urgência, Tendência. As principais manifestações patológicas atuantes referem-se a problemas estruturais, fissuras, descascamentos, descolamentos de argamassa e danos relacionados à umidade e principalmente atreladas a ações antropológicas. O estado de conservação é preocupante e necessita de intervenções imediatas.

Palavras chave: Manifestações patológicas; Mapa de danos; Matriz GUT; Fachada; *Art déco*.

ABSTRACT

The facades correspond to the visual identity; its exposure to bad weather triggers pathological manifestations. This article aims to identify and present the preservation of the facades of the main building destined for railway station through the damage map and the historical rescue of the building and art Déco. The methodology is based on a bibliographic survey, visual inspection, damage mapping, and application of the Matrix (GUT) Gravity, Urgency, Trend. The main pathological manifestations present refer to structural problems, cracks, peeling, mortar detachment, and damage related to humidity and mainly linked to anthropological actions. The state of conservation is worrying and needs immediate interventions.

KEYWORDS: Pathological manifestations; Damage map; GUT matrix; facade; Art Deco.

1. INTRODUÇÃO

O edifício principal destinado a Estação Ferroviária Nova, objeto de estudo deste artigo, foi referência para o desenvolvimento da cidade e toda a história da cultura algodoeira, sua

infraestrutura configurou uma nova forma urbana para a cidade de Campina Grande, na Paraíba. Com características modernistas em estilo *Art Déco*, a edificação foi inaugurada em 1961, como comemoração aos 50 anos da chegada do trem ao município.

O transporte ferroviário utiliza a estrada de ferro, e seus veículos são os trens, trata-se de um modal sem flexibilidade, mas com alta capacidade de transporte de materiais. Santos (2019) afirma que com o impulso industrial automobilístico, este modal passou a ser visto como algo ultrapassado e a sociedade enxergava nos transportes rodoviários a agilidade e flexibilidade que o transporte ferroviário não mais oferecia. Com a concorrência desleal, os complexos ferroviários foram negligenciados e esquecidos pelos órgãos mantenedores.

Segundo Andrade et al. (2005), a edificação é um patrimônio cultural assim como a arte, uma das linhas mestras de desenvolvimento da civilização. Deste modo, representa a época em que foi construída, a técnica empregada e o contexto físico e social em que está inserida, tornando-se um testemunho dos valores sociais e do momento histórico no qual foi concebido.

Com o passar dos anos e a utilização dessas edificações, ocorre a degradação natural dos seus materiais constituintes, devido à ação das intempéries. A ausência de comprometimento dos órgãos públicos com os procedimentos de manutenção e reparos de eventuais manifestações patológicas, acarreta uma considerável redução de sua vida útil. Scheidegger (2019) alerta para necessidade de detecção precoce dos problemas patológicos como chave para que não haja um comprometimento total da estrutura, uma vez que, o quanto antes for localizado, analisado e tratado, tende a reduzir as possibilidades de condenação e os custos para uma eventual reparação.

Tais constatações auxiliam a pensar um importante equipamento cultural tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado da Paraíba (IPHAEP), que atualmente encontra-se completamente abandonado e desassistido, perdendo suas características e potencializando manifestações patológicas.

Então, este artigo tem como objetivo geral identificar as manifestações patológicas e as condições de preservação das fachadas do edifício principal da Estação Nova. Para isso, apresenta como objetivos específicos: resgatar a história da estação nova e *Art Déco*; elaborar o mapeamento dos danos existentes.

A metodologia utilizada para a elaboração do presente estudo baseou-se nas diretrizes para representação gráfica de mapa de danos de Achiamé e Filho (2018). E nos estudos desenvolvidos por Tinoco (2009) para inspecionar fachadas de valor histórico apresentando de maneira técnica as manifestações patológicas presentes em edificações de valor cultural. Para conhecer o estado de degradação das fachadas e fornecer subsídios para tomadas de decisões, aplicamos a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) além da análise de levantamentos bibliográficos acerca da problemática.

Na busca de investigar tais manifestações, Santos (2018) define a função da envoltória (fachadas e cobertura) como a proteção dos espaços interiores das condições adversas do exterior, servindo como barreira para estes agentes. Por estar exposto a diversas intempéries, os casos mais comuns de manifestações patológicas identificadas em fachadas estão atrelados aos descolamentos de pastilhas, fissuração dos revestimentos, degradação de pinturas, presença de eflorescência e bolor, entre outros.

Por isso, elaborar o Mapa de Danos contribui na verificação das manifestações patológicas nas edificações, de acordo com Barthel et al. (2009, p.1):

O Mapa de Danos se aplica somente aos bens culturais materiais e consiste na representação gráfica e sintética dos danos físicos existentes no bem histórico. É resultado de pesquisas mais aprofundadas sobre o edifício que levarão ao conhecimento do estado de conservação para fundamentação da postura de intervenção a ser adotada.

Desse modo, esse estudo resgata a importância da arquitetura Art Déco presente na edificação da Estação Ferroviária Nova que representou o avanço da urbanização na cidade. Mostrando a atual condição do espaço que outrora foi símbolo de modernidade e tecnologia.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Esse trabalho foi dividido em etapas, com a finalidade de organizar os procedimentos necessários para a realização do mapeamento de danos das fachadas do edifício principal destinado à Estação Nova, localizado no complexo ferroviário da cidade de Campina Grande- PB. A natureza da pesquisa pode ser classificada como qualitativa e exploratória, a partir de um estudo de caso, de acordo com o tema escolhido.

A primeira etapa da elaboração consistiu na coleta de dados, foi executado um estudo bibliográfico com material especializado, como livros, monografias, cartilhas, artigos, entre outros materiais. A segunda foi a inspeção visual, com levantamento arquitetônico e documentação fotográfica das fachadas. Na terceira etapa foi feita a organização e análise dos dados coletados para posterior confecção do mapeamento de danos e aplicação da metodologia da matriz GUT, produzido em softwares especializados como AutoCAD e Excel. O produto final desta pesquisa é o mapa de danos e o gráfico de priorização das fachadas.

3. ART DÉCO

Munduruca (2013) contextualiza o surgimento da arquitetura art déco em Paris, no ano de 1925, apresentando-se como um conjunto de manifestações artísticas que teve como objetivo exteriorizar um espírito moderno por meio da arte decorativa. A autora relaciona a difusão pela associação aos avanços tecnológicos e pelas adaptações sofridas em cada país. No Brasil, o estilo atingiu todas as classes econômicas, sendo adotado de forma mais sistemática com produção extensa e única, por desenvolver materiais e técnicas próprias.

Nos estudos de Correia (2017) podemos constatar que no Brasil a arquitetura déco fez uso de princípios de hierarquização, expressos em formas escalonadas e enfatizando os acessos principais. Em casas populares a estética encontra-se na forma de detalhes ornamentais das fachadas, empregados cautelosamente, principalmente, nas platibandas.

Na cidade de Campina Grande, no século XX o estilo Art Decó fez parte da arquitetura. Melo (2020) atrela a gestão do prefeito Vergniaud Wanderley que implantou uma reforma urbanística pautada pelos discursos de progresso, modernidade, embelezamento e sanitário. Nesse contexto foram edificadas a Biblioteca Municipal, o Cine Teatro, a sede dos Correios, Telégrafo, assim como a Estação Nova com seu estilo Art Déco.

Os estudos de Queiroz (2010) reforçam essa relação do surgimento com a ruptura da implantação colonial e a introdução de toda uma tecnologia doméstica com intuito de modernizar e reformular o espaço público. A cidade possui um patrimônio art déco numeroso e significativo, erguido em áreas de expansão urbana ou substituindo uma considerável parcela dos antigos edifícios de herança colonial que predominavam na região central, conforme ilustrado na figura 01.

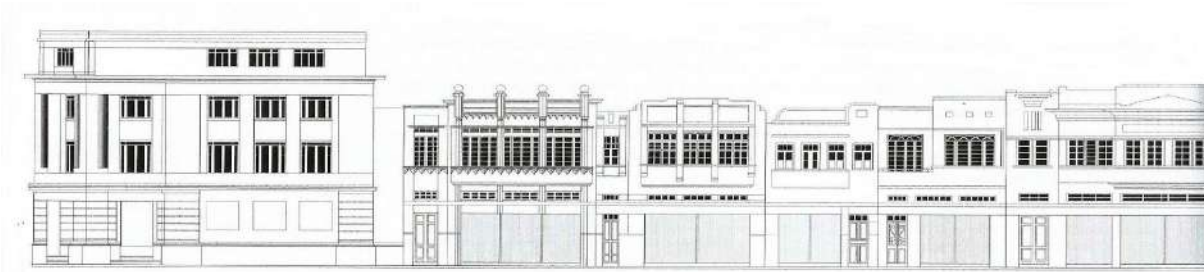


Figura 01 Rua Maciel Pinheiro/ lado ímpar/ 1º quarteirão. Câmara municipal e sobrados comerciais - foto Rossi (2010)

Queiroz (2010) alerta sobre a importância da preservação dos nossos patrimônios, denuncia a descaracterização e a falta de sintonia existente entre o poder público com um dos poucos elos entre o século XXI e as memórias, modos de vida e o saber fazer da primeira metade do século XX.

4. HISTÓRICO DA ESTAÇÃO NOVA

Melo (2020) faz uma retrospectiva da chegada do trem, a partir do século XIX as cidades tornaram-se símbolos da modernidade crescendo exponencialmente e sofrendo transformações culturais, sociais e demográficas. O trem nesse contexto serviu como um encurtador de distâncias, trazendo inovações e substituindo o animal lento pela máquina. Na cidade de Campina Grande o trem chegou em meados do século XX, carregando simbolismo, impulso econômico e comercial, transformando a cidade em um grande polo, com destaque no cenário nordestino. O primeiro ramal ligava Campina Grande à Itabaiana onde havia uma grande comercialização do algodão, daí a necessidade expansão de galpões e locais para armazenamento.

Ainda Melo (2020), relaciona a criação da Estação Nova, no ano de 1957, pela Rede Ferroviária Nacional, ao intuito de ampliar a estrutura ferroviária e atender às novas solicitações comerciais. O complexo ferroviário destinado a Estação Nova está localizado por meio da poligonal formada pela Av. Prof. Almeida Barreto, Av. Almirante Barroso e Av. Almirante Barroso, no Bairro Quarenta. O pátio é composto por 5 edifícios utilizados como depósitos, transporte de passageiros, oficina, posto de abastecimento, abrigo técnico e administrativo a figura 02 ilustra a disposição dos galpões no complexo ferroviário.



Figura 02 Complexo Ferroviário Estação Nova: Melo (2020)

A edificação principal, objeto de análise deste estudo, foi inaugurada no dia 29 de janeiro de 1961, destinado a embarque e desembarque de passageiros, além de abrigar o sino da estação, relógio e o castelo do maquinista. Com o advento industrial automobilístico, o trem passou a ser visto como algo ultrapassado e a sociedade reformula-se e passa a ver nos transportes rodoviários as facilidades que os trens perderam. O transporte de passageiros foi extinto na década de 1980, e passaram a realizar apenas transporte de cargas.

Afonso (2017) descreve a composição da edificação pelas linhas arquitetônicas em estilo Art Déco, com volumetria limpa e sem ornamentos, com arremate por uma torre central, possui grades de esquadrias trabalhadas e um rico painel que tem como tema a vida na ferrovia, na figura 03 podemos identificar a volumetria da edificação.



Figura 03 Estação de Campina Grande-nova em 12/2009. Foto Jonatas Rodrigues

Atualmente os imóveis encontram-se em estado de abandono pelo poder público. No que diz respeito a legislação vigente no art.8 da Lei nº 11483/2007, cabe ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT a responsabilidade pela conservação e manutenção dos bens imóveis no tocante a revitalização do setor ferroviário brasileiro. De acordo com o Ministério Público Federal, o município de Campina Grande demonstra interesse no uso e ocupação do conjunto ferroviário, e junto ao DNIT iniciou tratativas para realização de um Termo de Cessão.

5. FACHADAS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Barth (2007), afirma que as fachadas têm o poder de produzir a imagem do edifício e de criar a sua identidade visual. Assim como elas podem, também, melhorar o desempenho ambiental e atuar como elemento condicionador natural da edificação.

Apesar de sua função estética e de durabilidade Borges et. al., (2014) as fachadas são os primeiros elementos a necessitar de intervenções, devido à maior exposição à agentes deterioração como ações climáticas, mecânicas e antropológicas.

De acordo com Pereira (2012) o termo patologia nas edificações vem sendo utilizado em analogia com as enfermidades da medicina. Ela consiste no estudo de danos sistemáticos dos acidentes e suas causas. O autor reforça que os principais problemas em edificações, são evolutivos que tendem a se agravar com o tempo, porém pode-se compreender a natureza, a origem e os mecanismos envolvidos.

Feigelson e Couri (2011) alertam que os imóveis históricos possuem características construtivas peculiares e devem ser analisados de forma distinta de uma edificação comum, necessitando de um estudo adequado de revitalização e restauro. Os autores reforçam a preocupação com a durabilidade

das edificações pois elas possuíam um sistema construtivo simples e com materiais e técnicas que já estão em desuso.

6. MAPEAMENTO DE DANOS

Macedo apud Tinoco (2009) salienta que o método com maior eficiência e de simples aplicação na detecção, levantamento e representação de danos ou manifestação patológicas é a elaboração do Mapa de Danos e o mapeamento de danos. Justifica-se esse procedimento porque, através desse método, é possível caracterizar os níveis de degradação da edificação através da representação gráfica e fotográfica dela, tornando possível o conhecimento sobre as alterações estruturais e funcionais.

Para melhor entendimento deste trabalho, é importante salientar a diferença entre Mapa de Danos e Mapeamento de Danos. Tinoco (2009) diferencia o primeiro como um documento ou conjuntos de documentos gráficos e fotográficos que ilustram as realidades de uma edificação numa determinada data ou tempo; o segundo se refere aos processos de investigações, levantamentos e produção dos dados para elaboração do mapa.

Correa e Tirello (2012) afirmam que no caso das edificações históricas, se feito criteriosamente, resulta em um importante documento ilustrador, na medida em que pode agrupar informações relativas à quantidade, qualidade e intensidade das avarias dos materiais e estruturas dessas construções, constituindo-se em uma legítima e importante instância de diagnósticos dos bens culturais.

Não existe um modelo normativo a ser seguido, todavia neste estudo utilizaremos uma adaptação do modelo de representação gráfica proposto por Achiamé e Hautequestt Filho (2018), representado na figura 04. Composto de hachuras sólidas e coloridas com legenda e fotografias identificando os principais danos na edificação. Os autores agruparam em uma única ficha de classificação de danos, 24 manifestações patológicas mais recorrentes em edificações brasileiras.

 ALTERAÇÃO CROMÁTICA – MANCHA – PÁTINA	 EFLORESCÊNCIA
 ALVEOLIZAÇÃO	 FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS
 ATAQUE DE INSETOS XILÓFAGOS	 FORMAÇÃO DE POROS
 ATAQUE DE XILÓFAGOS AQUÁTICOS	 INCRUSTAÇÃO
 BOLOR	 INTERFERÊNCIA DE ELEMENTOS
 COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA – PÁTINA BIOLÓGICA	 PERDA DE MATERIAL – LACUNA
 CORROSÃO METÁLICA	 PRESENÇA DE VEGETAÇÃO
 CROSTA NEGRA – SUJIDADES	 PROBLEMAS ESTRUTURAIS
 DEGRADAÇÃO DIFERENCIAL	 UMIDADE ASCENDENTE
 DESAGREGAÇÃO – EROSIÃO	 UMIDADE DESCENDENTE
 DESCASCAMENTO – ESFOLIAÇÃO	 VANDALISMO
 DESCOLAMENTO – DESTACAMENTO	 VESÍCULAS

Figura 04 Simbologia adaptada Fonte: Achiamé e Hautequestt Filho (2018)

Todo o mapeamento foi desenvolvido pelo método indireto, conforme descreve Tinoco (2009), ele consiste na interpretação de elementos escritos e gráficos, com ações não destrutivas prezando pela premissa que o conhecimento deve ser construído.

7. MATRIZ DE GRAVIDADE, URGÊNCIA E TENDÊNCIA (GUT)

O método da Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) consiste na priorização nas intervenções de manutenção e reabilitação dos danos e/ou anomalias, sendo uma ferramenta importante para auxiliar na tomada de decisões dos gestores públicos. Braga (2019) explica que para esta avaliação, o método dispõe do uso de números que são associados a cada dano inspecionado, a fim de definir os graus de criticidade em relação a cada problema encontrado.

Para classificação GUT sobre as gravidades, foram extraídos quadros do estudo de Braga (2019) ilustradas nos quadros abaixo, onde a Gravidade (G) trata-se da importância do problema e seu potencial de dano (quadro 1). A Urgência (U) estar associado ao prazo para a realização das intervenções (quadro 02), e a Tendência (T) refere-se à evolução do problema em função do tempo (quadro 03).

Grau	Definição do Grau	Nota
TOTAL	Risco de morte, impacto irreversível com perda excessiva de desempenho, Prejuízo financeiro muito alto.	10
ALTA	Perigo de lesão aos usuários, danos recuperáveis ao meio ambiente e a edificação	8
MÉDIA	Risco à saúde dos usuários ocasionados pela degradação de sistemas, avarias ao meio ambiente reversíveis, perda financeira média.	6
BAIXA	Sem risco de saúde aos usuários, baixa degradação ao meio ambiente, necessidade de substituição de alguns sistemas, perda financeira baixa.	3
NENHUMA	Sem risco de saúde ou plenitude física, mínima deterioração do ambiente, nenhum dano de valor.	1

Quadro 01 Classificação GUT sobre as Gravidades, Braga (2019)

Grau	Definição do Grau	Nota
TOTAL	Acontecimento imediato, necessidade de interdição do imóvel sem prazos extras.	10
ALTA	Acontecimento na iminência de acontecer, urgente intervenção.	8
MÉDIA	Adversidade prevista para breve, necessidade de intervir rapidamente.	6
BAIXA	Inicialização de um incidente, intervenção ainda em forma de planos.	3
NENHUMA	Adversidade imprevista, mas necessário acompanhamento para futuras manutenções.	1

Quadro 2 Classificação GUT sobre as Urgências, Braga (2019)

Grau	Definição do Grau	Nota
TOTAL	Progresso da manifestação imediato, podendo haver pioras a qualquer instante.	10
ALTA	Evolução da situação prestes a ocorrer	8
MÉDIA	Evolução a médio prazo.	6
BAIXA	Possível evolução a longo prazo. Poderá vir a ocorrer. Situação de demora.	3
NENHUMA	Situação estabilizada, sem evolução do caso.	1

Quadro 3 Classificação GUT sobre Tendências, Braga (2019)

Para obter as prioridades, classificam-se os problemas de acordo com o produto dos valores (GxUxT) atribuídos para as manifestações patológicas de cada edificação.

8. RESULTADOS

A seguir serão ilustradas as principais manifestações patológicas identificadas nas fachadas da edificação principal destinada à Estação Ferroviária Nova de Campina Grande/PB. Elas podem se apresentar como resultado de combinações de causas que vão de problemas com qualidade dos materiais aplicados à agentes externos como à presença de umidade, variações de temperatura etc. O levantamento fotográfico das fachadas revela suas disposições para melhor identificação no mapeamento de danos. As figuras 5, 6, 7 e 8 são de acervo próprio retiradas da câmera de celular.



Figura 05 Fachada principal estação nova Fonte: acervo próprio (2021)



Figura 06 Fachada destinada a embarque e desembarque de passageiros e mercadorias Fonte: acervo próprio (2021)



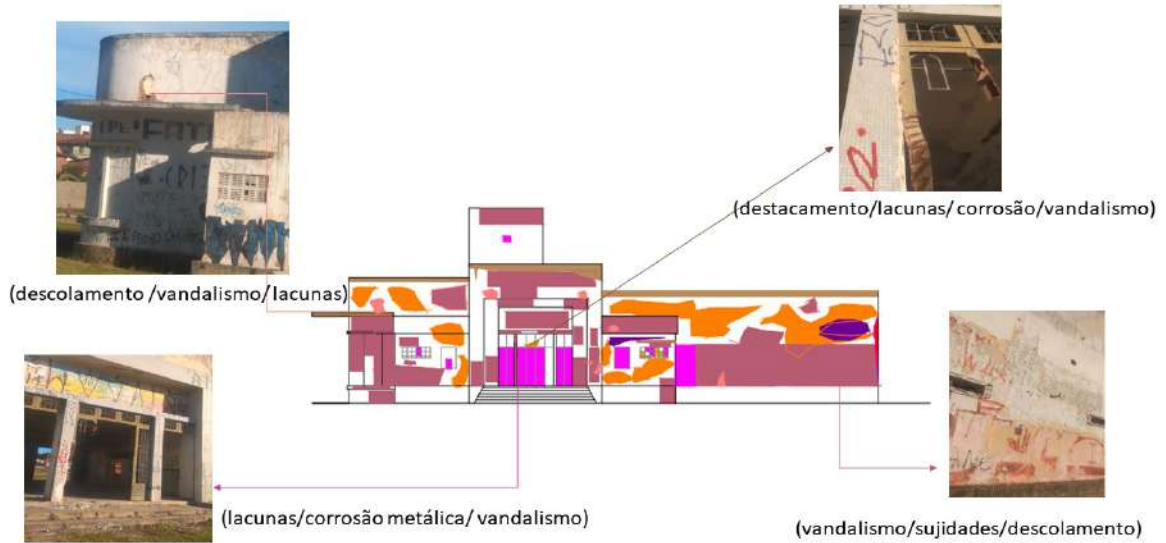
Figura 07 Fachada leste Fonte: acervo próprio (2021)



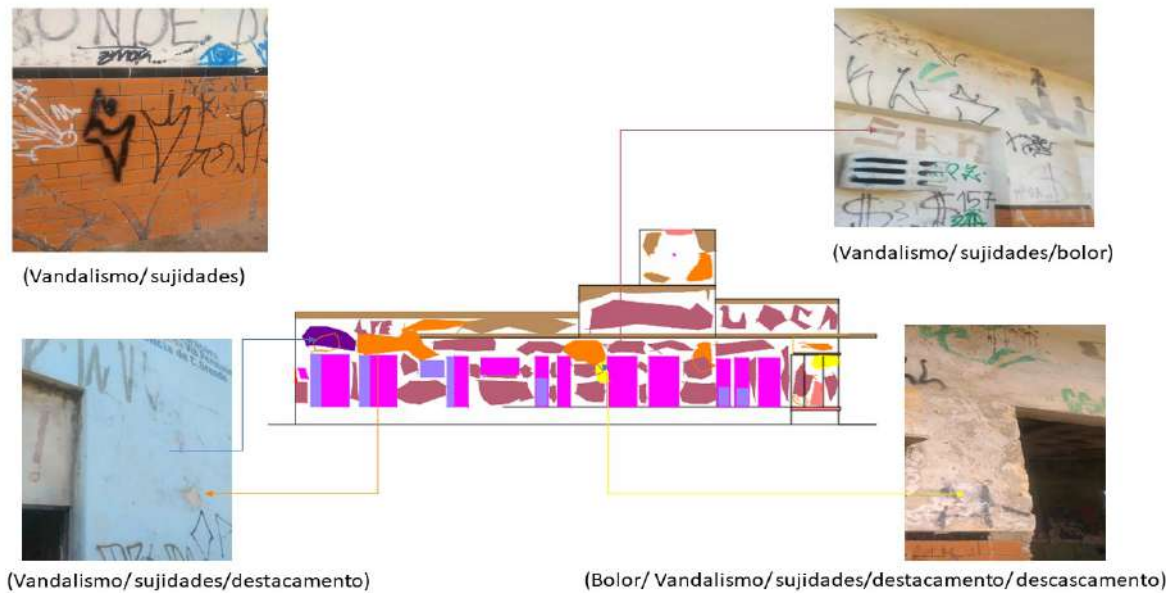
Figura 08 Fachada oeste Fonte: acervo próprio (2021)

Utilizando a adaptação da proposta de Achiamé e Hautequestt (2018) padronizamos e obtivemos os mapas de danos das fachadas, representando graficamente as principais manifestações patológicas presentes.

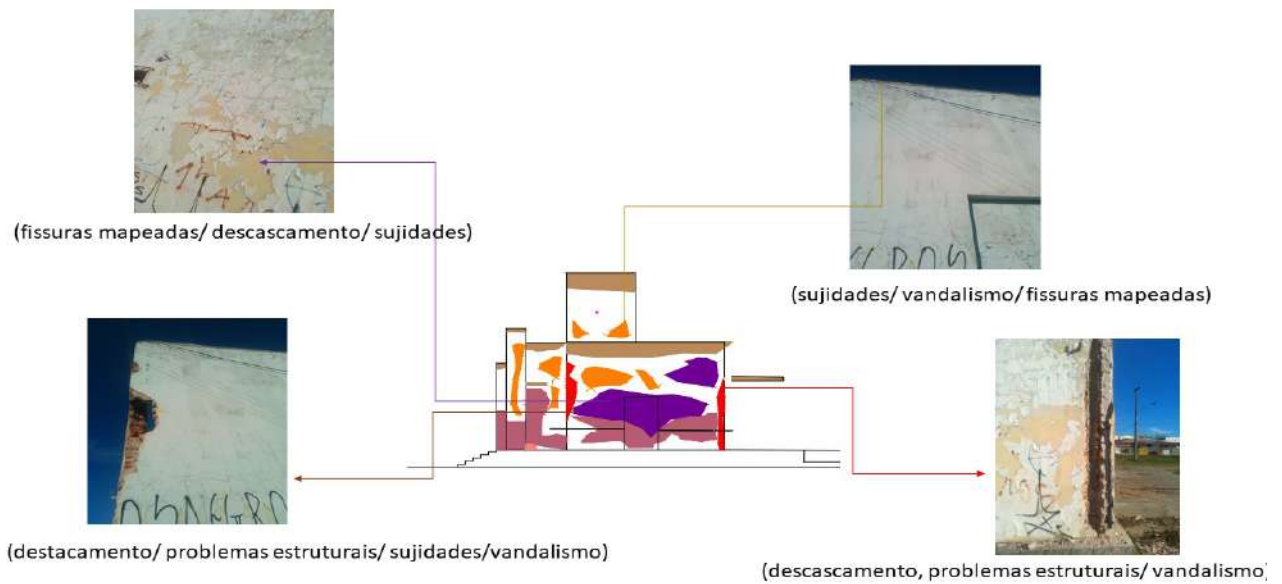
Na fachada principal, figura 09 as principais manifestações patológicas identificadas foram: vandalismo, sujidades, problemas estruturais, corrosão metálica, lacunas por perda de material (esquadrias), descolamento, fissuras mapeadas.



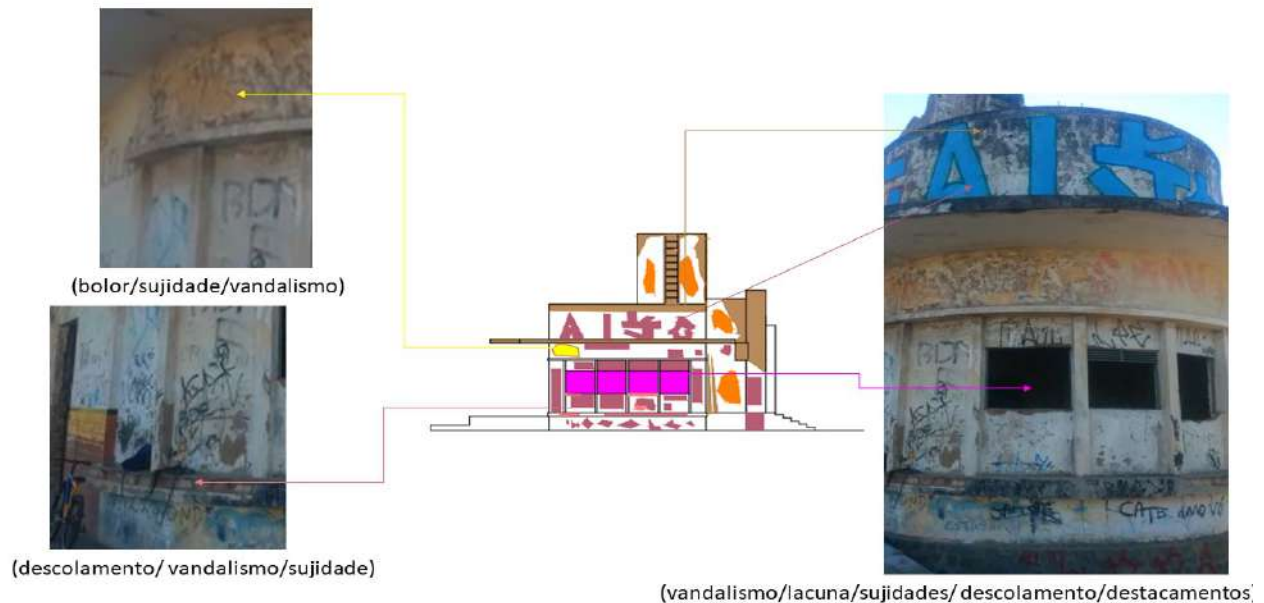
A fachada projetada para embarque e desembarque de passageiros e mercadorias, figura 10, foram encontradas manifestações: vandalismo, lacunas por perda de material, sujidades, fissuras mapeadas, bolor e descolamento.



A fachada leste, figura 11, apresentou sujidades, vandalismo, fissuras mapeadas, problemas estruturais (amarração danificada), descolamento.



Enquanto na fachada oeste, figura 12, foram identificadas as manifestações patológicas: Sujidades, vandalismo, bolor, descolamento, descascamento e presença de lacunas por perda de materiais (esquadrias).



A metodologia GUT é uma ferramenta de controle que é utilizada preferencialmente para estabelecer prioridades e indicar por onde se deve começar. Após a inspeção das fachadas da edificação e o seu posterior mapeamento, atribuímos pontos de acordo com as manifestações patológicas identificadas nas fachadas, a seguir o formulário de Gravidade, Urgência e tendência aplicado, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1. Formulário de Gravidade, Urgência e Tendência

Manifestações Patológicas	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	G.U.T
Problemas estruturais	8	8	8	512
Vandalismo	6	6	10	360
Descolamento	8	6	3	144
Fissuras mapeadas	6	6	1	36
Perda de Materiais	10	3	1	30
Descascamento	6	1	3	18

As manifestações patológicas que mais incidiram sobre as fachadas foram elencadas no formulário em ordem decrescente de prioridade e expostas na figura 13. Elas associadas tendem a se potencializar com o decorrer do tempo. Os problemas estruturais estão diretamente relacionados às ações antropológicas, é necessário refazer as amarrações das alvenarias das áreas atingidas, para garantir o desempenho da edificação. Antes de qualquer intervenção nas fachadas é necessário a investigação e o tratamento da origem das manifestações patológicas.

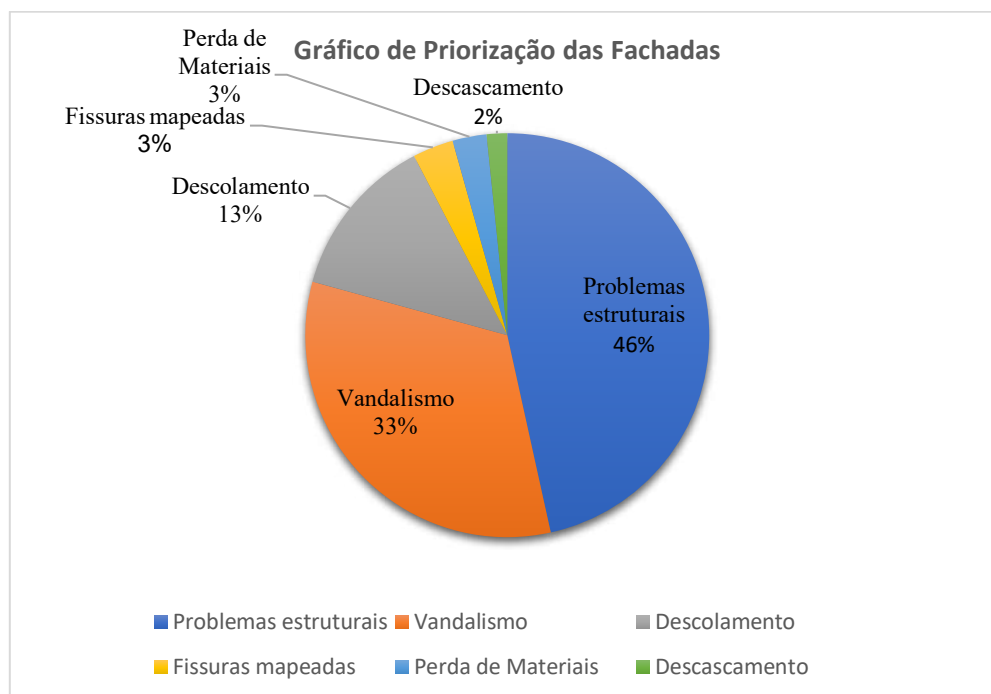


Figura 13 Priorização das fachadas

As fissuras mapeadas apresentaram-se em todas as fachadas da edificação, possuem formas variadas e distribuídas pela superfície do revestimento argamassado, elas podem ser causadas por espessuras de camadas de revestimento exageradas, aplicação em condições desfavoráveis, processo de cura desrespeitado.

Descolamentos são causados pela perda de aderência, podendo se apresentar em placas, com pulverulência e com empolamento. É constantemente identificado o descascamento da pintura e o vandalismo que produz estragos, destruição dos bens sejam públicos com o propósito de arruiná-los.

9. CONCLUSÕES

As manifestações patológicas em fachadas de edifícios são comuns, por estarem mais expostas à ação de intempéries, deste modo, mais sujeitas a degradações. É importante investigar cuidadosamente estas manifestações, pois uma eventual falha no diagnóstico, ocasiona ações ineficientes. Outro ponto de extrema importância é a ausência de monitoramento e de um sistema de manutenção sistematizado, essas ferramentas evitariam que os danos fossem agravados e reduziriam a necessidade de reformas, reparos ou até mesmo reconstrução desses equipamentos. O mapeamento de danos mostrou-se um instrumento eficaz para auxiliar profissionais e projetistas no planejamento e na tomada de decisões a serem executadas. De posse do mapa de danos das fachadas, elaborado após análise da estação ferroviária nova, foi possível identificar os danos acometidos pela edificação. A metodologia GUT é uma ferramenta muito útil para priorizar intervenções e pode dar suporte para manutenção de edificações contribuindo para conservação e segurança.

As fachadas em sua maioria apresentam um elevado índice de alterações de danos atrelados diretamente à origem antropológica ou a ausência delas. As principais manifestações patológicas atuantes dizem respeito a fissuras, problemas estruturais, descascamentos, descolamentos de argamassa e danos relacionados à umidade.

Este importante monumento em art Déco, referência da modernização e da cultura algodoeira da cidade, encontra-se abandonado. Seu estado de conservação é preocupante, necessitando de intervenções imediatas e de soluções que possibilitem segurança, durabilidade e evitem que os danos sejam ainda mais potencializados.

A sociedade corre o risco de perder um dos exemplares mais significativos em art Déco, que representa o patrimônio cultural e industrial da cidade. Fica como sugestão para trabalhos futuros, a aplicação da metodologia para inspecionar o equipamento como um todo analisando estado da cobertura e dos demais cômodos. É necessário requalificar estação, ocupa-la. Espera-se que as informações obtidas nesta pesquisa venham a complementar outros estudos para perpetuar a memória urbana, cultural do município.

AGRADECIMENTOS

A Unifacisa, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERENCIAS

ACHIAMÉ, G. G.; HAUTEQUESTT FILHO, G. C. Diretrizes para representação gráfica de mapa de danos. Vitória: PATORREB, 2018. <http://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/80626.pdf> Acesso em: 4 jun. 2021.

AFONSO, Alcilia. Pelas linhas do trem. Pelas linhas do tempo. O pátio ferroviário da Estação nova de Campina Grande. Anais do IV Seminário Internacional da Academia de Escolas de Arquitetura e Urbanismo de Língua Portuguesa. Belo Horizonte: 2017

ANDRADE, Inês El-Jaick ; RIBEIRO, Rosina Trevisan ; PIMENTEL, Viviane ; COELHO, Carla ; MELO, Carina . Olhares sobre o patrimônio edificado: o conceito de valor. In: XXIII Simpósio Nacional de História/ANPUH, 2005, Londrina. XXIII Simpósio Nacional de História: História - Guerra e Paz. Londrina: Universidade Estadual de Londrina/UEL; Associação Nacional de História/ANPUH, 2005. v. 1. p. 462-462.

- BARTH, Fernando; VEFAGO, Luiz H. Maccarini. Tecnologia de Fachadas Pré-Fabricadas. Florianópolis: Editora Letras Contemporâneas, 2007
- BARTHEL, C.; LINS, M.; PESTANA, F. O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico, Recife: FUNDARPE, s/d. 2009. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/153566136.pdf> Acesso em: 4 jun. 2021.
- BORGES, E. A. M. ; CARASEK, Helena ; CASCUDO, O. . . REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil , v. 8, p. 20-37, 2014.
- Braga, I. C., Brandão, F. S., Ribeiro, F. R. C., Diógenes, A. G. (2019), “Aplicação da Matriz GUT na análise de manifestações patológicas em construções históricas”, Revista ALCONPAT, 9(3), pp. 320 – 335, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.400>
- CORREA, R. H.; TIRELLO, R. A. Sistema normativo para mapa de danos de edifícios históricos aplicado à Lidgerwood manufacturing company de Campinas. Campinas, s/d. Acesso em: 4 jun. 2021.
- CORREIA, T. de B. O art déco na arquitetura brasileira. Revista UFG, [S. l.], v. 12, n. 8, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/revistaufg/article/view/48295>. Acesso em: 4 jun. 2021.
- Feigelson, S ; Couri, Gilberto Adib . Perícias em bens históricos, patologias, recuperação e avaliação. 2011.
- MACEDO, Aureliano Amaro Ribeiro Souza de. Mapa de danos das fachadas do Teatro de Santa Isabel, Recife - Pernambuco. 2016. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Coordenação Geral de Pós-graduação. Mestrado em Engenharia Civil, 2016.
- MELO, A.A. (2020). Os pátios ferroviários de Campina Grande: Pelas linhas do trem, pelas linhas do tempo. Disponível em: https://memoriaferroviaria.rosana.unesp.br/ocs/index.php/C_IHF/VIICIHf/paper/view/111. Acesso em: 4 jun. 2021.
- Munduruca, Elianne Auxiliadora Moreira Borges. Reabilitação em Edifícios e Monumentos Art Déco – Métodos de Avaliação dos Revestimentos de Fachadas [manuscrito] / Elianne Auxiliadora Moreira Borges Munduruca. - 2013.
- PEREIRA, Luciana Manzoni. Avaliação das Patologias e da Biodeterioração na Biblioteca Central da UFSM. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Santa Maria, R.S., 2012.
- QUEIROZ, Marcus Vinicius Dantas de . Art Déco em Campina Grande (PB): valorização, patrimonialização e esquecimento. REVISTA UFG (IMPRESSO) , v. 8, p. 35-40, 2010.
- ROSSI, L. M. Art Déco Sertanejo e uma revitalização possível: programa Campina Grande Déco. Revista UFG, [S. l.], v. 12, n. 8, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/revistaufg/article/view/48297>. Acesso em: 4 jun. 2021.
- SANTOS, Danilo Gonçalves dos. Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios. 2018. xv, 122 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- SANTOS, J.K.O. Memórias dos trilhos [manuscrito]: Construção e vivências da Estação Ferroviária Nova de Campina Grande - PB (1957-1998)/ Jessica Kaline Oliveira Santos - 201972 p. Trabalho de conclusão de Curso (graduação em História) UEPB, Centro de Educação, 2019.
- SCHEIDEGGER, Guilherme Marchiori, CALENZANI, Carla Lorencini. Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 03, Vol. 05, pp. 68-92. Março de 2019. ISSN: 2448-0959.
- TINOCO, J. E. L. MAPA DE DANOS RECOMENDAÇÕES BÁSICAS. Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada. Textos para Discussão – Série 2: Gestão de Restauro. Olinda, 2009.

Aplicação do Método de Avaliação do Estado de Conservação em Empreendimento Educacional.

T.B. Araújo^{1*}, T.P. Albuquerque¹, E. M. Mendes¹

*Autor de Contato: tairone.albuquerque@maisunifacisa.com.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Unifacisa, Campina Grande, Brasil.

RESUMO

No Brasil, acidentes prediais tornam-se cada vez mais frequentes, isto ocorre porque os responsáveis dos imóveis, muitas vezes, negligenciam intervenções preditivas ou preventivas. Nesse cenário, faz-se necessária a aplicabilidade de métodos para um planejamento adequado de uso e manutenção. Diante desse contexto crítico no país, este estudo tem como objetivo aplicar o Método de Avaliação do Estado de Conservação (MAEC), preenchendo uma ficha de avaliação, uma vez que o MAEC fornece diretrizes que norteiam a avaliação de forma que não ocorra um desvio significativo no resultado. A partir da aplicação do método, constatou-se que a edificação em questão apresenta um índice de anomalia igual a 3.56, o que aplicando as regras, traduz a um estado de conservação médio.

Palavras chaves: Inspeção Predial; Estado de conservação; Manutenção e Reabilitação; Anomalia.

Application of the Conservation Status Assessment Method in Educational Enterprise

T.B. Araújo^{1*}, T.P. Albuquerque¹, E.M. Mendes¹

*Autor de Contato: tairone.albuquerque@maisunifacisa.com.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Unifacisa, Campina Grande, Brasil.

ABSTRACT

In Brazil, building accidents are becoming more and more frequent, this is because those responsible for the properties often neglect predictive or preventive interventions. In this scenario, the applicability of methods is necessary for an adequate planning of use and maintenance. Given this critical context in the country, this study aims to apply the Method of Assessment of the State of Conservation (MAEC), filling out an assessment form, since the MAEC provides guidelines that guide the assessment so that no significant deviation occurs. in the result. From the application of the method, it was found that the building in question presents an anomaly index equal to 3.56, which, applying the rules, translates to an average state of conservation.

Keywords: Interventions; Maintenance; Conservation; Anomaly.

1. INTRODUÇÃO

Em edificações antigas, vários fatores podem ser responsáveis pela diminuição da vida útil e surgimento de manifestações patológicas, entre eles encontram-se as intempéries, agentes

biológicos, uso e o próprio envelhecimento natural. Em obras públicas, há um grande número de pessoas fazendo uso do edifício para diversas finalidades, o que requer ainda mais atenção no surgimento de possíveis anomalias.

A NBR 16747 inspeção predial – diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento (ABNT, 2020) define manifestação patológica como sinais ou sintomas que surgem nos sistemas de uma edificação contribuindo assim na redução de seu desempenho. Logo, para que se constate essas anomalias e sejam apontadas as necessidades de intervenções, existem métodos de avaliação do estado de conservação e normas técnicas.

Para Gomide et al., (2020); (2015) e Flora, (2020), há uma analogia em relação aos apontamentos médicos sobre doenças e maus hábitos humanos com as edificações, ainda define inspeção predial como o *check-up* da edificação, garantindo qualidade e boa saúde aos seus usuários. Logo, de posse do conhecimento técnico, atrelado à identificação das falhas, anomalias e irregularidades, pode-se planejar um tratamento predial adequado e de qualidade.

Esse artigo apresenta um estudo de caso em que foram apontadas as principais anomalias a partir da aplicação do Método de Avaliação do Estado de Conservação (MAEC), desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em Lisboa, adaptado para o estudo do empreendimento educacional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As edificações possuem um valor fundamental na sociedade, principalmente porque estão presentes no cotidiano das pessoas e em suas atividades produtivas. Dessa forma, são construídas para que atenda seus usuários e apresente condições adequadas ao uso durante muitos anos (NBR 5674, ABNT 2012).

Patologia, do grego *pathos* (doença) e *logia* (ciência), é a ciência que procura estudar as anomalias em edificações de forma que busque diagnosticar as origens e causas das manifestações patológicas, bem como compreender o processo de evolução. (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019)

Para Bolina, Tutikian e Helene (2019, p. 8), manifestação patológica “é tudo aquilo que se vê, se observa e se apresenta como indicativo de um problema”.

Diante disso, faz-se necessário conhecer as manifestações patológicas para que sejam apontadas e corrigidas de forma eficaz. Santos, Silva e Nascimento (2017); Cavalcante, (2020) e Ribeiro, (2020) apontam as principais manifestações patológicas como sendo: corrosão de armadura, desagregação do concreto, eflorescência, manchas de umidade e bolor, fissuras, trincas e rachaduras.

Uma edificação só atende seu período de vida útil se uma série de manutenções durante sua fase de uso for realizada para que sejam evitadas quaisquer perdas de desempenho e comprometa sua integridade. Essas intervenções devem obedecer a um plano de manutenção que atenda todos os sistemas e respeite as periodicidades explanadas na NBR 5674 (ABNT, 2012) (BOLINA; TUTIKAN; HELENE, 2019, p. 53 e 54).

A NBR 14037 (ABNT,2020), diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos, aponta a manutenção como um compilado de serviços para conservar ou recuperar o funcionamento de uma edificação de forma que atenda às necessidades dos usuários.

Logo, cuidados são necessários para que se garanta a qualidade, saúde e conforto da edificação de forma que perdure sua vida útil. Para isso é necessária uma assistência técnica com abordagem fundamentada em normas e conhecimentos técnicos de modo que ocorra uma gestão de manutenções preventivas e preditivas nos diversos sistemas, dentro dos prazos coerentes.

É importante destacar que quanto mais tardia for a intervenção, mais onerosa ela será, logo, se comprova a importância de um plano que prevê as anomalias tornando-a mais durável e econômica. Diante disso, considera-se fundamental o desenvolvimento de metodologias que, atrelado a uma inspeção predial, forneça um diagnóstico do estado de conservação.

Um empreendimento educacional por si só carrega uma grande importância, principalmente pelo respeito às próximas gerações e possui um significado ainda maior não somente no quesito financeiro, como também pelas atividades ali desenvolvidas (OLIVEIRA, 2013) e (ANTUNES,2020) .

Dessa forma, definir o estado de conservação de um edifício, principalmente sendo ele patrimônio antigo e universitário, é a base para execução de quaisquer programas de gestão e permite que seja tomado condutas sob a perspectiva técnica e financeira da mesma.

Os métodos existentes são, em sua maioria, europeus. Vilhena, Pedro e Brito (2011) comparam por meio de um quadro, cinco desses métodos visando aprimorar o MAEC, como mostrado no Quadro 1. Os métodos comparados são: Método de Avaliação do Estado de Conservação (MAEC) – Portugal/2006, o Housing Health and Safety Rating System (HHSRS) – Reino Unido/2000, o Método de certificação das condições mínimas de habitabilidade (MCH) - Portugal/2003, a Metodologia de diagnóstico exigencial de apoio à reabilitação de edifícios de habitação (MEXREB) – Portugal/2007, a Energy Performance, Indoor environmental Quality and Retrofit (EPIQR) – Europa/1998 e, por fim, TOBUS (Ferramenta de Seleção de Edifícios de Escritórios) – Europa/2000.

	MAEC -2006	HHSRS -2000	INHABITABLE BUILDINGS (2003)	NEN 2767 (2006 – 2009)	EPIQR (1998)/ TOBUS (2000)
Objetivos	Determinar o estado de conservação das habitações/infraestrutura	Verificar as condições mínimas de habitabilidade	Verificar as condições mínimas de habitação	Definir planos de manutenção e reparos de obras	Definir cenários para reabilitação e renovação
Escopo	Habitações arrendadas e unidades não residenciais	Habitações	Habitações	Habitações e unidades não residenciais	Habitações e unidades não residenciais
Método de Inspeção	Inspeção visual	Inspeção visual e testes simples	Inspeção visual e testes simples	Inspeção visual	Inspeção visual e testes simples
Atributos Avaliados	Elementos funcionais e equipamentos	Elementos funcionais e equipamentos	Elementos funcionais, equipamentos e salubridade	Elementos funcionais e equipamentos	Elementos funcionais e equipamentos
Nível de desagregação	3 Partes principais; 37 elementos	20 categorias de perigo	3 Partes principais; 52 elementos	4 Partes principais; 52 elementos	50 elementos; 72 elementos (não residenciais)
Coeficientes de ponderação	Baseados em elementos significativos	Baseados na probabilidade de ocorrência de danos	Baseados em elementos significativos	Baseados em custos de reparação	Baseados no custo de construção

Critérios de avaliação	Gravidade de defeitos (1-5)	Classe de danos (I – IV), probabilidade (1 – 1/5600)	Gravidade de defeitos (0-3)	Importância (1-3), intensidade (1-3) e extensão de defeitos (1-3)	Nível de degradação (a-d); extensão da degradação (a-d)
Fórmula de cálculo	Média ponderada	Algoritmo de cálculo	Média ponderada	Média ponderada	Cálculo do custo
Resultados	Índice de defeitos e taxa de conservação	Classe de perigo (A – J)	Níveis insalubres	Índices de conservação	Custo
Avaliadores	Engenheiros civis, arquitetos e técnicos engenheiros	Técnicos treinados	Técnicos treinados	Engenheiros civis e arquitetos	Engenheiros civis e arquitetos
Ferramenta de implementação	Check list; instrução de aplicação ilustrado; site internet	Check list; software PDA; orient. de aplic.	Check list; orientação de aplicação	Lista de itens e defeitos	Software de computador

Quadro 1 - Resumo dos métodos de avaliação e principais características. Fonte: (VILHENA; PEDRO; BRITO, 2011 apud DE OLIVEIRA, 2013, p. 86)

O Brasil não possui nenhum método de avaliação do estado de conservação, porém algumas cidades possuem leis que visam a obrigatoriedade de uma inspeção periódica, a exemplo de Fortaleza. Dessa forma, sente-se a necessidade do desenvolvimento de um método Brasileiro ou a aplicação de um método já existente como estudo inicial, que seja eficaz à realidade do Brasil voltado para a análise do estado de conservação das edificações em que também fosse útil para cadastros em secretarias de obras de órgãos públicos ou privados.

2.1 Método de Avaliação do Estado de Conservação

O MAEC, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em Lisboa, Portugal, e publicado pela portaria nº 1192-B/2006, de 03 de novembro, o qual aprovou sua ficha de avaliação, visa determinar o estado de conservação de edificações de forma que avalie se há condições básicas de infraestrutura em cinco níveis, que vão de 1.2 sendo considerado “excelente” a 0.5, visto como “péssimo”.

Desta forma, é importante ressaltar que o método foi elaborado de forma que possa ser utilizado em imóveis, independente da sua técnica construtiva, uso, custo, localização, etc., seja facilmente compreendido e que o resultado seja consistente, mesmo que seja aplicado por diferentes técnicos. O documento original dispõe de uma ficha de avaliação que está organizada em 37 elementos funcionais, estes foram subdivididos em edifícios, outras partes comuns e unidade. Contudo, para esse trabalho, o método foi adaptado a sua realidade, haja vista que o objeto de estudo é um prédio público e o que seria “unidades” são salas de trabalho.

As anomalias são classificadas em cinco níveis, são eles: muito leves (1), leves (2), médias (3), graves (4) e muito graves (5) e cada elemento funcional está correlacionado a uma ponderação que varia de acordo com a importância relativa dada a cada um deles, os valores alternam de 01 (menos importante) a 06 (mais importante), vale destacar que apenas o elemento “estrutura” recebe ponderação máxima.

O avaliador tem a função de definir um valor para cada item de forma que seja comparado o estado atual do elemento com as condições proporcionadas quando a edificação foi construída. Onde “muito leves” sejam aplicadas a ausência de anomalias e “muito graves” a anomalias que coloquem em risco a saúde e segurança dos usuários. (Quadro 2.)

Anomalias	Regras
Muito leves	Ausência de anomalias ou anomalias sem significado.
Leves	Anomalias que prejudicam o aspecto e que requerem trabalhos de fácil execução.
Médias	Anomalias que prejudicam o aspecto e que requerem trabalhos de difícil execução.
	Anomalias que prejudicam o uso e conforto e que requerem trabalhos de limpeza substituição ou reparação de fácil execução.
Graves	Anomalias que prejudicam o uso e conforto e que requerem trabalhos de difícil execução.
	Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou a segurança, podendo motivar acidentes sem gravidade, e que requerem trabalhos de fácil execução.
Muito graves	Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou a segurança, podendo motivar acidentes sem gravidade, e que requerem trabalhos de difícil execução.
	Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou a segurança, podendo motivar acidentes graves ou muito graves.
	Ausência ou inoperacionalidade de infra estrutura básica.

Quadro 2 - Classificação do nível das anomalias. Fonte: (Adaptado de Pedro, Vilhena e Paiva, 2009, p. 64)

O método estabelece três regras para que o índice do estado de conservação seja convertido, a primeira classifica o índice de acordo com os intervalos exibidos no Quadro 3.

Índice de anomalias	$5,00 \geq IA \geq 4,50$	$4,50 \geq IA \geq 3,50$	$3,50 \geq IA \geq 2,50$	$2,50 \geq IA \geq 1,50$	$1,50 \geq IA \geq 1,00$
Estado de conservação	Excelente	Bom	Médio	Mau	Péssimo

Quadro 3 - Conversão entre o índice de anomalias e o estado de conservação. Fonte: (Adaptado de Pedro, Vilhena e Paiva, 2009, p. 66)

Se houver alguma discrepância no resultado da primeira regra, a segunda e terceira os corrige de modo que impeça a obtenção de um índice considerado como excelente, mesmo existindo a presença de anomalias graves em algum elemento funcional. Ambas as regras são ilustradas por Pedro, Vilhena e De Paiva (2009) da seguinte forma:

- a) Se o índice de anomalias do locado for 3,75, segundo a primeira regra o estado de conservação é Bom. Mas se o elemento funcional "1. Estrutura", cuja ponderação é 6, apresentar anomalias "graves" (nível de anomalia 2), correspondendo a um estado de conservação "Mau", então o estado de conservação do locado é reduzido para "Médio"; b) Se o índice de anomalias do locado for 4,60, segundo a primeira regra o estado de conservação é excelente. Mas se o elemento funcional "34. Instalações de telecomunicações e contra intrusão", cuja ponderação é 1, apresentar anomalias "graves", correspondendo a um estado de conservação "Mau",

então o estado de conservação do locado é reduzido para "Bom". (PEDRO; VILHENA; DE PAIVA, 2009, p. 67).

2.2 Técnica de pesquisa

O objeto de estudo consiste em um empreendimento educacional na cidade de Campina Grande, Paraíba, com mais de quarenta anos de construção, foi executado por meio do sistema construtivo em concreto armado, vedações externas em revestimento cerâmico e interno de gesso, originalmente teria uso hoteleiro mas posteriormente houve a necessidade de adaptar o prédio às necessidades da edificação visto que passou a ser de uso educacional. É composto por um pavimento subsolo onde contém escritório, dois banheiros, estoque e expedição, mais três pavimentos com salas de trabalhos que foram construídos como tipo, porém atualmente possuem algumas diferenças em suas divisões, mais um quarto pavimento disposto de áreas de desenvolvimento, suporte e casas de máquinas e, por fim a cobertura, totalizando 8.136 metros quadrados de área construída.

A ferramenta utilizada para alcançar os resultados foi o Método de Avaliação do Estado de Conservação (MAEC), que busca “determinar o estado de conservação de imóveis habitacionais e não habitacionais e a existência de infra-estruturas básicas numa escala de cinco níveis” (PEDRO; VILHENA; PAIVA, 2009, p.59). Também foi realizado registros fotográficos e o preenchimento de uma ficha de avaliação, que nesse estudo foi adaptado de Pedro, Vilhena e Paiva (2009). Nela, há a distribuição de 37 elementos funcionais, subdivididos em: edifícios, outras partes comuns e salas de trabalho.

Além de inspeção visual, também foram feitos registros de imagens com o uso da câmera do celular, trena e prancheta para anotações. Os documentos pedidos foram os projetos arquitetônico, estrutural e complementares, porém o informado é que não há quaisquer projetos originais, sendo disponibilizado apenas uma planta baixa do prédio.

Para atingir o objetivo deste estudo, o método de trabalho foi realizado nas seguintes etapas: revisão de normas técnicas e literatura, caracterização do objeto de estudo, entrevista informal com funcionários, aplicação da ficha de avaliação e cálculo do índice do estado de conservação.

Os resultados foram obtidos a partir da implantação das metodologias na edificação em sua totalidade. Posteriormente foram tratados em planilhas do Excel, gerando como produto os resultados que serão abordados a seguir.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diversas manifestações patológicas foram apontadas na edificação devido ao fato de possuir uma idade avançada, bem como há o próprio desgaste natural e falhas construtivas.

Os pontos mais críticos observados foram os pilares e vigas do térreo e subsolo, bem como perfurações nas paredes internas e fachada para passagem das tubulações de gás e dreno dos ar condicionados. Outro ponto preocupante apontado foi o deslocamento do revestimento cerâmico na fachada em algumas áreas.

Nas paredes e forro de gesso, foram observadas anomalias como fissuras, infiltrações, bolor e descolamento da pintura, no entanto, no forro também havia diversas aberturas para realização de algumas intervenções. O piso apresentou fissuras e som cavo em alguns locais.

Essa subseção irá abordar as informações referentes às principais manifestações patológicas encontradas na edificação, bem como demonstrar como foi analisado o nível de gravidade da anomalia com base no critério de avaliação do MAEC.

3.1 Anomalias identificadas em estruturas de concreto

O tipo de estrutura adotada no empreendimento é de concreto armado e não houve qualquer acesso ao projeto estrutural para que pudesse ser realizada a comparação ao executado, porém,

visivelmente constataram-se fissuras, trincas, armadura exposta e corrosão. Importante ressaltar que no momento do estudo foi possível retirar pontualmente o revestimento argamassado de um dos pilares que já se encontrava em estado avançado de deslocamento para melhor observar seu cobrimento.

Foram encontradas fissuras em pilares em todos os pavimentos inspecionados, o observado é que em sua maioria, eram pilares de borda. Na figura 1 observa-se uma fissura geométrica vertical no pilar do 4º pavimento, a princípio seu prognóstico, caso não seja realizada nenhuma intervenção, seria a evolução da fissura, deslocamento do revestimento, oxidação da armadura e até mesmo um possível colapso estrutural.



Figura 1 - Fissura geométrica vertical em pilar do 4º pavimento. Fonte: (Autoria própria, 2020)

Para esses eventos ocorrerem, deve-se considerar o próprio mecanismo de deterioração pelo envelhecimento. Porém, como já foi apontado, estes pilares de borda possuem um maior contato ao meio externo, logo, com as ações da natureza por um determinado tempo e o desgaste da fachada, há uma contribuição para o aparecimento das fissuras.

No entanto, em pilares e algumas vigas do térreo e subsolo as trincas apareceram maiores e em maior quantidade (Figuras 2, 3 e 4), ocorrendo inclusive deslocamento do revestimento argamassado em alguns deles. Estes, por sua vez, além do prognóstico já apontado, deve-se considerar se seu cobrimento foi projetado e executado de forma correta. Por informação dos próprios funcionários, algumas intervenções já foram realizadas nos pilares, onde houve remoção de uma parte do concreto dos pilares, substituição de algumas armaduras, aplicação de inibidor de corrosão e preenchimento com concreto, porém atualmente o mesmo problema voltou a ocorrer.



Figura 2 - Fissuras geométricas longitudinais em fundo de viga do subsolo. Fonte: (Autoria própria, 2020)



Figura 3 - Trinca e deslocamento do revestimento no pilar do térreo. Fonte: (Autoria própria, 2020)



Figura 4 - Detalhe após retirada do reboco do pilar da figura 4. Fonte: (Autoria própria, 2020)

A NBR 6118 (ABNT, 2014), projetos de estruturas de concreto – procedimento, estabelece que deve-se considerar a agressividade do ambiente que está relacionada as ações atuantes na estrutura. A durabilidade também está atrelada a qualidade do concreto e o respeito ao cobrimento mínimo, correlacionando o tipo de estrutura ao elemento. Esse cobrimento nada mais é que a espessura mínima de concreto a qual protege da armadura do contato externo.

Apesar da norma de inspeção não exigir que haja uma intervenção destrutiva, foi retirado pontualmente o revestimento argamassado de um pilar para uma melhor validação do estudo (Figura 5), dessa forma, fica claro que essas fissuras aparentes no revestimento se oriunda do processo de expansão de oxidação das armaduras e/ou falha na execução do cobrimento.

Tendo em vista o exposto e as considerações abordadas sobre as anomalias identificadas acerca da estrutura, o nível da anomalia na ficha referente ao item 1 “Estrutura”, foi considerado médio (3).

3.2 Anomalias identificadas na fachada

A principal manifestação patológica na fachada é, sem dúvidas, o descolamento do revestimento. Na inspeção foi observado que algumas pedras já haviam caído, como mostra a figura 5; no entanto, um teste a percussão também permitiu concluir que em alguns pontos já houve a perda de aderência em seu substrato, podendo soltar a qualquer momento e até mesmo promover um acidente com qualquer usuário que estiver por ali passando.



Figura 5 - Desplacamento e queda no revestimento da fachada. Fonte: (Autoria própria, 2020)



Figura 6 - Desplacamento do revestimento em detalhe. Fonte: (Autoria própria, 2020)

Varella et. al., (2017) corrobora com as informações das origens dos deslocamentos, estas podem ser de origem construtiva onde as falhas são provenientes de irregularidades de projeto e/ ou execução ou de origem adquirida, sendo essa a responsável pela falta das manutenções preventivas. No prédio estudado, as áreas onde se encontram esse tipo de anomalia são, principalmente, no entorno das tubulações, onde houve perfuração para passagem de drenagem do ar condicionado e nas áreas abaixo dos pilares não revestidos, como mostrado na figura 7. Também é importante ressaltar a falta de impermeabilização nas juntas de movimentação, bem como a ausência de rejuntamento e da própria junta em alguns pontos (Figura 8), propiciando nessas regiões grandes focos de infiltração, o que no ponto de vista da estanqueidade do edifício, torna-se ineficiente.



Figura 6 - Revestimento abaixo do pilar apresenta som cavo. Fonte: (Autoria própria, 2020)



Figura 5 - Ausência de continuidade e vedação da junta de movimentação estrutural. Fonte: (Autoria própria, 2020)

Tendo em vista o exposto, leva-se a crer que os itens 4 “Paredes” e 18 “Revestimentos exteriores” é uma anomalia de caráter grave (2), pois pode ocasionar acidentes colocando em risco a segurança dos usuários.

3.3 Anomalias identificadas em parede de vedação

As paredes de vedação são de blocos cerâmicos e gesso. Nelas foram encontradas acúmulo de umidade, mofo, bolor, descolamento de pintura e fissuras, sendo umidade e descolamento de pintura as de maior ocorrência. (Figuras 9 e 10)



Figura 8 - Fissuras, manchamento e mofo em parede do subsolo. Fonte: (Autoria própria, 2020)



Figura 7 - Descolamento na pintura da parede do térreo devido a infiltração. Fonte: (Autoria própria, 2020)

Por existir uma ineficiência no sistema de estanqueidade da fachada, o excesso de umidade é uma das principais origens dessa falha, que ascende por capilaridade, bem como por difusão. Como prognóstico tem-se o avanço da infiltração, descolamento da pintura, proliferação do mofo e até mesmo danos materiais. Porém, é um trabalho de fácil execução e que prejudica apenas o aspecto estético da edificação, por esse motivo, o nível de anomalia no item 19 “Paredes interiores”, foi considerado leve (4).

3.4 Anomalias identificadas no forro de gesso

O sistema utilizado no teto da edificação foi o forro de gesso, as falhas encontradas foram, em sua maioria infiltrações, sujidades, fissuras geométricas e aberturas realizadas para possíveis intervenções.



Figura 10 - Infiltração de água pluvial com degradação do forro de gesso no terceiro pavimento. Fonte: (Autoria própria, 2020)



Figura 9 - Abertura de intervenção no forro de gesso. Fonte: (Autoria própria, 2020)

z

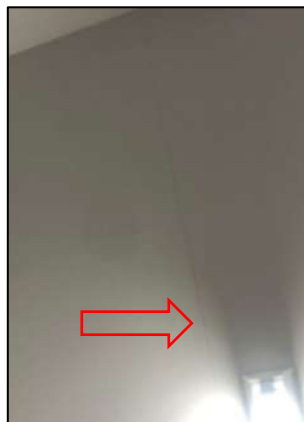


Figura 11 - Fissura no forro de gesso. Fonte: (Autoria própria, 2020)

O observado na figura 11 são sinais de infiltração de águas pluviais advindas de falhas na cobertura, visto que logo acima encontra-se uma calha pluvial. Outro ponto recorrente visto na inspeção foram aberturas ou rasgos feitos no forro de gesso (Figura 12) realizadas pela equipe do empreendimento para algumas intervenções que não foram fechadas posteriormente e que por consequência, prejudica o aspecto estético da edificação, bem como possibilita depreciação do imóvel, já as fissuras encontradas (Figura 13) são ocasionadas pela própria retração térmica que o material proporciona.

Sendo assim, por apresentar anomalias que prejudicam o conforto e requer reparação de fácil execução, esse elemento funcional referente aos itens 6 e 22 “Tetos”, foi caracterizado como anomalia de gravidade média (3).

3.5 Anomalias identificadas no piso

O piso foi todo executado em revestimento granilite e as principais anomalias apontadas foram fissuras e presença de som cavo quando feito o teste a percussão em algumas áreas (Figura 14). Se

não tratadas, além de depreciação do imóvel, a falha pode ocasionar a evolução das fissuras, deslocamento, quebra e desagregação do piso.



Figura 12 - Fissura e som cavo no piso da biblioteca. Fonte: (Autoria própria, 2020)

Tendo em vista o apresentado, essas anomalias referentes aos itens 5 “Revestimento de pavimentos” e 21 “Revestimento de pavimentos interiores”, não apresentam risco algum além do aspecto físico, logo, foi avaliado como nível leve (4).

3.6 Resultados da aplicação da ficha de avaliação

Ao preencher a ficha de avaliação, todos os elementos aplicáveis na edificação foram avaliados como demonstrado na subseção anterior em níveis de gravidade, que partem de muito leves (5) a muito graves (1). Esses níveis são analisados de forma visual e a partir do conhecimento técnico gera-se uma análise quantitativa convertida em qualitativa.

Sendo assim o total das pontuações foi igual a 299 e as ponderações atribuídas aos elementos funcionais aplicáveis igual a 84, logo, de acordo com o cálculo, o índice de anomalias calculado quantitativamente obteve o resultado de 3,56. Convertendo o resultado de forma qualitativa, a princípio, este índice seria classificado como “bom”, porém o índice de anomalia dos itens “Parede”, “Paredes exteriores” e “Instalação de segurança contra incêndio” foram considerados graves, logo, aplicando a segunda regra, o estado de conservação é reduzido para “Médio” assim como mostra a figura 15.

C. ANOMALIAS DE ELEMENTOS FUNCIONAIS	Anomalias					Não se aplica	Ponderação	Pontuação
	Muito leves 5	Leves 4	Médias 3	Graves 2	Muito graves 1			
Edifício								
1 Estrutura			3				6	18
2 Cobertura			3				5	15
3 Elementos salientes (antenas, ornamentações diversas, etc)			5				3	15
Outras partes comuns								0
4 Paredes			2				3	6
5 Revestimentos de pavimentos			4				2	8
6 Tetos			3				2	6
7 Escadas			4				3	12
8 Caibilaria e portas			4				2	8
9 Dispositivos de proteção contra quedas			4				3	12
10 Instalação de distribuição de água			5				1	5
11 Instalação de drenagem de águas residuais			5				1	5
12 Instalação de gás						X	1	0
13 Instalação elétrica de iluminação			3				1	3
14 Instalações de telecomunicações e contra a intrusão			5				1	5
15 Instalação de sensores			5				3	15
16 Instalação de segurança contra incêndio			2				1	2
17 Instalação de evacuação de fumo						X	1	0
Salas de trabalho								0
18 Paredes exteriores			2				5	10
19 Paredes interiores			3				3	9
20 Revestimentos de pavimentos exteriores			4				2	8
21 Revestimentos de pavimentos interiores			4				4	16
22 Tetos			3				4	12
23 Escadas						X	4	0
24 Caibilaria e portas exteriores			3				5	15
25 Caibilaria e portas interiores			3				3	9
26 Dispositivos de proteção de vidros			4				2	8
27 Dispositivos de proteção contra queda			4				4	16
28 Equipamento sanitário			5				3	15
29 Equipamento de cozinha						X	3	0
30 Instalação de distribuição de água			4				3	12
31 Instalação de drenagem de águas residuais			4				3	12
32 Instalação de gás						X	3	0
33 Instalação eléctrica			3				3	9
34 Instalação de telecomunicações e contra a intrusão			5				1	5
35 Instalação de ventilação						X	2	0
36 Instalação de climatização			4				2	8
37 Instalação de segurança contra incêndio						X	2	0
D. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ANOMALIAS								
Total das pontuações								299
Total das ponderações atribuídas aos elementos funcionais aplicáveis								84
Índice de anomalias								3,56

Figura 13 - Cálculo gerado a partir do preenchimento a ficha. Fonte: Autoria própria, 2020.

4. CONCLUSÃO

No geral, as anomalias apresentaram origens relacionadas a falhas construtivas, desgaste natural da utilização, ausência de manutenções periódicas e possui um estado de conservação médio de acordo com o Método de Avaliação do Estado de Conservação (MAEC) aplicado nesse estudo, já que a edificação tem uma idade avançada e visivelmente não se encontra em um alto grau de deterioração.

Logo, reforça-se a importância de manutenções preditivas e preventivas nos períodos corretos de acordo com as normas técnicas vigentes, de forma garantida a vida útil e o desempenho da edificação. Diante da ausência da execução de intervenções pautadas na periodicidade correta, houve o agravamento das manifestações patológicas mensuradas no presente trabalho.

Métodos como o MAEC possuem manuais que auxiliam o processo de quantificar análises subjetivas, diminuindo falhas dos avaliadores, além de acelerar o processo de vistoria.

5. AGRADECIMENTOS

A Unifacisa pelo suporte e ao Professor M. Sc. Tairone Paz pelo encorajamento, apoio profissional e acadêmico.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos.** Rio de Janeiro, 2011. 16 p.
- _____. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013. 71 p.
- _____. **NBR 16747: Inspeção predial – diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.** Rio de Janeiro, 2020. 14 p.
- _____. **NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.** Rio de Janeiro, 2012. 25 p.
- _____. **NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2012. 238 p.
- BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Patologia de estruturas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- CAVALCANTE, Guilherme Fagner Sales. **Inspeção predial em uma edificação de uso comercial para identificação de manifestações patológicas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Campina Grande: Centro Universitário UNIFACISA, 2020.
- GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; NETO, Jerônimo Cabral P. Fagundes; GULLO, Marco Antonio. **Engenharia Diagnóstica em Edificações.** 2.ed. São Paulo: PINI, 2015.
- GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; GULLO, Marco Antonio; NETO, Jerônimo Cabral P. Fagundes; FLORA, Stella Maris Della. **Inspeção predial total.** 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.
- Luciana Varella; Renato Sahade; Evania Sabará; Luciana Alves de Oliveira et al. **Incidência de descolamento em revestimentos cerâmicos aderidos em fachadas: uma contribuição para o projeto e a produção.** In: anais do workshop de tecnologia de processos e sistemas construtivos, 2017, **Anais eletrônicos...** Campinas, Galoá, 2017. Disponível em: <<https://proceedings.science/tecsic/papers/incidencia-de-descolamento-em-revestimentos-ceramicos-aderidos-em-fachadas--uma-contribuicao-para-o-projeto-e-a-producao>>. Acesso em: 02 nov. 2020.
- OLIVEIRA, M.A. **Método de avaliação de necessidades e prioridades de reabilitação de edifícios de instituições federais de ensino superior.** 2013. 234 f. Dissertação (Pós-graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2013.
- PEDRO, J.B.; VILHENA, A.; PAIVA, J. V. **Método de Avaliação do estado de Conservação de Imóveis: Desenvolvimento e aplicação.** Revista Engenharia Civil, Portugal, n. 35, p. 57-74, 2009.
- Reis Antunes, G. Lopes Larrosa, G. (2020) **Levantamento de manifestações patológicas em edificação escolar - Escola técnica cenicista Prof. Durban Ferraz Ferreira em Torres / RS.** Fortaleza, pp 334-345.
- Ribeiro, R. Oliveira, C. Silva, D. (2020). **Uma análise estatística das manifestações patológicas encontradas nas residências do município de Quixeramobim.** Fortaleza, pp 435-443.
- SANTOS, Cleyton Roberto Bezerra dos; SILVA, Dione Luiza da; NASCIMENTO, Ismaylly Michel Silva do. **Incidência de Manifestações Patológicas em Edificações Residenciais na Região Metropolitana do Recife (RMR).** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, Recife, Pernambuco, v. 2, n. 3, p. 76-83, 2017.

RECUPERACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES

ESTUDO DA AÇÃO DE AGENTES DE DEGRADAÇÃO DE FACHADAS ASSOCIADOS À TEMPERATURA E A CHUVA DIRIGIDA EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS.

A.L. Ramos^{1*}, E. Bauer²

*Autor de Contato: analin.ramos@email.com

¹ Aluna de mestrado PECC, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

² Professor Doutor do PECC, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

RESUMO

Compreender a ação do intemperismo é essencial para entender a degradação das fachadas. Logo, objetiva-se estudar as condições de exposição a esses agentes de degradação em edifícios localizados em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Para tanto, selecionou-se oito cidades representativas de cada Zona: Curitiba, Santa Maria, Florianópolis, Brasília, Niterói, Goiânia, Picos e Belém. Definiu-se um edifício modelo para simulação higrotérmica para avaliação da radiação total, amplitude térmica, choque térmico, índice de intensidade da temperatura e chuva dirigida. Como resultado, são identificadas as zonas de condições críticas, fornecendo rankings de exposição. Para os agentes de temperatura e chuva dirigida, as zonas mais expostas são Z6 e Z8, respectivamente. Por fim, as zonas de exposição mais amenas são Z8 para agente de temperatura e Z5 para chuva dirigida.

Palavras chave: Degradação; Fachadas; Revestimento cerâmico; Zonas bioclimáticas; temperatura.

RESUMEN

Conocer la acción de la meteorización es fundamental para comprender la degradación de las fachadas. Por tanto, el objetivo es estudiar las condiciones de exposición a estos agentes degradantes en edificios ubicados en diferentes zonas bioclimáticas brasileñas. Para ello, se seleccionaron ocho ciudades: Curitiba, Santa María, Florianópolis, Brasília, Niterói, Goiânia, Picos y Belém. Se definió un modelo de construcción de simulación higrótérmica para evaluar radiación total, amplitud térmica, choque térmico, índice de intensidad de temperatura y lluvia dirigida. Como resultado, se identifican zonas de condiciones críticas, proporcionando clasificaciones de exposición. Para agentes de temperatura y lluvia dirigida, las zonas más expuestas son Z6 y Z8, respectivamente. Finalmente, las zonas de exposición más suaves son Z8 para agente de temperatura y Z5 para lluvia dirigida.

Palabras llave: Degradación; Fachadas; Revestimiento cerámico; Zonas bioclimáticas; temperatura..

ABSTRACT

Knowing the action of weathering is essential to understand the facades degradation. Therefore, the aim is to study the conditions of exposure to these degradation agents in buildings located in different Brazilian bioclimatic zones. For this purpose, eight cities were selected: Curitiba, Santa Maria, Florianópolis, Brasília, Niterói, Goiânia, Picos and Belém. A model building was defined for hygrothermal simulation to assess total radiation, temperature range, thermal shock, intensity index temperature and driving rain. As a result, zones of critical conditions are identified, providing exposure rankings. For temperature agents and directed rain, the most exposed zones are Z6 and Z8, respectively. Finally, the mildest exposure zones are Z8 for temperature agent and Z5 for driving rain.

Keywords: Degradation; Facades; Ceramic coating; Bioclimatic zones; temperature.

1. INTRODUÇÃO

A fachada se configura como um elemento construtivo de proteção da edificação ao ambiente externo tendo como consequência a sua maior exposição aos fatores de intemperismos como radiação solar, chuva dirigida e temperatura. Tal exposição possibilita um processo de degradação complexo que envolve agentes de diferentes naturezas, que podem atuar em sinergia, afetando o desempenho e vida útil dos componentes e materiais por meio de diferentes mecanismos de degradação.

O uso de revestimentos cerâmicos em fachadas é comum e está associado a um processo de degradação específico caracterizado pela fissuração, falta de adesão cerâmica-substrato e pela expansão de substratos devido à umidade ou variações térmicas (Bezerra et al., 2018). Nesse caso, as camadas que compõem o sistema de revestimento apresentam propriedades distintas (coeficientes de dilatação térmica, módulo de elasticidade, condutividade térmica, etc) e a ação agentes associados à temperatura apresentam alta relevância (Gaspar e Brito, 2011).

A variação da temperatura superficial do revestimento pode causar alterações físicas no sistema de vedação de fachada. Esse mecanismo de degradação se dá a partir do efeito de dilatação e contração pelas variações e incrementos não homogêneos de temperatura, o que causa esforços de cisalhamento gerando uma tendência de separação na interface do sistema (Saraiva, 1998). Como resultado tem-se descolamentos e fissuras no revestimento cerâmico, o que pode ser intensificado pela fadiga causada o mecanismo cíclico da temperatura (Barbosa, 2013).

Desse modo, foram calculados como valores representativos da amplitude térmica e para indicar uma maior degradação o Índice de intensidade da temperatura (Iit), radiação solar e choques térmicos. O Iit constitui uma análise da amplitude térmica obtendo-se uma medida ponderada em relação à frequência (Nascimento, 2016) e o choque térmico são eventos pontuais caracterizados por uma alta diferença de temperatura superficial em um curto intervalo de tempo (Zanoni, 2015).

Além disso, considera-se como agente de grande relevância a ação da chuva dirigida sob as fachadas. Esta se origina a partir da associação da chuva com o vento, e esta é uma das principais fontes de água nas fachadas dos edifícios. Sem a ação do vento a chuva cairia no sentido vertical e molharia de forma pouco significativa as paredes (Zanoni, 2015). Por causa da ação do vento, a chuva atinge principalmente as partes superior e lateral dos edifícios. Desse modo, é importante considerar esse fator nas simulações higrotérmicas para se compreender o processo de degradação, principalmente em materiais porosos que permitem o transporte de água por meio de capilaridade.

A degradação de sistemas de revestimentos cerâmicos é caracterizada principalmente pelo descolamento cerâmico, ainda que se considerem mudanças no processo de degradação para diferentes localizações geográficas dos edifícios (Souza, 2019). Por isso é necessário o estudo das condições de exposição às ações de agentes climáticos de forma a compreender as diferentes condições que desencadeiam o processo de degradação em diferentes regiões.

O Brasil, como um país continental, apresenta variações climáticas ao longo de seu território. Por esta razão a ABNT NBR 15220-3 (2005) estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, classificando 330 cidades a partir de seu clima em oito zonas bioclimáticas. Estas são definidas como regiões geográficas homogêneas quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. Nesse sentido, as edificações e seus elementos localizados em zonas diferentes estão condicionados a diferentes condições de exposição aos agentes climáticos que ocasionam o processo de degradação.

Dentro desse contexto, o referente trabalho tem como objetivo investigar a ação dos agentes de degradação associados à temperatura e a chuva dirigida nas fachadas de edifícios localizados em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Para tanto, se emprega a simulação higrotérmica pelo software WUFI Pro 6.5, de radiação solar, amplitude térmica, choque térmico, índice de intensidade da temperatura e chuva dirigida das fachadas Norte de um edifício modelo submetido às diferentes condições climáticas de cada zona.

2. MÉTODOS

2.1. Detalhes do edifício modelo

Determinou-se um edifício modelo de 20 metros de altura com sistema de revestimento cerâmico de absorvância 63,5% com base em Dornelles (2007) correspondente a cor vermelho escuro, as quais foram escolhidas para ressaltar os efeitos da temperatura possibilitando comparações. Aplica-se este modelo a cidades localizadas nas oito zonas bioclimáticas brasileiras estabelecidas na ABNT NBR 15220-3 (2005), por meio de simulação no software WUFI Pro 6.5. A Tabela 1 mostra as cidades escolhidas e a zona bioclimática correspondente.

Tabela1. Cidade, Estado e Zonas bioclimáticas.

Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Curitiba-PR	Santa Maria-RS	Florianópolis-SC	Brasília-DF	Niterói-RJ	Goiânia-GO	Picos-PI	Belém-PA

2.2. Simulação

A simulação higratérmica foi realizada no programa WUFI Pro 6.5 no sentido de avaliar a ação dos agentes climáticos nas fachadas em cada cidade. O programa fornece uma interface simples que permite a entrada de dados, os quais são: período de simulação, configuração, orientação e inclinação do sistema construtivo, coeficientes de chuvas incidentes e de transferência à superfície e condições iniciais de temperatura e umidade relativa e condições climáticas interiores e exteriores (Freitas, 2011). A partir disso, foram obtidos como dados horários de saída os valores de radiação total incidentes nas fachadas, de temperatura superficial e de precipitação.

O período de simulação foi de um ano de 01/01/2019 a 01/01/2020. Já para a definição das condições climáticas exteriores foram utilizados os dados arquivos Typical Meteorological Year (TMY) da base EPW/ANTAC (RORIZ, 2012) referente a cada cidade. A tabela 2 contém os valores adotados dos coeficientes de transferência à superfície.

Tabela 2. Coeficientes de transferência à superfície externa adotados na simulação.

Coeficiente	Unidade	Valor
Resistência Térmica (lado esquerdo)	m ² K/W	0,058
Valor de sd*	M	-
Absorção (Radiação de onda curta)	-	0,635
Refletividade do solo	-	0,2
Fator de redução de chuva incidente	-	0,7
* O valor de Sd é a espessura de camada de ar de difusão equivalente. Não foi especificado, pois não são consideradas camadas muito finas como pinturas.		

No estudo, optou-se por analisar apenas a orientação Norte de cada edifício, uma vez que esta se apresenta como a mais crítica para incidência de radiação solar no caso das cidades estudadas, as quais estão situadas abaixo da linha do equador. O sistema construtivo simulado é composto por: revestimento cerâmico, argamassa de emboço, bloco cerâmico e argamassa interna e o ponto de monitoramento principal na superfície do revestimento. A Figura 1 mostra o sistema lançado no programa.

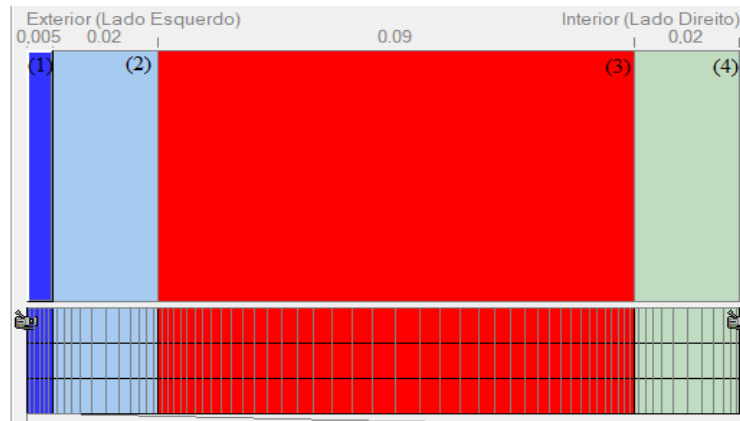


Figura 1. Sistema constructivo avaliado: (1) placa cerâmica; (2) argamassa externa/emboço; (3) bloco cerâmico; (4) argamassa externa.

Além disso, as propriedades dos materiais componentes das camadas do sistema estudado foram obtidas previamente de ensaios, realizados por outros pesquisadores, de massa específica aparente, porosidade, permeabilidade ao vapor de água para o cálculo do Fator de resistência à difusão de vapor de água; coeficiente de absorção de água ou coeficiente de capilaridade; curva higroscópica. Esses ensaios e seus resultados são descritos no Relatório Interno do LEM-UnB (BAUER; NASCIMENTO; CASTRO, 2015).

2.3. Ações dos agentes associados à temperatura.

2.1.1 Radiação total, temperatura superficial máxima e mínima e amplitude térmica máxima.

A partir dos dados de temperaturas superficiais obtidos foi possível determinar as temperaturas máximas e mínimas assim como as amplitudes térmicas diárias (diferença diária entre temperatura máxima e mínima na fachada) ao longo do período de simulação, calculadas como mostrado em (1). Com os dados de radiação solar determinou-se a radiação solar acumulada na fachada ao longo do período de simulação, somando os valores diários observados em cada fachada.

$$\Delta T = t_{m\acute{a}x} - t_{m\acute{i}n} \quad (1)$$

Onde ΔT é a amplitude térmica, $t_{m\acute{a}x}$ é a temperatura máxima diária da superfície da fachada e $t_{m\acute{i}n}$ é a temperatura mínima diária da superfície da fachada.

2.1.2 Choque térmico.

No presente artigo, como parte do estudo dos efeitos associados à temperatura, foi analisado o choque térmico (Zanoni, 2015). Para tanto, foi determinada a frequência de ocorrência dos eventos denominados como choque térmico pleno e choque térmico atenuado para um ano de simulação em todas as fachadas. O primeiro configura-se quando há um diferença de temperatura superficial superior a 8 °C no intervalo de 1 hora, já o segundo quando a mesma diferença de temperatura é verificada em um intervalo de 2 h. As equações para choque térmico pleno e choque térmico atenuado são mostrados em (2) e (3), respectivamente.

$$\Delta T_{ch} = t_n - t_{n-1} \quad (2)$$

$$\Delta T_{ch} = t_n - t_{n-2} \quad (3)$$

2.1.3 Índice de intensidade da temperatura.

Na intenção de analisar os efeitos associados á temperatura, calcula-se para todas as fachadas o índice de intensidade da temperatura (Iit), o qual leva em consideração os efeitos dos ciclos e valores alcançados de temperatura superficial nos sistemas (Nascimento, 2016). Este índice é estabelecido com base nas variações de temperaturas e suas frequências de ocorrência em um determinado intervalo pré-estabelecido e é uma análise da amplitude térmica obtendo-se uma medida ponderada em relação a frequência. A Tabela 3 mostra os quatro intervalos iguais nos quais são distribuídas as faixas de variação da amplitude térmica consideradas na metodologia de Nascimento (2016), as quais consideram intervalos inferiores a 11,5°C (faixa 1) até intervalos superiores a 27,7°C (faixa 4). Por fim, o Iit é calculado como é mostrado em (4).

Tabela 3. Faixas de intervalo de amplitude térmica consideradas para o cálculo de Iit.

Faixa	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	ΔT médio ($^{\circ}\text{C}$)
4	>27.7	31.8
3	19.7 a 27.7	23.7
2	11.5 a 19.6	15.6
1	< 11.5	7.5

$$I_{it} = \sum \frac{\Delta T_{médio} \times f_n}{f_{total}} \quad (4)$$

Onde I_{it} é o índice de intensidade da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), $\Delta T_{médio}$ é a amplitude de temperatura média da faixa de ocorrência ($^{\circ}\text{C}$), f_n é a frequência de ocorrência da faixa “n” de ΔT e f_{total} é a frequência de todas às ocorrências das quatro faixas de estudo no ano, ou seja, $f_{total} = 365$.

2.1.4 Chuva dirigida.

O estudo de Chuva dirigida é realizado pelo método de quantificação do WUFI, no qual são obtidos os dados horários com um total de 8760 horas para precipitação, velocidade e direção do vento de modo a alimentar as simulações computacionais (Zanoni, 2015). A partir disso a intensidade de chuva dirigida é calculada em (5).

$$R_{wdr} = R_2 \cdot R_h \cdot V \cdot \cos(D - \theta) \quad (5)$$

Onde R_{wdr} é a Intensidade de chuva dirigida (mm/h); R_h é a Precipitação em superfície horizontal (mm); R_2 é o Coeficiente dependente da localização na fachada (s/m); V é a Média horária da velocidade do vento a 10m de altura (m/s); D é a Direção do vento (ângulo a partir do Norte); θ Orientação da fachada: ângulo entre o Norte e a direção normal à parede. O valor de R_2 depende da altura do edifício e da localização da área de estudo, nesse caso o valor adotado é 0,2 para edifícios altos, parte superior maior que 20 metros. Como dados de saída da simulação foram fornecidas os valores de precipitação incidente nas fachadas. Desse modo, foi possível calcular o valor acumulado anual em l/m^2 de chuva dirigida para as diferentes zonas bioclimáticas.

3. RESULTADOS

3.1. Radiação total, temperatura superficial máxima e amplitude térmica máxima.

Os resultados de radiação total incidente e das amplitudes térmicas superficiais máximas absolutas, calculadas como mostrado em (1), das fachadas Norte das oito zonas bioclimáticas brasileiras são mostrados na Figura 2. Nota-se que os maiores valores de amplitude térmica ocorrem para a zona Z6 (38,5°C) seguidos de Z2 (37,5°C) e Z1 (37,15°C), já o menor valor é verificado na Z8 (22,64°C) e as demais zonas apresentam valores intermediários. No que se refere à incidência de radiação solar, a Z4 apresenta maior valor (1.014.409 W/m^2) seguida da Z6 (995.347 W/m^2), enquanto isso Z8 apresenta o menor valor de incidência de radiação (743.527 W/m^2). Ademais, observa-se que a incidência de radiação solar está associada ao ganho de temperatura em cada fachada principalmente no que se nota nas zonas Z8 e Z6, com exceção a zona Z4 a qual apresentou maior incidência de radiação e a terceira menor amplitude térmica. No caso da incidência de radiação total, as zonas Z4 e Z6 seriam críticas e Z8 a que apresenta condições de exposição mais amenas. No entanto, a temperatura superficial e a amplitude térmica na superfície, por serem resultados da interação entre a radiação solar e a elevação da temperatura do ar ao longo do dia, são melhores indicadores das variações higrotérmicas do que o total da irradiação solar incidente (Zanoni, 2015). Nesse caso, Z6 e Z7 seriam zonas críticas, por apresentarem maior amplitude térmica (Figura 2) e maior temperatura superficial (Figura 3) ao longo do ano, respectivamente.

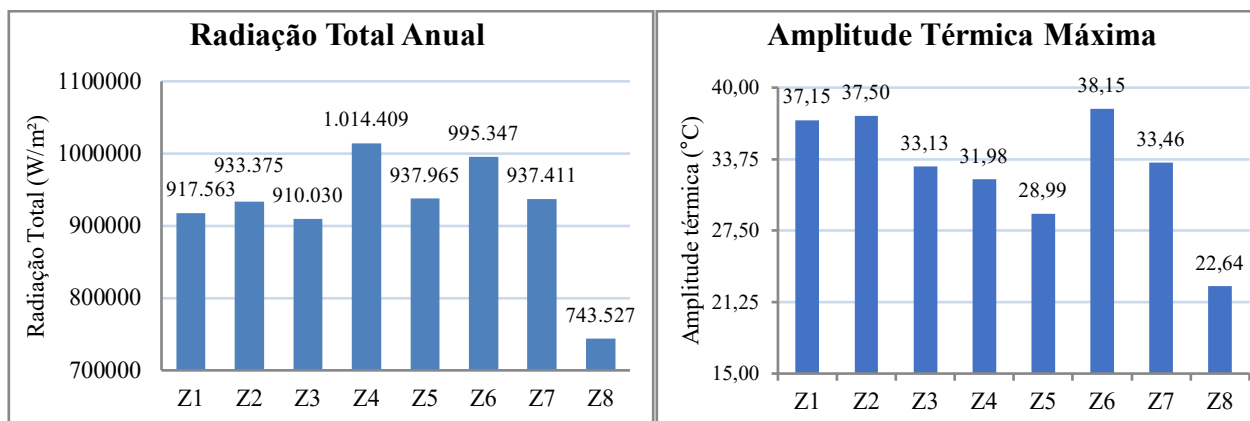


Figura 2. Radiação total acumulada e Amplitude térmica máxima em um ano de simulação.

Os resultados de temperatura máxima e mínima absoluta anual para cada uma das fachadas são mostradas na Figura 3. Nota-se que as temperaturas mínimas, as quais ocorrem quando não há incidência de radiação sobre a fachada, apresentam grandes distinções entre si. Z2, Z1 e Z3

apresentam os menores valores de temperatura 2,99°C, 5,48°C e 6,98°C, respectivamente. Enquanto isso, Z8 apresenta temperatura mínima mais elevada (22,07°C) e menor valor de temperatura máxima (46,16 °C) o que condiz com amplitudes térmicas reduzidas, como mostrado na Figura 2.

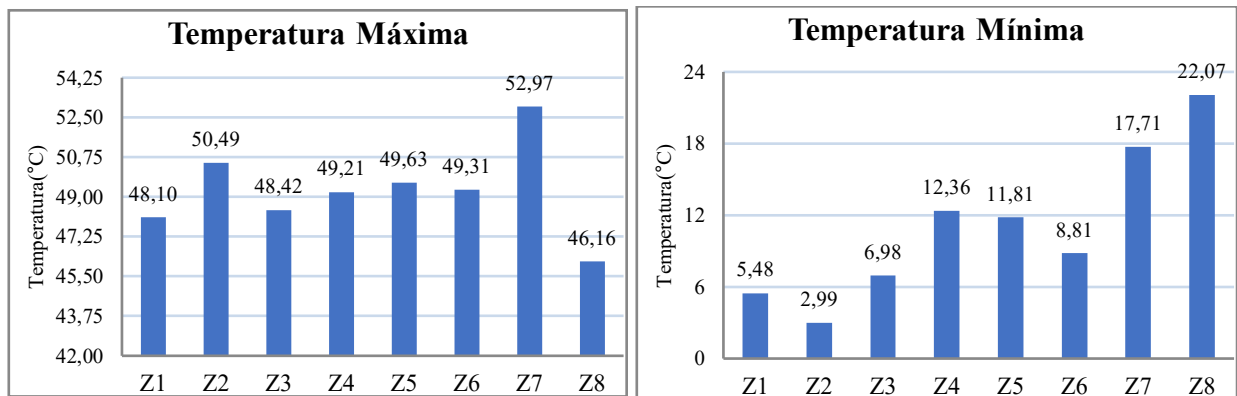


Figura 3. Temperatura superficial máxima e mínima absolutas em um ano de simulação para cada zona bioclimática.

3.2. Choque térmico.

Com relação aos resultados de choque térmico, são apresentadas na Figura 4 as frequências de ocorrência de choques plenos para todas as fachadas. Ressalta-se a maior frequência na zona Z6, na qual 1,59% das medidas se caracterizam como choques térmicos plenos, seguido de Z1 (0,92%) e Z4 (0,79%). As zonas Z5 e Z7 apresentaram as menores frequências 0,16% e 0,19%, respectivamente.

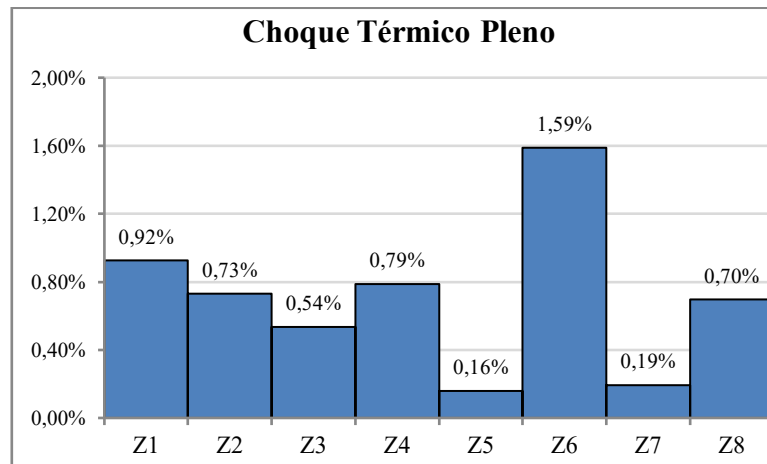


Figura 4. Frequência de ocorrência de choque térmico pleno para um ano de simulação.

Os picos de choques plenos estão concentrados para todas as zonas nos meses de maio a julho como mostrado na Tabela 4, na qual é exposta a distribuição mensal do número de choques para cada zona. Ao longo de um ano, é possível verificar em que mês ocorre o maior número de choques térmicos para cada zona isolada. Dessa forma, Z1 e Z5 tem seus respectivos picos de ocorrência de choques térmicos plenos em julho, Z3, Z4, Z6 e Z7 em junho e Z2 e Z8 em maio. Nas zonas de 1 a 7 os choques térmicos diminuem nos meses de outubro a março chegando a zero em um ou mais meses desse período. No entanto isso não ocorre na Z8 que apresenta os eventos de choques térmicos melhor distribuídos ao longo do ano.

Tabela 4. Número de eventos de choque térmico pleno mensal ao longo de um ano de simulação.

Choque Térmico Pleno													
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	soma
Z1	1	1	1	9	14	18	25	9	1	1	0	1	81
Z2	0	1	0	4	21	10	7	12	7	0	0	2	64
Z3	1	0	0	1	6	25	14	0	0	0	0	0	47
Z4	1	1	0	4	17	23	19	0	0	1	0	3	69
Z5	0	0	0	0	1	5	6	1	1	0	0	0	14
Z6	4	1	3	10	13	53	38	12	0	0	1	4	139
Z7	0	1	3	3	2	6	2	0	0	0	0	0	17
Z8	5	5	6	7	10	5	2	3	1	4	5	8	61

A Figura 5 mostra a frequência de ocorrência de choques atenuados. Novamente a Z6 apresenta maior ocorrência com 13,65% de medidas caracterizadas como choques atenuados, seguida da Z4 com 10,88%. Z8, Z5 e Z2 apresentam os menores valores de frequência sendo estes 2,84%, 3,35% e 4,95%, respectivamente. Nota-se que na Z6 ocorrem aproximadamente 5 vezes mais choques atenuados em comparação a Z8. Z4 e Z1 também apresentam valores elevados de frequência (10,88% e 10,31%, respectivamente) seguidos de Z3 e Z7 (8,75% e 8,60%).

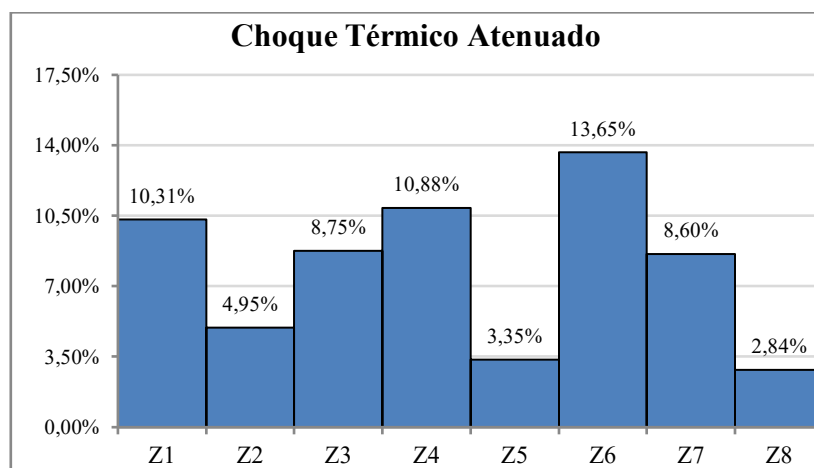


Figura 5. Frequência de ocorrência de choque térmico atenuado para um ano de simulação.

Quando a distribuição desses eventos ao longo do ano nota-se que eles também ocorrem nos meses centrais do ano, nesse caso de maio a agosto, como mostra a Tabela 5. Apenas a Z5 apresenta meses sem a ocorrência de choques térmicos, os quais são os meses de novembro e dezembro. Z2 e Z8 tiveram seu pico de ocorrência no mês de maio, Z4 e Z6 em junho, Z1, Z5 e Z7 em julho e Z3 em agosto. É possível perceber uma melhor distribuição de ocorrências ao longo do ano em Z8, onde o número de ocorrência varia de 12 em setembro a 32 em maio, já em outras zonas há uma variação mais elevada entre os meses de menor e maior ocorrência como na Z6 que apresenta menor ocorrência em novembro com 14 eventos e maior ocorrência em junho com 211 eventos.

Tabela 5. Número de eventos de choque térmico atenuado mensal ao longo de um ano de simulação.

Choque térmico Atenuado													
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	soma
Z1	13	24	64	112	146	103	190	114	78	46	4	9	903
Z2	6	14	39	65	85	38	50	62	44	27	1	3	434
Z3	6	25	72	106	127	115	76	128	73	28	5	5	766
Z4	6	18	52	120	148	182	177	143	71	16	10	10	953
Z5	2	1	5	32	46	56	82	44	22	3	0	0	293
Z6	27	33	76	121	175	211	207	170	84	56	14	22	1196
Z7	10	11	32	80	155	145	157	114	40	3	2	4	753
Z8	18	15	22	29	32	20	29	19	12	18	14	21	249

As zonas com maior frequência de choque térmico apresentam condições de exposição críticas e aquelas que apresentam menores frequências condições mais amenas. Destaca-se a Zona Z6 que apresentou maior frequência tanto para choques térmicos plenos quanto para atenuados como situação mais crítica. Por fim, a zona Z5 apresentou frequências reduzidas nos dois tipos de choques considerados e a Z8 menor frequência para choques atenuados.

3.3. Índice de intensidade da temperatura.

A Figura 6 mostra os resultados de Iit para todas as fachadas correspondentes a cada zona bioclimática. Os resultados levam em consideração valores de variação de temperatura para um ano de simulação. Assim como notado nos resultados de amplitude térmica máxima e choque térmico, a zona Z6 apresentou valores mais críticos (22,55) quanto à ação de agentes de temperatura. Da mesma forma, a zona Z8 e Z5 apresentaram os menores valores (16,53 e 16,55)

e lit. Z2, Z4 e Z7 apresentaram valores também elevados se comparados aos demais e Z3 e Z1 apresentaram valores intermediários.

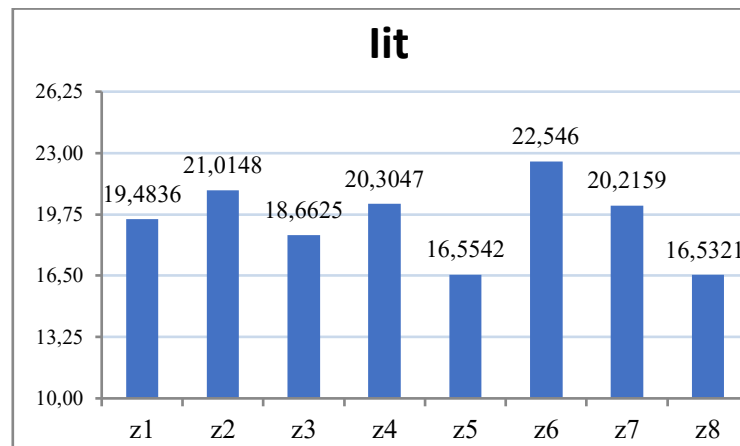


Figura 6. Valores de lit para todas as zonas bioclimáticas.

3.4. Chuva dirigida.

A chuva dirigida foi analisada apenas em termos de incidência precipitação total anual (l/m^2), Figura 7, para as mesmas fachadas de orientação Norte, de forma completar a análise dos agentes de degradação realizada. Nota-se que para a zona Z8 é a mais crítica para esse caso (l/m^2) apresentando valor cerca de 6 vezes mais elevado que a zona Z5 de menor incidência ($18,2l/m^2$), contrastando com os resultados anteriores. As zonas Z4 ($100,12 l/m^2$) e Z3 ($71,72 l/m^2$) também apresentam valores elevados em comparação às demais. Por fim, Z1 ($52,19 l/m^2$) e Z6 ($59,67 l/m^2$) apresentam valores intermediários enquanto Z2 ($35,57 l/m^2$) e Z7 ($30,57 l/m^2$) valores mais amenos de incidência de chuva.

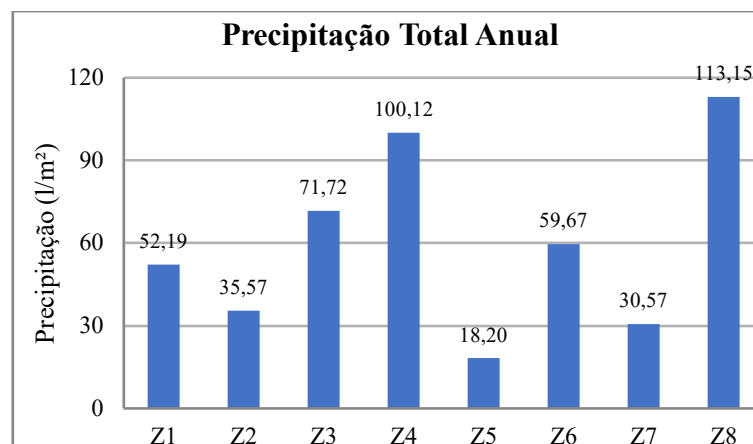


Figura 7. Valores de chuva dirigida acumulada para um não de simulação em todas as zonas bioclimática

4. CONCLUSÃO

Propôs-se a investigar a ação dos agentes de degradação associados à temperatura e a chuva dirigida nas fachadas de edifícios localizados em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Nesse contexto, é possível identificar zonas que apresentam condições críticas de exposição aos agentes de degradação como forma de contribuir para o conhecimento das diferentes condições que

desencadeiam o processo de degradação no Brasil. Dessa forma, foi possível levantar os seguintes comportamentos:

-A zona bioclimática 6, representada pela cidade de Goiânia, proporciona condições mais críticas de exposição em relação a amplitude térmica, choque térmico atenuado e pleno e índice de intensidade da temperatura;

-A zona bioclimática 8, representada pela cidade de Belém, apesar de apresentar condição de exposição mais amena para os agentes associados a temperatura (radiação solar, amplitude térmica, choque térmico atenuado e Índice de intensidade da temperatura) se mostra crítica para exposição à chuva dirigida.

- As zonas Z1, Z2, Z3, Z5 e Z7, representados pela cidade de Curitiba, Santa Maria, Florianópolis, Niterói e Picos, respectivamente, apresentaram valores de incidência de radiação total anual na fachada Norte semelhantes. No entanto Z1 e Z2 apresentam elevadas amplitudes térmicas se comparada às demais.

- Em relação aos choques térmicos, Z1 e Z4, representadas pelas cidades de Curitiba e Brasília, apresentaram valores elevados de frequência e Z5 as menores frequências. Em relação ao Iit, o maior valor foi da fachada Norte da Zona Z6, sendo que as das zonas Z2, Z4 e Z7 também apresentaram valores elevados. Em contrapartida as zonas Z5 e Z8 apresentaram as condições mais amenas.

- Em relação à Chuva dirigida, as fachadas Norte das zonas Z8 e Z4 apresentaram mais exposição considerando valores anuais de precipitação e a Zona Z5 apresentou a condição mais amena de exposição.

A partir disso conclui-se que as fachadas Norte analisadas nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras possuem diferentes condições de exposição aos agentes associados à temperatura e à chuva dirigida. Além disso, como contribuição o estudo fornece dois rankings relativos à exposição aos agentes investigados. Primeiramente com relação aos agentes relacionados à temperatura têm-se, em ordem decrescente, as zonas mais expostas: Z6-Z2-Z4-Z7-Z1-Z3-Z5-Z8. Por fim em relação à chuva dirigida têm-se, também em ordem decrescente, as zonas mais expostas: Z8-Z4-Z3-Z6-Z1-Z2-Z7-Z5.

5. REFERENCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. Rio de Janeiro.

Barbosa, A. S.(2013) *“Estudo Numérico-Computacional e Analítico do Choque Térmico em Fachadas de Edificações”*. Dissertação (Mestrado). Masters Thesis, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília-DF.

Bauer, E.; Nascimento, M.L.M.; Castro, E.K.(2015). *“Parâmetros e ensaios físicos de materiais e componentes da fachada. Relatório interno”* – Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) – UnB/ENC.

Bezerra, L. M.; Uchôa, J. C., Araújo, J. A.; Bonilla, J. (2018) Experimental and Numerical Investigation of Fatigue in Base-Rendering Mortar Used in Façades Undergoing Thermal Cycles. *Journal of Materials in Civil Engineering*. v. 30. n. 8. pp.1-14.

[https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002319](https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002319)

- Dornelles, K. A.; Roriz, M. (2007). “*A ilusão das cores na identificação da absorção solar de superfícies opacas*”. In: IX ENCAC E VII ELACAC, 2007, Ouro Preto. Anais. Ouro Preto: ANTAC.
- Freitas, A. S. S. L. A. (2011) , “*Avaliação do comportamento hidrotérmico de revestimentos exteriores de fachadas devido à acção da chuva incidente*”, Masters Thesis. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal. 170 p.
- Gaspar, P., Brito, J. Mapping Defect Sensitivity in External Mortar Renders. *Journal of Construction and Building Materials*, v. 19(8), p. 571-578, 2005.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.014>
- Moscoso, Y.F.M. (2013), “*Estudo numérico e experimental de tensões atuantes na argamassa colante de fachadas de edificações sob ação da fadiga termo-mecânica*”. Masters Thesis, Universidade de Brasília, Brasília. p. 142.
- Nascimento, M. (2016), “*Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios*”, Masters Thesis, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.p. 127
- Roriz, M. (2012). *Correções nas Irradiâncias e Iluminâncias dos arquivos EPW da Base ANTAC*. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos – SP.
- Souza, J.(2019), “*Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios*”, doctoral thesis, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, p. 101.
- Saraiva, A. G. (1998), “*Contribuição ao Estudo de Tensões de Natureza Térmica em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachada*”. Masters Thesis. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 164 p.
- Zanoni, V.(2015),“*Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília*”. Doctorial Thesis, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. p. 253.

Avaliação da influência da adição de nutrientes no processo de autocicatrização de fissuras em materiais a base de cimento a partir do emprego da bactéria *Bacillus subtilis* (AP 91)

P. Ghellere^{1,2} *, S. Lenz¹, M. R. Z. Passarini², A. C. P. Dos Santos¹; E. Possan¹

*Polyana Ghellere: p_ghellere@hotmail.com

¹ Departamento de Construção Civil, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, Brasil

² Laboratório de Biotecnologia Ambiental, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO

Este estudo avalia a influência da incorporação de nutrientes (extrato de levedura e acetado de cálcio) e do tipo de cura no processo de autocicatrização em amostras a base de cimento, empregando esporos da bactéria *Bacillus subtilis* (AP91) na água de amassamento. Para cinco argamassas (1:3:0,48) e três tipos de cura (submersa, úmida com e sem aspersão de esporos bacterianos), foram produzidas amostras de 4x4x16 cm fissuradas e não fissuradas, para análise da autocicatrização e propriedades mecânicas, respectivamente. As fissuras foram monitoradas em estereomicroscópio aos 7, 14, 21 e 28 dias. Os resultados indicam que a adição da bactéria, com ou sem nutrientes, favoreceu a precipitação de CaCO₃, promovendo fechamento pontual ou contínuo de fissuras e microfissuras, sendo mais favorável na cura úmida sem aspersão de esporos. Dessa forma, a autocicatrização biológica apresenta-se como uma ferramenta promissora em termos de manutenção de manifestações patológicas.

Palavras-chave: Autocura; agentes biológicos; carbonato de cálcio; materiais a base de cimento.

ABSTRACT

This study considers the influence of the nutrient's incorporation (yeast extract and calcium acetate) and the cure type in the self-healing process of cement-based samples, using spores of the bacterium *Bacillus subtilis* (AP91) in the mixing water. 4x4x16 cm samples of five mortars (1: 3: 0.48) and three types of curing (submerged; wet with and without sprinkling of bacterial spores), cracked and non-cracked, were produced for the analysis of self-healing and mechanical properties. Cracks were monitored in a stereo microscope at 7, 14, 21 and 28 days. The results indicate the bacteria addition, with or without nutrients, improved the precipitation of CaCO₃, promoting punctual or continuous closure of cracks and micro-cracks, being more favorable in wet curing without spore sprinkling. Thus, biological self-healing presents itself as a promising tool in terms of maintaining pathological manifestations.

Key words: Self-healing; biological agents; calcium carbonate; cement-based materials.

RESUMEN

Este estudio evalúa la influencia de la incorporación de nutrientes (extracto de levadura y acetato de calcio) y del tipo de curado en el proceso de autocurado en muestras cementantes, utilizando esporas de la bacteria *Bacillus subtilis* (AP91) en el agua de amasado. Para cinco morteros (1: 3: 0.48) y tres tipos de curado (sumergido; húmedo con y sin aspersión de esporas bacterianas), se produjeron muestras de 4x4x16 cm agrietadas y no agrietadas para el análisis de autocuración y propiedades mecánicas, respectivamente. Las grietas fueron monitoreadas al microscopio a los 7, 14, 21 y 28 días. Los resultados indican que la adición de las bacterias, con o sin nutrientes, favoreció la precipitación de CaCO_3 , promoviendo el cierre puntual o continuo de grietas y microgrietas, siendo más favorable en curado húmedo sin aspersión de esporas. Así, el autocurado biológico se presenta como una herramienta promissora en términos de mantenimiento de manifestaciones patológicas.

Palabras clave: Autocurado; agentes biológicos; carbonato de calcio; materiales a base de cemento.

1. INTRODUÇÃO

As fissuras são manifestações patológicas muito comuns no concreto, sendo ocasionadas por vários fatores, como sobrecargas, deformações devido a diferenças de temperatura, recalque diferencial, retração, além de reações expansivas. As fissuras podem ocasionar a redução da durabilidade, pois facilitam a entrada de água e/ou outros agentes agressivos que podem levar as armaduras à corrosão, desencadeando problemas estruturais às edificações de concreto armado. Na ausência de tratamentos rápidos e apropriados, o problema das fissuras pode evoluir, levando à necessidade de reparos onerosos, tanto sob o ponto de vista financeiro, como sustentável, dada a necessidade de utilização de mais materiais/recursos no processo (Van Tittelboom *et al.*, 2010).

Estão em crescimento/desenvolvimento estudos que buscam encontrar soluções para correção de fissuras, de modo a tornar o concreto mais durável e sustentável, com menores investimentos ao logo do ciclo de vida, fazendo com que novas tecnologias sejam desenvolvidas. Uma das alternativas promissoras é a autocicatrização do concreto (Wiktor and Jonkers, 2011; Schwantes-Cezario, Nogueira and Toralles, 2017; Gulin, 2019). A autocicatrização do concreto ocorre naturalmente quando a água penetra nas fissuras e hidrata as porções remanescentes de cimento anidro (nominada de autocicatrização autógena). Este preenchimento é atribuído, quase que exclusivamente, à formação de carbonato de cálcio (CaCO_3), porém de forma limitada (Repette, 2011). Sendo assim, explorar o uso de algum material que precipite CaCO_3 em maior quantidade pode ser altamente vantajoso.

Neste sentido, existem agentes biológicos, especialmente bactérias, capazes de precipitar CaCO_3 em seus processos metabólicos. A aplicação destes organismos em materiais cimentícios pode proporcionar o fechamento de fissuras reduzindo a porosidade e propiciando o aumento da resistência à compressão e da vida útil (De Belie and De Muynck, 2009; Wiktor and Jonkers, 2011; Gulin, 2019).

A incorporação desses agentes biológicos em materiais a base de cimento pode ocorrer basicamente de três maneiras: adicionados à água de amassamento; imersão das amostras em solução bacteriana; ou, por aspersão de solução em amostras já fissuradas (Vijay, Murmu and Deo, 2017). Quando incorporadas à água de amassamento, as bactérias podem ser aplicadas diretamente na matriz a base de cimento com ou sem formação de esporos (Jonkers *et al.*, 2010), encapsuladas em materiais porosos como argila (Lucas *et al.*, 2018) e perlita (Alazhari *et al.*, 2018), ou hidrogel (Wang *et al.*, 2018) e sílica gel (Wang *et al.*, 2012). Jonkers e Thijssen (2010) sugerem, ainda, a adição das bactérias em matrizes com ar incorporado.

Na autocicatrização biológica, o CaCO_3 é precipitado metabolicamente por bactérias inseridas no material cimentício. Para que este processo ocorra, devem também ser inseridos nutrientes, como o extrato de levedura, que servirão como fonte de energia para o desenvolvimento microbiano. Também, é importante a adição de fontes de cálcio, como acetato e/ou lactato de cálcio, precursores da precipitação de CaCO_3 (Wang *et al.*, 2018).

Apesar da grande variedade de bactérias existentes, nem todas são apropriadas para incorporação em matrizes cimentícias, onde tem-se um ambiente altamente alcalino, sem nutrientes e com oxigênio apenas nos poros e superfície, de modo a dificultar o crescimento bacteriano (Van Tittelboom *et al.*, 2010). Sendo assim, é fundamental para a sobrevivência das bactérias nestes ambientes, que elas sejam capazes de formar esporos (estruturas extremamente resistentes), de modo a garantir a sobrevivência destes agentes à ação da mistura mecânica e às condições ambientais adversas de concretos e argamassas (Jonkers *et al.*, 2010). Exemplos de bactérias que se encaixam neste contexto e que atendem à essas condições, são as do gênero *Bacillus* (Schwantes-Cezario, Nogueira and Toralles, 2017).

A incorporação de elementos (químicos, minerais, biológicos, etc.) na matriz cimentícia pode influenciar nas propriedades dos materiais a base de cimento (Monteiro, 2014). Dessa forma, com a adição de bactérias, seus precursores e nutrientes, faz-se necessário um estudo de como os mesmos atuarão, para garantir que as estruturas não percam qualidade, e atinjam o desempenho e durabilidade necessários (Schwantes-Cezario, Nogueira and Toralles, 2017).

Neste contexto, este estudo teve como objetivo analisar a influência da adição de esporos da linhagem *Bacillus subtilis* AP91 e seus nutrientes (extrato de levedura e acetato de cálcio), nas propriedades mecânicas de argamassas (resistência à tração na flexão e resistência à compressão) e na autocicatrização das fissuras submetidas a diferentes condições de cura (submersa, e úmida com aspersão e sem aspersão de esporos).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi dividido em três etapas principais. Na primeira etapa foi realizado o cultivo, esporulação e quantificação dos esporos da bactéria *B. subtilis* (AP91); na segunda foi realizado a produção e cura das argamassas a base de cimento; e na terceira foi realizado os ensaios experimentais referentes a análise das fissuras e as propriedades mecânicas das argamassas.

2.1 Microrganismo e condição de crescimento

A linhagem *B. subtilis* (AP91), disponibilizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), foi usada neste estudo devido sua capacidade comprovada de precipitar CaCO_3 (Schwantes-Cezario *et al.*, 2017). Para verificar a precipitação de carbonato de cálcio a *B. subtilis* (AP91) foi inoculada e cultivada em placas de Petri contendo meio B4 (4g L^{-1} de extrato de levedura, 14g L^{-1} de ágar bacteriológico, 2,5 mL L^{-1} de solução de vermelha fenol, 12,5 mL L^{-1} de glicose a 40% e 25 mL L^{-1} de acetato de cálcio a 10%) com o indicador de pH vermelho de fenol em três condições diferentes: (a) padrão B4; (b) ácido B4, tamponado a pH 7,0; e (c) alcalina B4, tamponada a pH 8,2. O pH de cada meio de cultivo foi mantido tamponando utilizando tris 1,2% (p/v). As placas foram incubadas na estufa (BOD) a 37 °C durante 7 dias (Marvasi *et al.*, 2010; Marvasi, Davila-Vazquez and Martinez, 2013).

Após o crescimento, a linhagem foi inoculada e cultivada em tubos Falcon de 15 mL contendo meio de cultura Mueller Hinton (MH) líquido, constituído por 17 g L^{-1} de peptona de caseína, 2 g L^{-1} de peptona de carne e 1,5 g L^{-1} de amido, com pH final 7,3 ± 0,1. Em seguida foram colocadas no agitador Shaker por 66 horas a uma rotação de 130 rpm e uma temperatura média de 37 °C. Após o período de agitação, a solução com as bactérias foi lavada para remover o meio de cultura e obter uma solução mais concentrada de bactérias. Para isto, o meio de cultura foi centrifugado em tubos

Falcon durante 20 minutos a uma rotação de 3600 rpm, onde o sobrenadante foi removido e substituído por uma solução salina de NaCl a 0,85%. O procedimento foi repetido duas vezes ($n = 2$). Em seguida, a solução salina contendo bactérias foi armazenada por dois dias à temperatura de 8 °C para induzir a formação de esporos (Schwantes-Cezario *et al.*, 2018).

A quantificação dos esporos bacterianos cultivados em meio de cultura MH foi realizada com o auxílio do espectrofotômetro com leitura a 600 nm. Para o teste foram utilizadas duas alíquotas de 1 mL (Khaliq and Ehsan, 2016), o controle com solução salina a 0,85% e as bactérias crescidas em solução de MH, diluída em solução salina a 0,85%. A concentração de bactérias no meio foi calculada pela equação (1) aplicada por Ramachandran; Ramakrishnan; Bang (2001).

$$Y = (8,59 \times 10^7) \times (X^{1,3627}) \quad (1)$$

onde: X = absorvência (a); Y = concentração de esporos por mL.

O procedimento foi realizado três vezes adotando o valor médio da concentração de bactérias (Kim *et al.*, 2013). A partir da concentração encontrada, os cálculos de diluição foram feitos para atingir uma concentração de 10^6 esporos mL^{-1} . A diluição foi feita em água destilada. A suspensão com esporos bacterianos foi subsequentemente mantida em geladeira a 4 °C até ser utilizada na mistura do material cimentício (Jonkers *et al.*, 2010).

2.2 Argamassa

As amostras de argamassa (Tabela 1) foram produzidas utilizando os seguintes materiais: cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI), agregado fino (areia natural), água, esporos de *B. subtilis* (B) diluídos em água, acetato de cálcio (A) e extrato de levedura (E). Os esporos das bactérias, em uma concentração de 10^6 esporos mL^{-1} , o acetato de cálcio e o extrato de levedura foram adicionados na água de mistura em diferentes combinações, dessa forma produzindo cinco variações de argamassas. A proporção de cimento-areia utilizada foi de 1:3, em massa, e a relação água-cimento (a/c) foi de 0,48 (Tabela 2).

Tabela 1 – Nomenclatura das argamassas

Nomenclatura	Composição
R	Argamassa de referência produzida com cimento, areia e água
B	Argamassa com adição de esporos na água de mistura
B+A	Argamassa com adição de esporos + acetato de cálcio na água de mistura
B+E	Argamassa com adição de esporos + extrato de levedura na água de mistura
B+A+E	Argamassa com adição de esporos + acetato de cálcio + extrato de levedura na água de mistura

Tabela 2 – Proporção de mistura das argamassas com agentes biológicos

Argamassas	Quantidade de materiais (g)			Esporos <i>B. subtilis</i> mL^{-1}	Nutrientes (%)	
	Cimento	Areia	Água		A*	B**
R	900	2700	432	-	-	-
B	900	2700	432	10^6	-	-
B+A	900	2700	432	10^6	1	-
B+E	900	2700	432	10^6	-	1
B+A+E	900	2700	432	10^6	1	1

*Concentração de acetato de cálcio em relação a concentração de cimento (Jonkers *et al.*, 2010).

**Concentração de extrato de levedura em relação a concentração de cimento (Jonkers *et al.*, 2010).

O procedimento de mistura das argamassas foi realizado com misturador portátil, onde primeiro foram adicionados os componentes secos (cimento, areia, acetato de cálcio e extrato de levedura) misturando-os manualmente. Depois, a água com a solução de esporos foi sendo adicionada aos

poucos, seguida de nova mistura manual. Por fim, a mistura foi homogeneizada mecanicamente por um minuto, depois misturada manualmente para raspar a argamassa aderida na superfície lateral do balde e novamente misturada mecanicamente por mais dois minutos.

Foram produzidas amostras de argamassas com e sem armadura (4,8 mm de diâmetro e 15 cm de comprimento, posicionada a 1 cm da base) usando moldes prismáticos de 4x4x16 cm de acordo com a NBR 13279 (2005). As amostras foram desmoldadas após 48 horas e armazenadas no laboratório em cura úmida envoltas por uma manta de drenagem de solo sob condições de temperatura e umidade não controladas. As amostras de argamassa com armadura (usadas para análise da recuperação de fissuras) foram submetidas a cura úmida por 7 dias (até a idade de abertura das fissuras). As amostras de argamassa sem armadura (usadas para a avaliação da resistência à tração na flexão de 3 pontos e à compressão) foram submetidas a cura úmida por 28 dias. O procedimento de fissuração consistiu na aplicação, constante e lenta, de carga em amostras de argamassa com armadura após 7 dias de cura até o surgimento da primeira fissura sendo descarregada em seguida, por meio do ensaio de tração na flexão de 3 pontos utilizando uma prensa hidráulica (Figura 1).

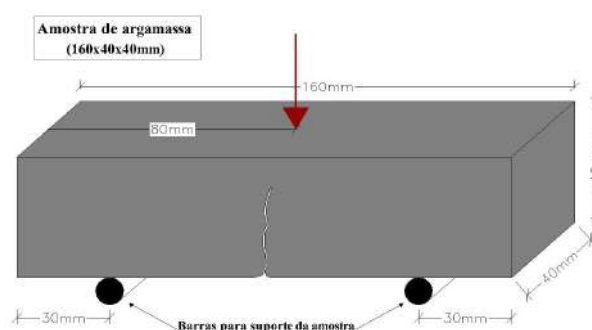


Figura 1 – Ensaio de tração na flexão de 3 pontos

Após a fissuração, as amostras foram submetidas a três condições diferentes de cura: submersa em água; úmida envolta em manta de drenagem com e sem aspersão de solução com esporos (Tabela 3). A solução com esporos foi aspergida uma vez por semana, ao longo de 7, 14, 21 e 28 dias para o monitoramento do preenchimento das fissuras.

Tabela 3 - Programa experimental

Grupo	CPs	Número de CPs quanto ao tipo de cura			Ensaio mecânico (dias)*	Monitoramento das fissuras (dias)**
		Submersa	Úmida sem aspersão	Úmida com aspersão		
REF	NA	-	3	-	28	-
	A	1	1	1	-	0, 7, 14, 21, 28
B	NF	-	3	-	28	-
	NA	1	1	1	-	0, 7, 14, 21, 28
B+A	NA	-	3	-	28	-
	A	1	1	1	-	0, 7, 14, 21, 28
B+E	NA	-	3	-	28	-
	A	1	1	1	-	0, 7, 14, 21, 28
B+A+E	NA	-	3	-	28	-
	A	1	1	1	-	0, 7, 14, 21, 28

Onde: CPs: corpos de prova; NA: não armado; A: armado; B: bactéria *B. subtilis*; A: acetato de cálcio; E: extrato de levedura

* Data para realização dos ensaios de resistência à tração na flexão de 3 pontos e à compressão.

** Datas para realização do monitoramento das fissuras.

2.3 Métodos experimentais

2.3.1 Análise das fissuras

O monitoramento visual das fissuras durante o período de cura, aos 0, 7, 14, 21 e 28 dias após fissuração, foi realizado por imagens obtidas em um Estereomicroscópio Óptico (da marca Zeiss Discovery.V12) com lentes Zeiss PlanApo S 1.0x FWD de 60 mm, ligado a uma câmera Zeiss AxioCam 105 com ampliação de até 100x e rodando o software AxioVision SE64.

As análises visuais do preenchimento das fissuras foram realizadas sempre com o mesmo fragmento central, de 1,4 cm de comprimento, de cada amostra de argamassa (Figura 2). Foram analisadas três amostras de cada grupo de argamassa ($n = 3$), onde cada amostra foi submetida a diferentes condições de cura (submersa, úmida sem aspersão de esporos e úmida com aspersão de esporos).

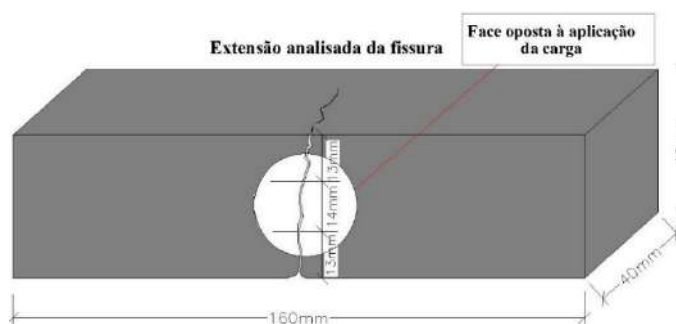


Figura 2 – Seguimento da fissura analisado

Os ensaios de resistência à tração na flexão de 3 pontos e à compressão foram realizados com amostras prismáticas de argamassa sem armadura de 4x4x16 cm com 28 dias de idade ($n = 3$ e 6, respectivamente) de acordo com a NBR 13279 (2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

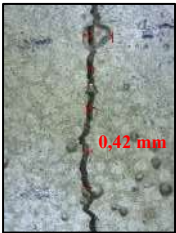






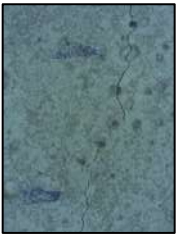

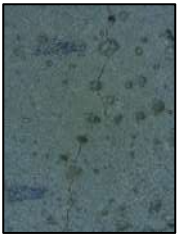
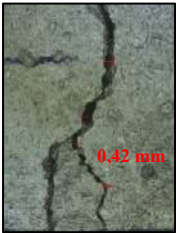




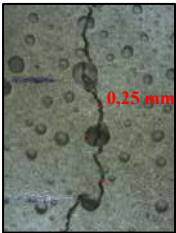

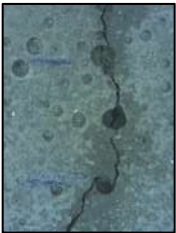
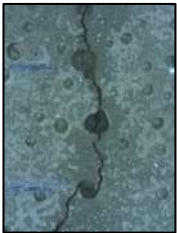
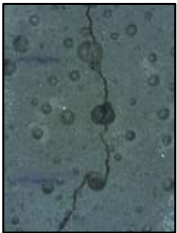





3.1 Análise das fissuras

As imagens obtidas no monitoramento das fissuras para os três processos de cura em estudo são mostradas nas Tabelas 4, 5 e 6. Como pode-se observar as fissuras apresentam espessuras diferentes, com valores que variam de 0,17 a 0,88 mm, isso se deve a dificuldade encontrada durante o ensaio de fissuração para produzir fissuras de tamanhos similares. Para minimizar as diferentes larguras entre as fissuras a autora Hollmann (2020) recomenda a fissuração de um número grande de amostras, a fim de possibilitar a seleção daquelas que apresentam fissuras com espessuras similares.

Durante a análise do fechamento das fissuras, observou-se que o tamanho inicial da largura da fissura teve influência no processo de biorecuperação das mesmas. Amostras com fissuras de pequenas aberturas (inferior a 0,25 mm) tiveram mais sucesso no processo de autocicatrização, para o período avaliado. Estudos realizados por Xu e Yao (2014) afirmam que as larguras das fissuras de 0,1 a 0,4 mm foram parcialmente seladas, por precipitados minerais formados pelo metabolismo bacteriano. Luo, Qian e Li (2015) afirmam que as fissuras com larguras médias de 0,1-0,3 mm e 0,3-0,5 mm foram quase totalmente curadas ($\geq 85\%$ e 50 a 70% de reparo, respectivamente), e 0,5-0,8 mm foram parcialmente curadas ($\leq 30\%$ de reparo).

Outro fator observado que influenciou no processo de recuperação das fissuras foi o tipo de cura que as amostras foram submetidas. Amostras submetidas à cura submersa (Tabela 4) e amostras submetidas à cura úmida, sem aspersão de esporos (Tabela 5) apresentaram maiores taxa de sucesso na precipitação de cristais na região fissurada.

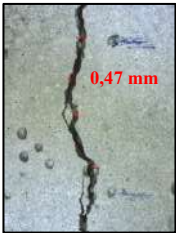









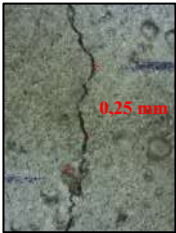






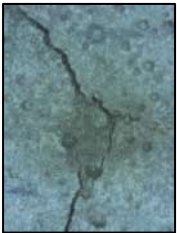


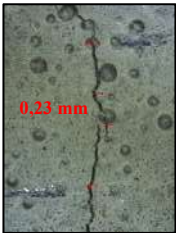




Tabela 4 – Monitoramento por imagem das fissuras em cura submersa (ampliação de 8x em estereomicroscópio óptico com câmera acoplada)

Grupo	Tempo de cura (dias)				
	0	7	14	21	28
Referência (REF)					
Bactéria (B)					
Bactéria + Acetado de Cálcio (B+A)					
Bactéria + Extrato de Levedura (B+E)					
Bactéria + Acetado de Cálcio + Extrato de Levedura (B+A+E)					

Na Tabela 4, constatou-se a precipitação de carbonato de cálcio nas amostras produzidas somente com esporos bacterianos (B), com esporos mais acetato de cálcio (B+A) e com esporos mais acetato de cálcio mais extrato de levedura (B+A+E) quando submetidas a cura submersa.






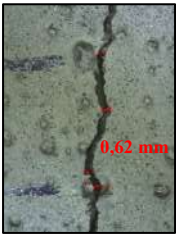




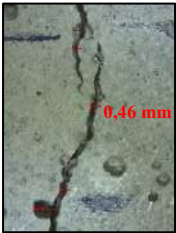

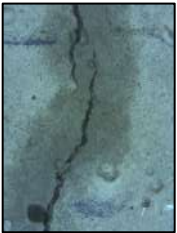


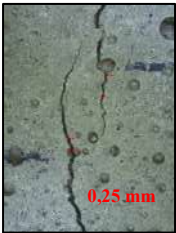

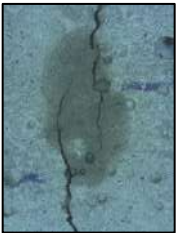


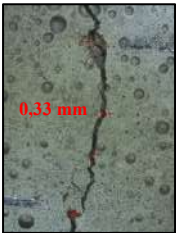




Nas amostras submetidas à cura úmida sem aspersão de esporos (Tabela 5), constatou-se CaCO_3 precipitado nas amostras produzidas somente com esporos bacterianos (B), com esporos mais extrato de levedura (B+E) e com esporos mais acetato de cálcio mais extrato de levedura (B+A+E). Já nas amostras submetidas à cura úmida com aspersão de esporos (Tabela 6), a precipitação de carbonato foi observada na amostra produzida com esporos mais extrato de levedura (B+E).

Tabela 5 – Monitoramento por imagem das fissuras em cura úmida sem aspersão de esporos (ampliação de 8x em estereomicroscópio óptico com câmera acoplada)

Grupo	Tempo de cura (dias)				
	0	7	14	21	28
Referência (REF)					
Bactéria (B)					
Bactéria + Acetato de Cálcio (B+A)					
Bactéria + Extrato de Levedura (B+E)					
Bactéria + Acetato de Cálcio + Extrato de Levedura (B+A+E)					

A visualização do fechamento das fissuras por meio da precipitação de cristais pode ser mais bem observada nos detalhes mostrados nas Figuras 3, 4 e 5, em que se observam cicatrizações pontuais e/ou contínuas. A recuperação da fissura nas amostras submetidas à cura submersa (Figura 3) ocorreu na região de microfissuras de forma pontual para a amostra B e contínua para a B+A.

Tabela 6 – Monitoramento por imagem das fissuras em cura úmida com aspersão de esporos (ampliação de 8x em estereomicroscópio óptico com câmera acoplada)

Grupo	Tempo de cura (dias)				
	0	7	14	21	28
Referência (REF)					
Bactéria (B)					
Bactéria + Acetato de Cálcio (B+A)					
Bactéria + Extrato de Levedura (B+E)					
Bactéria + Acetato de Cálcio + Extrato de Levedura (B+A+E)					

Na amostra B+A+E verifica-se uma redução da abertura da fissura aos 28 dias, com precipitação de cristas na região de fissura de forma pontual e contínua. Para a cura úmida, sem aspersão de esporos (Figura 4), observa-se que a precipitação de carbonato ocorreu de forma contínua na região de microfissuras nas amostras B e B+E, e na amostra B+A+E ocorreu na região de fissura de forma pontual e na região de microfissura de forma contínua. Em relação à cura úmida, com aspersão de esporos (Figura 5), verifica-se que a precipitação de carbonato ocorreu na região de fissura de forma pontual e na região de microfissura de forma contínua na amostra B+E.

Tanto nas amostras submetidas à cura submersa quanto nas amostras submetidas a cura úmida, sem aspersão de esporos, o melhor resultado em relação à recuperação das fissuras foi obtido quando adicionado três componentes juntos: bactéria como agente autocicatrizante; acetato de cálcio como

fonte de cálcio na precipitação de cristais; e, extrato de levedura como fonte de nutriente para o crescimento da bactéria na matriz cimentícia. Os estudos desenvolvidos por Lucas et al. (2018) e Jang et al. (2020), relatam um ganho de eficiência na cicatrização de fissuras ao adicionar na mistura do concreto uma combinação de três componentes, bactéria do gênero *Bacillus*, lactato de cálcio e extrato de levedura, em comparação com o concreto sem adição destes componentes.

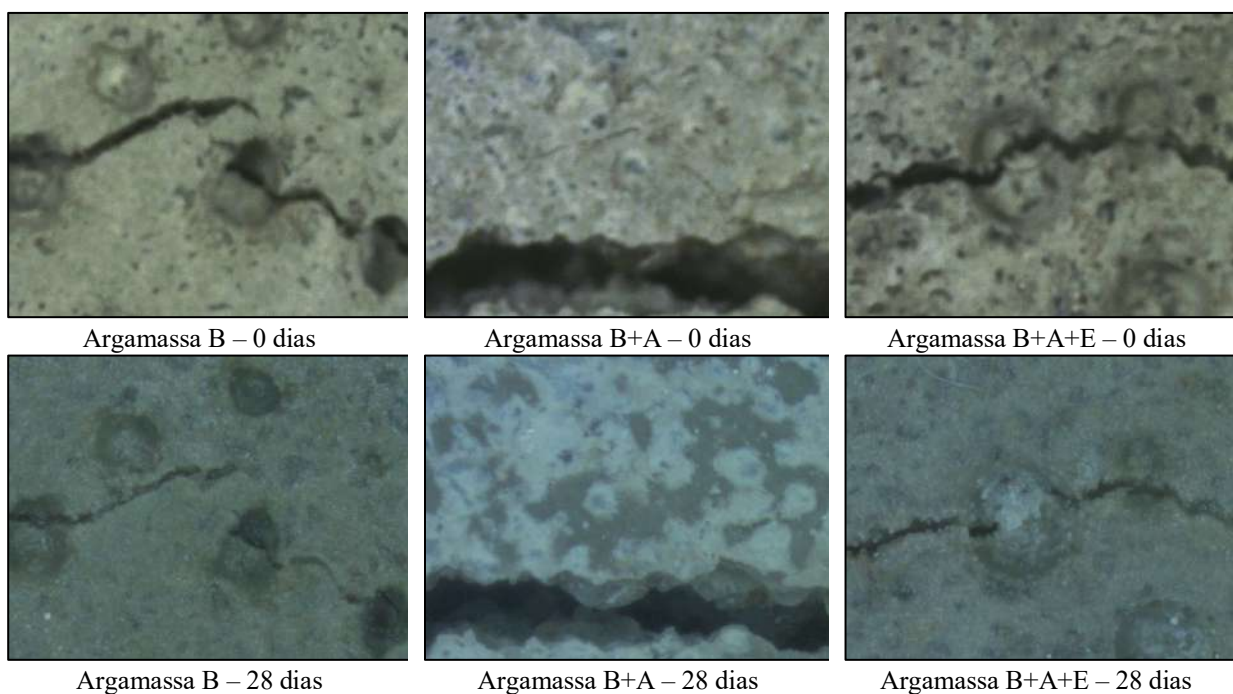


Figura 3 – Detalhe da região recuperada de amostras submetidas à cura submersa (ampliação de 30x)

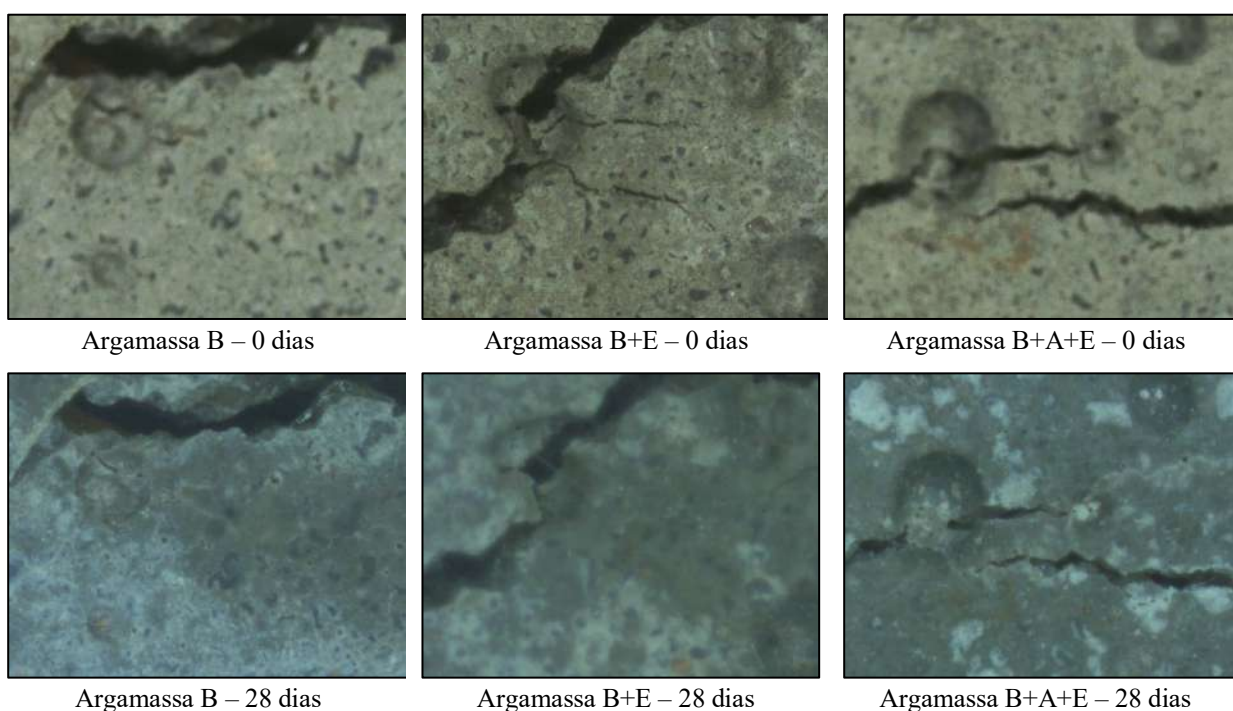


Figura 4 – Detalhe da região recuperada de amostras submetidas à cura úmida sem aspersão de esporos (ampliação de 30x)

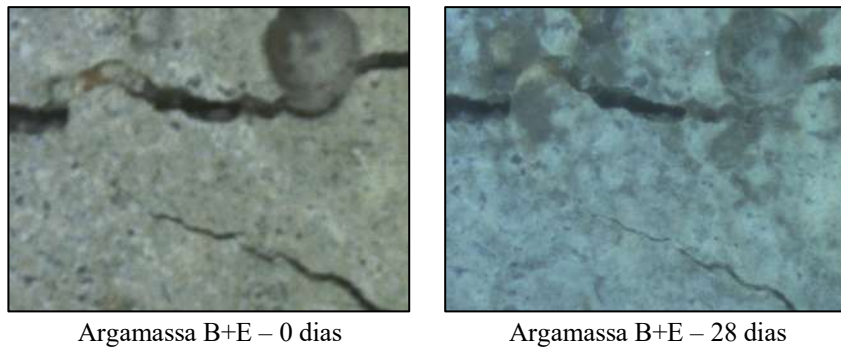


Figura 5 – Detalhe da região recuperada de amostras submetidas à cura úmida com aspersão de esporos (ampliação de 30x)

Já entre as amostras submetidas a cura úmida com aspersão de esporos, o melhor resultado em relação à recuperação das fissuras foi obtido quando adicionado dois componentes em conjunto: bactéria como agente autocicatrizante; e, extrato de levedura como fonte de nutriente para o crescimento da bactéria na matriz cimentícia. Segundo estudos desenvolvidos por Naguyen et al. (2019), as amostras de concreto produzidos com a adição de bactéria *B. subtilis* combinado com peptona e extrato de levedura na mistura apresentaram maior eficiência de cura das fissuras em comparação a amostras de concreto controle.

O processo de autocicatrização das fissuras por meio da biodeposição de CaCO_3 por bactérias é influenciado pela presença destes microrganismos e dos nutrientes na região da fissura (Wiktor and Jonkers, 2011). Sendo assim, algumas fissuras talvez não tenham apresentado precipitação de carbonato de cálcio, devido à ausência ou insuficiência de microrganismos e/ou nutrientes no local na região fissurada. Isso se deve à distribuição dos microrganismos e/ou nutrientes não ocorrer de forma homogênea durante a produção das amostras de argamassa, dificultando a análise dos resultados. Outra questão a ser considerada é a não ativação dos esporos bacterianos no período de estudo, que é influenciada pela temperatura do ambiente ideal que varia de 20 °C a 37 °C (Arunachalam et al., 2010), pela disponibilidade de umidade (De Koster et al., 2015) e de oxigênio (Bhaskar et al., 2017) nas fissuras, e pelo pH ideal da matriz cimentícia em torno de 9 (Pacheco-Torgal and Labrincha, 2013).

Ainda, a análise do fechamento das fissuras deve levar em consideração a abertura inicial da fissura. Segundo Jonkers et al. (2010) o uso de bactérias na biodeposição de CaCO_3 resultará no reparo autônomo de fissuras com larguras menores que 1 mm. Estudos realizados por Vashisht e Shukla (2020) comprovaram por análise visual a autocura de macro fissuras com larguras de até 0,48 mm.

3.2 Propriedades mecânicas das argamassas

Em relação a resistência à tração na flexão observa-se na Figura 6 que as amostras de controle (B, B+A, B+E e B+A+E) apresentaram valores de resistência maiores que a amostra de referência. Entre as amostras de controle o melhor resultado (6,95 MPa) foi apresentado pela argamassa com esporos e extrato de levedura (B+E) adicionados à mistura, correspondendo a um incremento de resistência à tração de 27% em relação à de referência. Já em relação a resistência à compressão, observa-se que as amostras de controle (B, B+A e B+E) apresentaram valores de resistência inferiores à amostra de referência. Entre as argamassas avaliadas o melhor resultado (31,86 MPa) foi apresentado pela argamassa com esporos mais acetato de cálcio mais extrato de levedura (B+A+E) adicionados à mistura. A resistência à compressão desta mistura foi similar à de referência (0,28% inferior), estando na faixa de variação típica do ensaio.

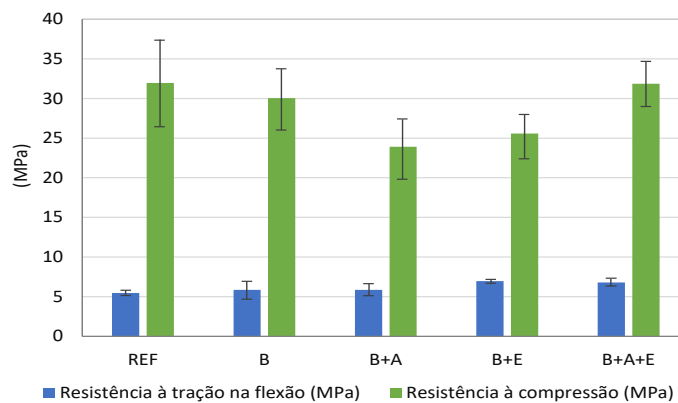


Figura 6 – Efeito da linhagem *B. subtilis* AP91 nas propriedades mecânicas após 28 dias de cura

Nain et al. (2019) relatam que a resistência à tração do concreto produzido com adição combinada de bactéria *B. subtilis* e caldo nutriente composto por peptona, cloreto de sódio, extrato de levedura e extrato de carne, apresentou melhores resultados em comparação ao concreto controle. Estudos realizados por Jonkers et al. (2010), demonstraram que as amostras de pasta cimento produzidas com adição de bactérias *Bacillus pseudofirmus*, acetato de cálcio e extrato de levedura, separadamente, apresentaram menores valores de resistência à compressão em comparação com a amostra de pasta cimento controle. Outra pesquisa desenvolvida por Pei et al. (2013) obteve valores inferiores de resistência à compressão de argamassa produzidas com bactéria *Bacillus subtilis*, ureia e cloreto de Ca cominados, em comparação com a argamassa controle. A incorporação de compostos orgânicos e inorgânicos, como o extrato de levedura e o acetato de cálcio, respectivamente, ao concreto é um pré-requisito para a autocura, porém ambos podem resultar em perda indesejável da resistência (Ramachandran, Ramakrishnan and Bang, 2001; Jonkers and Schlangen, 2007).

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostram que a adição da bactéria *B. subtilis*, com ou sem adição de nutrientes (acetato de cálcio + extrato de levedura) isolados ou combinados à matriz cimentícia, propiciou a precipitação de carbonatado de cálcio (CaCO_3), promovendo fechamento pontual ou contínuo de fissuras e microfissuras. Amostras produzidas com a combinação dos três componentes (esporos + acetato de cálcio + extrato de levedura) incorporados apresentaram os melhores resultados em relação à cicatrização das fissuras.

Constatou-se que a abertura inicial da fissura da amostra tem influência neste processo. Foi observada, aos 28 dias de análise, a formação de cristais de forma pontual em fissuras de maior dimensão e contínua na região de microfissuras.

Para os três tipos de cura empregados (submersa, úmida com e sem aspersão de esporos), constatou-se a precipitação de carbonatos na região fissurada. A incorporação de esporos bacterianos (*B. subtilis*) e nutrientes (acetato de cálcio e extrato de levedura) em amostras submetidas à cura úmida, sem aspersão de esporos, apresentaram os melhores resultados em relação à cicatrização das fissuras.

A aplicação da bactéria com acetato de cálcio e extrato de levedura, até 1% em relação à massa de cimento, resultou em ganho de resistência à tração na flexão. Já a aplicação de esporos bacterianos isolados (B) ou em combinação com acetato de cálcio e extrato de levedura (B+A+E) em até 1% de cada em relação à massa de cimento, não resultou em perda significativa de resistência à compressão das amostras. Já a aplicação da bactéria com acetato de cálcio (B+A) e/ou extrato de levedura (B+E) resultou em perdas indesejadas de resistência à compressão.

A biorecuperação de materiais a base de cimento é um tema de pesquisa recente e desafiador, exigindo estudos interdisciplinares e complexos. A viabilidade desta solução tecnológica ainda requer estudos, pois ainda existem muitas variáveis (tipo e quantidade de bactéria, tipo e quantidade de nutrientes, tipo de cura, condições adequadas para a ativação dos esporos) que interferem na precipitação de CaCO_3 e que suas influências não são claras.

5. AGRADECIMIENTOS

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) por disponibilizar a linhagem da bactéria *B. subtilis* (AP91) para o desenvolvimento desta pesquisa. Ao LADEMA, ao laboratório de Biodiversidade da Unila e à Fundação Araucária pelo suporte à pesquisa experimental. À Unila pela bolsa de mestrado e fomento à pesquisa pelo edital PRPPG Nº 137.

6. REFERÊNCIAS

- Alazhari, M. *et al.* (2018) ‘Application of expanded perlite encapsulated bacteria and growth media for self-healing concrete’, *Construction and Building Materials*, 160, pp. 610–619. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.086.
- Arunachalam, K. D. *et al.* (2010) ‘Studies on the characterisation of Biosealant properties of *Bacillus sphaericus*’, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(3), pp. 270–277.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005) ‘NBR 13279 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão’, *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, pp. 1–9.
- De Belie, N. and De Muynck, W. (2009) ‘Crack repair in concrete using biodeposition’, *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II - Proceedings of the 2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, ICCRRR*, 2, pp. 291–292. doi: 10.1201/9781439828403.ch107.
- Bhaskar, S. *et al.* (2017) ‘Effect of self-healing on strength and durability of zeolite-immobilized bacterial cementitious mortar composites’, *Cement and Concrete Composites*, 82, pp. 23–33. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2017.05.013.
- Gulin, L. B. (2019) *Viabilidade do Uso de Sílica de Sílica Gel na Imobilização da Bactéria Bacillus subtilis para Materiais Cimentícios Autocicatrizantes*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Hollmann, C. F. (2020) *Avaliação da influência de aditivos cristalizantes na resistência à penetração de íons cloreto em concretos fissurados*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Jang, I. *et al.* (2020) ‘Effects of spray-dried co-cultured bacteria on cement mortar’, *Construction and Building Materials*, 243, pp. 1–9. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118206.
- Jonkers, H. M. *et al.* (2010) ‘Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete’, *Ecological Engineering*, 36(2), pp. 230–235. doi: 10.1016/j.ecoleng.2008.12.036.

- Jonkers, H. M. and Schlangen, E. (2007) 'Self-healing of cracked concrete: A bacterial approach', *Proceedings of the 6th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures*, 3, pp. 1821–1826.
- Jonkers, H. M. and Thijssen, A. (2010) 'Bacteria Mediated of Concrete Structures', *2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure 4-6 October 2010, Delft, The Netherlands*, (October), pp. 833–840.
- Khaliq, W. and Ehsan, M. B. (2016) 'Crack healing in concrete using various bio influenced self-healing techniques', *Construction and Building Materials*, 102, pp. 349–357. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.11.006.
- Kim, H. K. *et al.* (2013) 'Microbially mediated calcium carbonate precipitation on normal and lightweight concrete', *Construction and Building Materials*, 38, pp. 1073–1082. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.07.040.
- De Koster, S. A. L. *et al.* (2015) 'Geopolymer coating of bacteria-containing granules for use in self-healing concrete', *Procedia Engineering*, 102, pp. 475–484. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.193.
- Lucas, S. S. *et al.* (2018) 'Study of self-healing properties in concrete with bacteria encapsulated in expanded clay', *Science and Technology of Materials*, 30, pp. 93–98. doi: 10.1016/j.stmat.2018.11.006.
- Luo, M., Qian, C. X. and Li, R. Y. (2015) 'Factors affecting crack repairing capacity of bacteria-based self-healing concrete', *Construction and Building Materials*, 87, pp. 1–7. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.117.
- Marvasi, M. *et al.* (2010) 'Physiological requirements for carbonate precipitation during biofilm development of *Bacillus subtilis* mutant Massimiliano', *Federation of European Microbiological Societies (FEMS) Microbiology Ecology*, 71, pp. 341–350. doi: 10.1111/j.1574-6941.2009.00805.x.
- Marvasi, M., Davila-Vazquez, Y. C. and Martinez, L. C. (2013) 'Laboratory Activity to Effectively Teach Introductory Geomicrobiology Concepts to Non-Geology Majors', *Journal of Microbiology e Biology Education*, 14(2), pp. 206–212. doi: <http://dx.doi.org/10.1128/jmbe.v14i2.578>.
- Monteiro., P. K. M. e P. J. M. (2014) *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 2nd edn. São Paulo: IBRACON.
- Nain, N. *et al.* (2019) 'Enhancement in strength parameters of concrete by application of *Bacillus* bacteria', *Construction and Building Materials*, 202, pp. 904–908. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.059.
- Nguyen, T. H. *et al.* (2019) 'Bacterial self-healing of concrete and durability assessment', *Cement and Concrete Composites*, 104, pp. 1–15. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2019.103340.
- Pacheco-Torgal, F. and Labrincha, J. A. (2013) 'Biotech cementitious materials: Some aspects of an innovative approach for concrete with enhanced durability', *Construction and Building Materials*, 40, pp. 1136–1141. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.09.080.

- Pei, R. *et al.* (2013) ‘Use of bacterial cell walls to improve the mechanical performance of concrete’, *Cement and Concrete Composites*, 39, pp. 122–130. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2013.03.024.
- Ramachandran, S. K., Ramakrishnan, V. and Bang, S. S. (2001) ‘Remediation of concrete using micro-organisms’, *ACI Materials Journal*, 98(1), pp. 3–9. doi: 10.14359/10154.
- Repetto, W. L. (2011) ‘Concretos para fins especiais e de última geração’, in ISAIA, G. C. (ed.) *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1°. São Paulo: IBRACON, p. 1968.
- Schwantes-Cezario, N. *et al.* (2017) ‘Bioprecipitation of calcium carbonate induced by *Bacillus subtilis* isolated in Brazil’, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 123, pp. 200–205. doi: 10.1016/j.ibiod.2017.06.021.
- Schwantes-Cezario, N. *et al.* (2018) ‘Crack filling in concrete by addition of *Bacillus subtilis* spores – Preliminary study’, *DYNA (Colombia)*, 85(205), pp. 132–139. doi: 10.15446/dyna.v85n205.68591.
- Schwantes-Cezario, N., Nogueira, G. S. F. and Toralles, B. M. (2017) ‘Biocimentação de compósitos cimentícios mediante adição de esporos de *Bacillus subtilis* AP91’, *Revista de Engenharia Civil IMED*, 4(2), pp. 142–158. doi: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2017.v4i2.2072>.
- Van Tittelboom, K. *et al.* (2010) ‘Use of bacteria to repair cracks in concrete’, *Cement and Concrete Research*, 40(1), pp. 157–166. doi: 10.1016/j.cemconres.2009.08.025.
- Vashisht, R. and Shukla, A. (2020) ‘Potential application of bacteria to improve the self-healing and strength of concrete’, *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 5(10), pp. 1–13. doi: 10.1007/s41024-020-0073-5.
- Vijay, K., Murmu, M. and Deo, S. V. (2017) ‘Bacteria based self healing concrete – A review’, *Construction and Building Materials*, 152, pp. 1008–1014. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.040.
- Wang, J. *et al.* (2012) ‘Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete’, *Construction and Building Materials*, 26(1), pp. 532–540. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.06.054.
- Wang, J. *et al.* (2018) ‘A chitosan based pH-responsive hydrogel for encapsulation of bacteria for self-sealing concrete’, *Cement and Concrete Composites*, 93, pp. 309–322. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.08.007.
- Wiktor, V. and Jonkers, H. M. (2011) ‘Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete’, *Cement and Concrete Composites*, 33(7), pp. 763–770. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.03.012.
- Xu, J. and Yao, W. (2014) ‘Multiscale mechanical quantification of self-healing concrete incorporating non-ureolytic bacteria-based healing agent’, *Cement and Concrete Research*, 64, pp. 1–10. doi: 10.1016/j.cemconres.2014.06.003.

Recuperação de estrutura subaquática: Estudo de caso em Salvador/Ba

A. R. A. OMORE^{1*}, V. A. COELHO², M. V. A. S. MENDES³, F. G. S. SILVA⁴

*Autor de Contacto: abrahamrodolphe@gmail.com

¹PPEC, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

²NUCCTEC, Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Brasil

³Graduado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁴DCE, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

As estruturas de concreto localizadas em um ambiente marinho podem estar sujeitas a vários tipos de degradação. O concreto submerso no ambiente marinho é preparado para suportar uma série de agressões ao longo de seu ciclo de vida como a corrosão das armaduras e o ataque de cloretos presentes na água do mar. O objetivo do presente estudo consiste na recuperação dos blocos de concreto de fundação de um píer, com base na avaliação do estado de conservação de mais 20 anos. Dessa forma, foi possível coletar material e ilustrar a importância das técnicas a serem aplicadas, apresentando o passo a passo da execução de projeto de recuperação dos blocos submersos, com finalidade de prolongar a vida útil da estrutura.

Palavras-chave: Concreto submerso; Píer; Vida útil.

Underwater structure recovery: A case study in Salvador/BA.

ABSTRACT

Concrete structures located in a marine environment can be subject to various types of degradation. Submerged concrete in the marine environment is prepared to withstand a series of aggressions throughout its life cycle, such as reinforcement corrosion and the attack of chlorides present in sea water. The aim of this study is to recover the concrete foundation blocks of a pier, based on an assessment of the conservation status of over 20 years. Thus, it was possible to collect material and illustrate the importance of the techniques to be applied, presenting the step-by-step execution of a submerged block recovery project, in order to prolong the structure service life.

Keywords: Submerged concrete; Pier; Service life.

Recuperación de estructuras submarinas: estudio de caso em Salvador / Ba

RESUMEN

Las estructuras de hormigón ubicadas en un entorno marino pueden estar sujetas a varios tipos de degradación. El hormigón sumergido en el medio marino está preparado para soportar una serie de agresiones a lo largo de su ciclo de vida, como la corrosión de las armaduras y el ataque de los cloruros presentes en el agua de mar. El objetivo de este estudio es recuperar los bloques de cimentación de hormigón de un muelle, a partir de una evaluación del estado de conservación de más de 20 años. Así, fue posible recolectar material e ilustrar la importancia de las técnicas a aplicar, presentando el paso a paso de un proyecto de recuperación de bloques sumergidos, con el fin de prolongar la vida útil de la estructura.

Palabras clave: Hormigón sumergido; Muelle; Vida útil.

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes marinhos apresentam elevada agressividade ao concreto armado, principalmente devido à combinação de cloretos e umidade. As estruturas encontradas nesses ambientes estão sujeitas a numerosos ataques (mecânicos, químicos, físicos e biológicos). A corrosão da armadura é também uma das principais causas da deterioração das estruturas de concreto armado, especialmente no ambiente marinho. A estrutura pode ser submetida a um ou mais ataques simultaneamente e o grau de agressividade varia conforme o fato do concreto estar completamente submerso em uma zona de maré ou fora d'água (LONG, 2013).

A deterioração é o processo de alteração física e química de um material por elementos agressores, os agentes de deterioração. Esse processo tende a comprometer as estruturas e os materiais (SOUZA; RIPPER, 2009). Segundo Souza e Ripper (2009), ao estudar a vida útil das estruturas, há que se ter em vista o que é tecnicamente possível, considerando também a durabilidade dos materiais, das estruturas e a evolução constante dos processos de construção e de manutenção, bem como o aprimoramento dos programas.

Medidas de manutenção são as ações técnicas e econômicas que tentam elevar o nível de qualidade de um elemento de construção e/ou restaurar o nível de desempenho inicial. Essas ações são executadas para antecipar a falha dos elementos ou corrigir localmente os defeitos existentes, o que se denomina de manutenção proativa e reativa, respectivamente.

Um diagnóstico correto deve definir o problema, coletar os dados disponíveis, caracterizar as anomalias existentes e suas prováveis causas, avaliar o desempenho em serviço, verificar se as demandas dos usuários estão sendo cumpridas e, finalmente, definir as medidas corretivas, preventivas ou ações de monitoramento.

Em estruturas subaquáticas, concreto submerso é a denominação dada ao concreto que é aplicado na presença de água, como em estruturas de contenção ou em meio à lama bentonítica. A principal característica do concreto submerso é a maior coesão dos grãos, o que não permite sua dispersão no contato com a água, oferecendo maior resistência ao ataque químico (GOMES, 2016).

A revisão bibliográfica específica do assunto refere-se as patologias de estruturas de concreto no ambiente subaquático, descrevendo as causas do dano. Além disso, propõe algumas técnicas de reparo que permitem que o trabalho permaneça em condições de manutenção. Nesse contexto, diante da necessidade de conhecer mais sobre estruturas de concreto subaquáticas no ambiente marinho, o desenvolvimento do presente trabalho apresenta estudo pioneiro relacionado à recuperação de blocos submersos de um píer localizado em Salvador/BA.

2. Fatores de degradação do concreto em ambientes marinhos e subaquáticos

O concreto é usado para a realização de um grande número de estruturas localizadas em locais marítimos. Para Mehta (1991), essas estruturas participam do desenvolvimento de infraestrutura e instalações de portos de pesca, lojas, terminais de contêineres, docas e cais para carregar e descarregar, píer. Essas estruturas estão expostas a vários tipos de configurações. Dependendo das variações no nível do mar, o concreto pode ser:

- Submerso ou subaquático continuamente (concreto localizado abaixo do nível do mar na maré baixa). Os concretos localizados nessa área raramente estão sujeitos à degradação significativa a concentração de oxigênio é baixa (comparada a atmosfera) e limita a reação de oxidação por falta de oxigênio para produzir corrosão. Também produz corrosão, mas a velocidade é menor (comparado a exposição atmosférica) devido à baixa concentração de O₂. Embora a concentração de íons cloreto na área submersa exceda o limite necessário para iniciar a corrosão das armaduras, a disponibilidade e a difusão de oxigênio no concreto completamente saturado é muito lenta e causa apenas uma taxa de corrosão muito baixa.
- Alternadamente imerso e submerso ou subaquático conforme o nível do mar (áreas de maré determinados pelos níveis de maré alta e baixa). O concreto nessa área está repetidamente sujeito ao ciclo de secagem a seco. Uma forte concentração de íons cloreto, bem como uma quantidade suficiente de oxigênio, estão presentes nessa área, o que levará à corrosão das armaduras. A região representa o mais desfavorável para a vida da estrutura. Além das restrições citadas, a estrutura também pode estar sujeita a gelo e degelo.
- Continuamente fora da água. O concreto localizado nessa área pode estar sujeito a agressões leves. A diferença no nível de corrosão entre esta área e a alternadamente imersa/submersa encontra-se na presença de sal e umidade no concreto. O concreto na área continuamente

fora da água, embora não esteja em contato direto com a água do mar, sofre a ação da neblina e do spray do mar. O concreto nesta área não sofre abrasão física devido à ação de onda.

2.1 Agentes de degradação do concreto

O concreto em um ambiente marinho pode ser submetido a várias reações químicas. A degradação pode ser causada por íons na água do mar, o que resulta em um ataque químico de origem externa ao concreto, além de também ser provocada por íons presentes nos constituintes do próprio concreto.

Os ambientes que possuem altas concentrações de CO₂ comprometem a durabilidade das estruturas de concreto armado por causa da penetração dessa substância nos poros do concreto. Com a presença concomitante de hidróxido de cálcio, gás carbônico e água promove uma reação que produz carbonato de cálcio e reduz a alcalinidade do concreto (NEVILLE, 2016).

Segundo Neville (2016), a ação principal do ataque por cloretos é a corrosão do aço, pois somente a partir da corrosão da armadura inicia-se a degradação no concreto. A corrosão das armaduras é mais um sintoma do que uma causa de degradação do concreto, o que significa que certos processos enfraquecem o concreto, levando à corrosão. A penetração de cloretos e a carbonatação são os dois processos que podem alterar a proteção fornecida pelo concreto.

2.1.1 Causas de corrosão

No ambiente marinho, a penetração de cloretos é o principal fenômeno de corrosão de armaduras. Em um ambiente saturado, no caso de estruturas submersas, cloretos penetram na porosidade do concreto por um fenômeno de difusão. Quando a concentração de íons cloreto, na vizinhança do aço, excede um valor crítico estimado, há despassivação seguida da corrosão de armaduras. A taxa de corrosão, devido à penetração do cloreto na água do mar, depende da disponibilidade de oxigênio. Consequentemente, as armaduras do concreto na zona continuamente submersa mostram apenas uma baixa taxa de corrosão, apesar de uma grande quantidade de cloretos contidos na água do mar. Por outro lado, o concreto nas zonas de maré e de respingo está sujeito ao ciclo de molhagem e secagem, o que proporciona uma alta concentração de íons cloreto bem como uma quantidade suficiente de oxigênio, que é a condição mais favorável para corrosão de armaduras, ademais sabe-se que a temperatura aumenta a velocidade de corrosão significativamente.

ESTUDO DE CASO

O píer é uma estrutura construída à beira-mar e para dentro dele com a finalidade de permitir a atracação das embarcações e, também, o passeio público. A obra do referido estudo de caso é um píer a beira mar, situado na cidade de Salvador-BA, que foi construído há aproximadamente 20 anos (Figura 1).

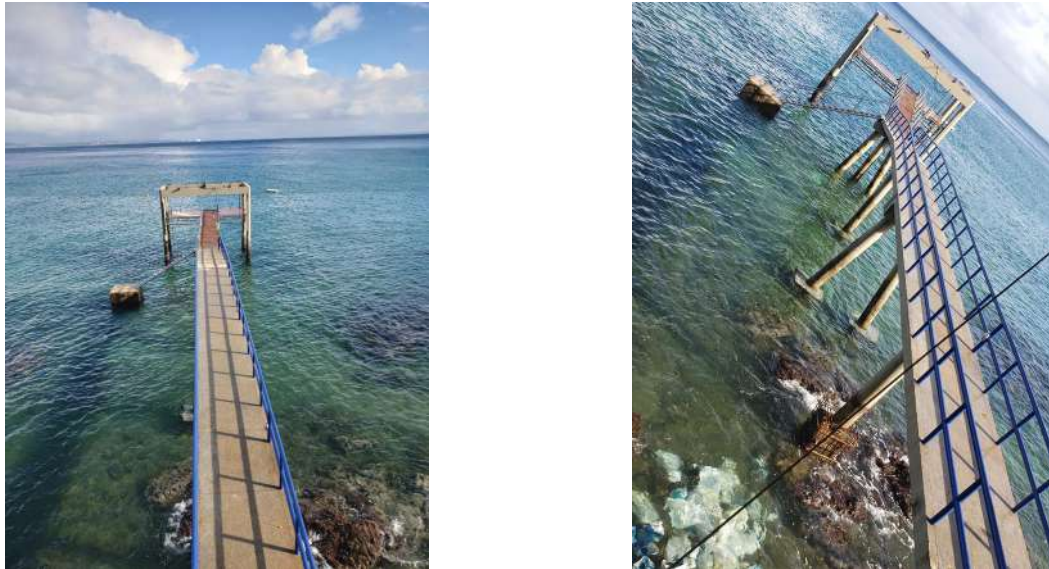


Figura 1- Vista do píer

O píer tem toda sua estrutura concebida em concreto armado aparente e é formado por uma ponte e um atracadouro. Na parte submersa, os blocos de concreto da ponte estão com a forma retangular, enquanto os blocos de pilares do atracadouro estão na forma cilíndrica. O píer tem 2 m de largura que adentra o mar numa extensão de 50 m.

Foram observados problemas na estrutura do píer 11 anos após sua construção. Foi realizado o levantamento das anomalias estruturais e, posteriormente, apresentado um relatório técnico com descrição dos problemas encontrados, no qual foram relatados as técnicas e os materiais para a recuperação do píer, além de apresentar o desenho com as dimensões dos elementos estruturais da estrutura.

No ano de 2012, a parte emersa do píer foi recuperada. Em maio de 2017, a estrutura foi vistoriada, momento em que se observou fissuras e rachaduras decorrentes de corrosão de armaduras. Em julho daquele ano, recomendou-se não utilizar o pórtico espacial no fim do píer como atracadouro ou para acostamento de embarcações marítimas até maiores investigações das consequências das anomalias observadas.

Em 2018 foi feita uma vistoria (Figura 2), impressionando com o avanço da deterioração da corrosão em toda a estrutura.



Figura 2: Corrosão avançada no bloco do atracadouro do píer.

3. Plano de recuperação dos blocos

Para Allen, Edwards e Shaw (1994), antes de realizar uma operação de reparo, muitas vezes é necessário limpar a área para permitir uma inspeção detalhada. Somente depois da avaliação da extensão do dano usando mergulhadores ou veículos operados remotamente para fotografar a área, pode ser preparado um programa de reparo. Assim, o processo de recuperação foi feito em quatro etapas:

Etapa 1: A primeira etapa do reparo foi remover todo o concreto fissurado ou rachado. Em alguns casos, também pode ser necessário cortar a armadura distorcida.

Dependendo da profundidade da área danificada e da idade da estrutura, podem existir vários níveis de incrustação marinha. É necessário remover qualquer camada na superfície para ser capaz de definir a extensão do dano e, também, garantir uma boa ligação entre os materiais existentes e os de reparo. Os procedimentos de limpeza e preparo do substrato são tão importantes, que alguns autores (ACI COMMITTEE 1998) tratam como 50% de importância em todo o processo de recuperação e reforço da estrutura. De acordo com Helene (1992), a limpeza do substrato é um tratamento prévio da superfície dos componentes estruturais. Esse tipo de processo ajuda a remover fungos, o concreto afetado e outros microrganismos presentes na superfície do bloco submerso (Figura 4).

As técnicas de limpeza utilizadas consistem em: escovação manual; lixamento manual para preparo da superfície com lixa d'água para concreto; jateamento de ar utilizado para expulsão de resíduos naturais ou resultantes de outras preparações de superfície (plataformas de trabalho podem ser necessárias); lixa de ferro para aço, com a utilização do disco de lixa acoplado a uma lixadeira eletromecânica provida de um protetor; jato de areia seco; disco de corte; martelo pneumático com compressor ou eletromecânico; escarificação; raspador; mangote, dentre outros.

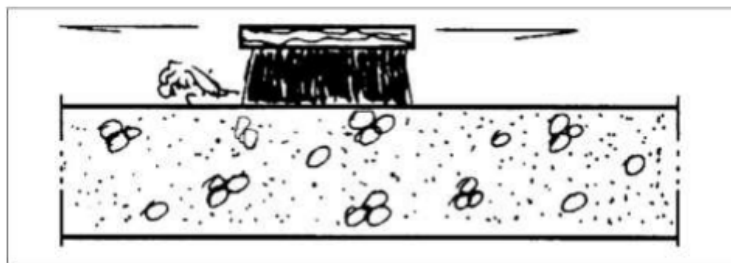


Figura 3: Limpeza com raspador

Etapa 2: Em seguida, é necessário realizar o apicoamento manual com o objetivo final de deixar a superfície bastante áspera e adequada para receber materiais de proteção e de recuperação ou reforço, tais como argamassas ou concreto projetado (Figura 5).

Etapa 3: A armadura empregada foi cortada e dobrada conforme o projeto no canteiro da obra da empresa responsável pela execução. Para garantir uma maior proteção das armaduras, foi aplicado um revestimento epóxi de qualidade, prevenindo contra oxidação, corrosão, ferrugem e, também, ataques químicos. Foi garantida a retirada da camada com espessura de 45 cm de areia abaixo do bloco existente para executar o encamisamento do bloco. E depois do encamisamento, foi feito o nivelamento com solo, considerando que o ideal é sempre deixar chegar à rocha, o que dá mais durabilidade à estrutura (Figura 6).

Etapa 4: O projeto de produção de forma, bem como os procedimentos, são produtos naturalmente decorrentes do planejamento e da definição do processo de execução. Ele foi concebido pela própria empresa responsável pelo reparo. Quanto à colocação das formas, todo o cuidado deve ser tomado, de modo a garantir o perfeito posicionamento da armadura no elemento final a ser concretado. Os dois problemas fundamentais a serem evitados nesses procedimentos de colocação da armadura e forma são a falta do cobrimento de concreto especificado e o posicionamento incorreto da armadura. Para vedar a parte inferior da forma, utiliza-se a mistura de barro e cimento para impedir a perda do concreto no processo de concretagem (Figura 7).

Etapa 5: Nesse processo, (Figura 8) as formas recebem a brita e as ferragens. Então um grande agregado grosso de tamanho único, normalmente não inferior a 40 mm, é colocado na forma preparada. No preenchimento da forma com brita, é importante a preocupação em relação ao empacotamento granulométrico (que auxilia na maior coesão dos grãos do concreto, evitando a sua dispersão no contato com a água).

Etapa 6: Na sequência, é injetada, por pressão ou por gravidade, a pasta (cimento puro e água) ou uma nata (cimento e areia) nos espaços da brita.

Nesse procedimento, o traço da nata incluiu: cimento (2 sacos de 50kg), areia (6 latas) e água (60L). Considerando a variação da água dependente de sua presença na areia, foi utilizado o cimento CP II-F-40 RS. (Figura 9).



Figura 4: Etapa 1



Figura 5 – Etapa 2



Figura 6: Etapa 3



Figura 7: Etapa 4



Figura 8: Etapa 5



Figura 9 Etapa 6

4. RESULTADOS

Uma vez que a estrutura de concreto está em constante contato com a água do mar, a chance de ocorrer danos é muito. A chance de danos é reduzida, pela menor disponibilidade de oxigênio e atuação de agentes agressivos como o gás carbônico que promove carbonatação, Existe corrosão na ausência de oxigênio, é um processo diferenciado da corrosão usual, não é expansiva, mas consome o aço. Chama "corrosão anaeróbica", às vezes é até mais preocupante.

Porém, se a estrutura estiver localizada em um espaço onde o movimento da maré deixa a estrutura submersa por um período e em outros não, pode acontecer a aceleração do processo de corrosão. Com isso, a estrutura estará propensa a sofrer danos mais rapidamente.

Os resultados obtidos foram elementos totalmente recuperados, com aspecto bem-acabado, sem manifestações patológicas aparentes, conforme pode ser visto nas Figuras 10 a 17.



Figura 4: Aspecto final do bloco da ponte.



Figura 5: Detalhe da Figura 10.

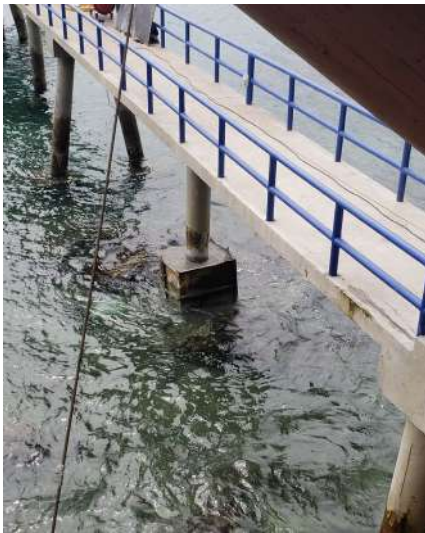


Figura 6: Aspecto final do bloco da ponte do píer.



Figura 7: Detalhe da Figura 12.



Figura 8 Aspecto final do bloco da ponte do píer.



Figura 9: Detalhe da Figura 14.



Figura 10 Aspecto final do bloco da ponte do píer.



Figura 11: Detalhe da Figura 16.

5. CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho pôde-se observar a importância dos procedimentos de recuperação e reparo. As estruturas de concreto podem atingir sua vida útil esperada devido à falha na concepção, planejamento e execução do projeto, manutenção e uso correto etc. As estruturas subaquáticas apresentam nível de agressividade ambiental nível III ou IV dependendo da sua localização, pois oferecem o risco mais elevado de deterioração para as estruturas de concreto cujas propriedades são expostas e cuja durabilidade é comprometida.

Este estudo apresentou algumas técnicas de reparo importantes na recuperação subaquática. Para isso, executou-se como primeiro passo o processo da inspeção subaquática, e dentro dessa sequência, destacam-se alguns ensaios tecnológicos que apontam para uma metodologia de reparo. O estudo de caso surge como uma experiência de observação e aplicação de algumas técnicas de reparo de estrutura submersa. Neste procedimento de reparo, é necessário determinar com cuidado o tipo de concreto a ser escolhido, as atividades de limpeza até a concretagem, o que requer o

acompanhamento do mergulhador. Também é preciso ter cuidado com o controle do tempo de injeção e lançamento do concreto submerso. Ao longo da recuperação, houve dificuldade para determinar um padrão de execução das atividades de recuperação, na medida em que cada profissional trabalha de uma maneira. É importante salientar que também são necessários mão de obra qualificada, equipamentos específicos e atenção ao tempo como um fator de extrema importância. Dependendo das condições climáticas, as obras subaquáticas podem sofrer vários tipos de problemas como atraso na execução relacionado à maré, ao vento, às ondas violentas etc. Além desse fator, que ocorre em qualquer intervenção, teve influência da maré? Era necessário esperar baixar pra instalar as fôrmas, etc.

6. REFERÊNCIAS

ABRAMS, M. S. (1971), Compressive strength of concrete at temperature to 1600 °F: SP 25 temperature and concrete. Detroit: American Concrete Institute.

ACI COMMITTEE 546 (1998), Guide to underwater repair of concrete. [S. I.]: American Concrete Institute.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). *NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação.*

GOMES, L. V. R. (2016) Estudo de métodos de ensaio e comportamento físico e mecânico de argamassas. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

HELENE, P. R. L (1992). Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2. ed. São Paulo: PINI p85.

LONG, M (2013). Etude des ouvrages maritimes et fluviaux renforcés par des matériaux composites. 2013. These (Docteur de l'université Spécialité Sciences pour l'ingénieur) – Université d'Artois, Arras, p 120.

MEHTA, P. K (1991). Concrete in the marine environment. Oxford: Elsevier Science Publishers.

NEVILLE, A. M (1997). Propriedades do concreto. 2. ed. São Paulo: Pini, p 85.

SOUZA, V.; RIPPER, T (2009). Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: PINI.

Análise de fissuras em edificações educacionais com sistema estrutural pré-moldado na cidade de Santa Rosa/RS

K. S. B, Chrischum (1); A. P, Maran (2)*; M. F. F, Menna Barreto (3); M. M, Copetti (4)

*Autor de Contacto: anapaulamaran@gmail.com

- (1) Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), Santa Rosa, Brasil.
- (2) Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Cachoeira do Sul, Brasil.
- (3) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGCI), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.
- (4) Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Cachoeira do Sul, Brasil.

RESUMO

A durabilidade das edificações é um fator fundamental a ser considerado durante a etapa de concepção, visando o desempenho das estruturas. As fissuras são manifestações patológicas de larga ocorrência em edificações, podendo apresentar os primeiros sinais de degradação.. As fissuras podem surgir de várias formas e com diversas tipologias, gerando desconforto ao usuário ou, com maior gravidade, apontar a instabilidade estrutural da edificação. Sendo assim, este trabalho busca analisar a presença deste tipo de manifestação patológica recorrente em construções por meio de um estudo de caso em um imóvel edificado com o sistema construtivo pré-moldado em Santa Rosa/RS. A ocorrência de fissuras neste sistema é ocasionada pela movimentação estrutural e características dos materiais componentes, como a interface de alvenarias e elementos estruturais.

Palavra-Chave: Durabilidade; Manifestações Patológicas; Fissuras; Estruturas Pré-moldadas.

ABSTRACT

The durability of buildings is a fundamental factor to be considered during the design stage, aiming at the performance of the structures. Over time, buildings can present pathological manifestations, where fissures are more frequent. Cracks can arise in various ways and with different types, which can cause discomfort to the user or, with greater severity, point to the structural instability of the building. Therefore, this work seeks to analyze this type of recurrent manifestation in buildings through a case study in a building built with the precast construction system in Santa Rosa/RS. The presence of cracks in this system occurred by the structural movement and characteristics of the component materials, such as the masonry interface and structural elements.

Keywords: Durability; Pathological Manifestations; Cracks; Precast Structures.

RESUMEN

La durabilidad de las edificaciones es un factor fundamental a considerar durante la etapa de diseño, apuntando al desempeño de las estructuras. Con el tiempo, los edificios pueden mostrar manifestaciones patológicas, donde las grietas son más comunes. Las fisuras pueden presentarse de diversas formas y de diferente tipo, que pueden provocar molestias al usuario o, con mayor gravedad, señalar la inestabilidad estructural del edificio. Así, este trabajo busca analizar la presencia de este tipo de manifestación recurrente en construcciones a través de un estudio de caso en un edificio construido con el sistema constructivo prefabricado en Santa Rosa / RS. La aparición de grietas en este sistema es causada por el movimiento estructural y las características de los materiales componentes, como la interfaz de mampostería y los elementos estructurales.

Palabra clave: Durabilidad; Manifestaciones Patológicas; Fisuras; Estructuras Premoldeadas.

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, cada tipo de material ou sistema construtivo a ser empregado tem suas características próprias, que influenciam com maior ou menor intensidade a tipologia da edificação e atributos particulares. A NBR 9062 (ABNT, 2017), que indica parâmetros para projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, define o sistema como “peças executadas industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obras, sob condições rigorosas de controle de qualidade”.

Para Pederiva (2009), a racionalização obtida com esse sistema permite que os materiais sejam mais aproveitados, sem a demanda de profundas alterações tecnológicas. Assim, as obras pré-moldadas proporcionam maior rapidez de execução, controle de qualidade, projetos de modulação e relativo nível organizacional de produção.

Apesar do maior controle, este tipo de sistema também apresenta manifestações patológicas recorrentes. Assim, o diagnóstico e recuperação dessas manifestações são necessários como forma de evitar a degradação precoce da edificação. Além disso, a análise de anomalias em ambientes de caráter educacional por muitas vezes se torna difícil, pela escassez de manutenção e uso intensivo da edificação, ocasionando elevado grau de degradação (Azzalin, 2005), independentemente do sistema aplicado.

Segundo Verçoza (1991), quando se conhece os problemas ou defeitos que uma construção pode vir a apresentar e suas causas, a chance de cometê-los reduz significativamente. Sendo assim, o

estudo dos mecanismos, sintomas, causas e origens destes problemas é fundamental na manutenção e durabilidade das edificações (Cánovas, 1988).

Como diversos trabalhos apontam as fissuras como principal manifestação patológica recorrente no sistema pré-moldado (Tomé, 2010; Araujo, 2017; Ramos et al., 2018; Carvalho, 2019), este trabalho visa o estudo focado neste tipo de dano.

Para Menegatti (2008), a prevenção de fissuras exige um controle sistemático e eficiente da qualidade dos materiais e serviços, assim como a harmonia entre projeto, execução e manutenção. A presença de fissuras pode servir de alerta sobre danos mais preocupantes na edificação (Thomaz, 1989), além de atingir os usuários de maneira psicológica, através da sensação incômoda visual que remete à um problema de segurança (Antunes, 2010). Ademais, a constatação de fissuras na edificação também facilita a degradação da estrutura e os outros sistemas, como os componentes de alvenaria e revestimento.

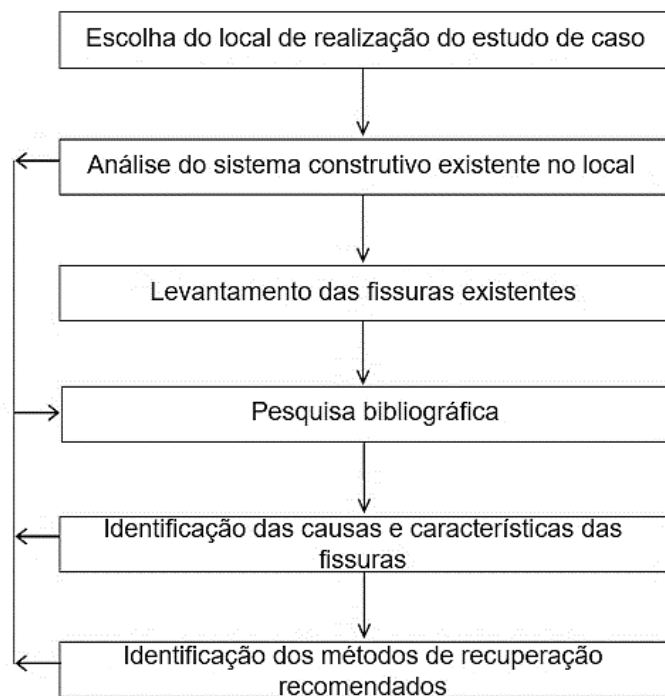
As manifestações patológicas comumente encontradas em sistemas pré-fabricados podem ser provenientes da falha do planejamento, projeto, produção e execução, assim como fatores climáticos, características dos materiais combinados a outros sistemas e deslocamento da estrutura, entre outros. Dentre as manifestações patológicas presentes neste tipo de sistema, as fissuras apresentam ocorrência frequente, podendo ser decorrentes pela retração, variação de temperatura, esforços de tração, compressão e torção, além de recalques de fundações e movimentações higroscópicas (Camaduro e Zatt, 2000).

Dentro desse contexto, o objetivo desse trabalho foi analisar as manifestações patológicas quanto às fissuras incidentes em um conjunto de edificações destinado a atividades educacionais, executado em sistema pré-moldado, situado no município de Santa Rosa/RS, apresentando o diagnóstico com as possíveis causas e a indicação de possíveis reparos, como forma de amenizar os danos já existentes, prevenir seu agravamento e o desenvolvimento de outras manifestações e garantir o melhor desempenho da edificação.

2. PROCEDIMENTO

A obra estudada é um conjunto de edificações destinado a atividades dividido em três blocos, onde as observações das manifestações patológicas ocorreram em todas as salas destinadas às atividades acadêmicas de aulas, junto aos blocos A e B do *campus* Santa Rosa/RS. A edificação analisada foi construída em sistema estrutural pré-moldado em esqueleto, combinado com alvenaria de vedação executada em tijolos cerâmicos furados e sistema de lajes em duplo T.

A metodologia adotada para o desenvolvimento do estudo é composta pelas etapas de levantamento das manifestações patológicas através de avaliação visual *in loco*, o diagnóstico das manifestações encontradas e, por fim, a definição de métodos de recuperação, conforme mostra a Figura 1.



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a inspeção visual e através de documentação fotográfica, realizou-se o registro das principais tipologias de fissuras encontradas, a fim de determinar, em função de suas características, as suas causas e métodos de recuperação, conforme segue.

3.1 Fissuras à 45° em alvenaria

As fissuras à 45° em alvenarias de vedação, presentes em edifícios com estrutura reticulada, podem ser ocasionadas em função da junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeitos a movimentação térmica dos elementos. Outro fator que pode ser considerado para esta tipologia é a acomodação da estrutura, ocasionando a deformação excessiva (Sampaio, 2010). A incompatibilidade entre propriedades dos blocos de vedação e argamassa de assentamento também pode ser considerada como causa, visto que a fissura acompanha a interface entre esses materiais. Este tipo de fissura é mostrado na Figura 2.

Para a recuperação, inicialmente, deve-se verificar se a estrutura está estabilizada quanto às movimentações, para então realizar o processo de reparo. O método de Tomé (2010) pode ser empregado neste caso, realizando a aplicação de material selante flexível, para a possibilidade de acompanhamento do reparo em caso de movimentações, evitando maiores danos. No caso de paredes com revestimento em argamassa, pode-se ainda realizar a colocação de uma tela sobre a trinca e posterior pintura.



Figura 2: Fissuras a 45° em alvenaria (autoria própria)

3.2 Fissuras no encontro dos elementos

O destacamento vertical entre as alvenarias e o reticulado estrutural pode ser ocasionado por movimentação térmica diferencial, falta de itens de amarração dos planos, comportamento estrutural e deformações desiguais (Figura 3).



Figura 3: Fissuras de destacamento entre ligações de estrutura/vedação (autoria própria)

A parede de alvenaria e os elementos de concreto são dois conjuntos distintos, com composições e características diferentes e com isso, irão se deformar de maneira diferente de acordo com os esforços solicitantes (de força e temperatura). Deste modo, é necessário utilizar-se de um artifício que promova rigidez no encontro da parede com o pilar. Para isso, pode-se empregar o uso de telas, inseridas a cada duas fiadas no assentamento da unidade da alvenaria, e quando possível, utilizá-las também na argamassa de revestimento, transpassando os elementos aproximadamente em 20 cm para cada lado, como mostra a Figura 4.

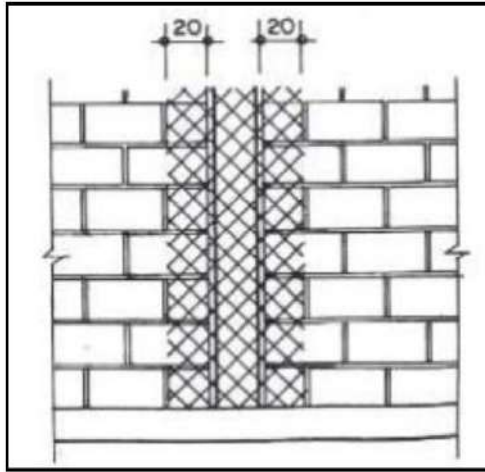


Figura 4: Técnica de recuperação entre pilar e alvenaria (THOMAS, 1989)

No caso da Figura 3, como a estrutura ainda pode sofrer movimentações, recomenda-se a utilização de materiais flexíveis para o preenchimento/tratamento das fissuras já aparentes. Esta aplicação garantirá a vedação completa das fissuras, além de permitir a movimentação entre os materiais sem aparecimento de novos danos.



Figura 5: Fissura no encontro dos elementos (autoria própria)

Uma das soluções previstas para esta manifestação patológica é a vedação das juntas já existentes, e para isso, pode-se utilizar produtos selantes de alto desempenho, tornando a união dos elementos mais resistentes e diminuindo a probabilidade de ocorrência dessa manifestação.

Os selantes atuam como uma barreira eficaz contra a passagem de calor, luz, som, água, vapor e poeira, devendo resistir e absorver dilatações, deformações e vibrações. Este tipo de selante apresenta comportamento elástico, ou seja, ocorre as deformações proporcionais às tensões aplicadas e retornam ao seu estado original após o término destas tensões (Oliveira, 2013).

3.3 Fissuras horizontais em alvenarias

As causas deste tipo de fissuração (Figura 5) podem estar associadas a movimentação higroscópica do material, a partir da presença de umidade. Pode-se associar esta causa, uma vez que as fissuras horizontais observadas se encontram próximas ao piso e em parte da edificação em contato com o solo.



Figura 6: Fissuras horizontais (autoria própria)

As fissuras causadas por movimentações higroscópicas são semelhantes às fissuras ocasionadas por movimentação térmica. Ambas são consequência de deformações provocadas por variações volumétricas (expansão e contração). O aumento do teor de umidade produz uma expansão do material enquanto a diminuição provoca uma contração deste material, podendo causar esse tipo de fissuração.

Uma indicação para recuperação desta manifestação é a retirada do revestimento e impedimento da ação de umidade. Desta forma, após limpeza da base é possível utilizar impermeabilizantes cristalizantes, por exemplo (SOCOLOSKI, 2015) e após o período de aplicação revestir novamente a parede com argamassa.

3.4 Fissuras sobre vigas

Observou-se a incidência de manifestações patológicas originadas por esmagamento dos elementos estruturais, como mostra a Figura 7. Segundo Helene (1992), este tipo de fissura representa a possível sobrecarga em pontos localizados na estrutura.

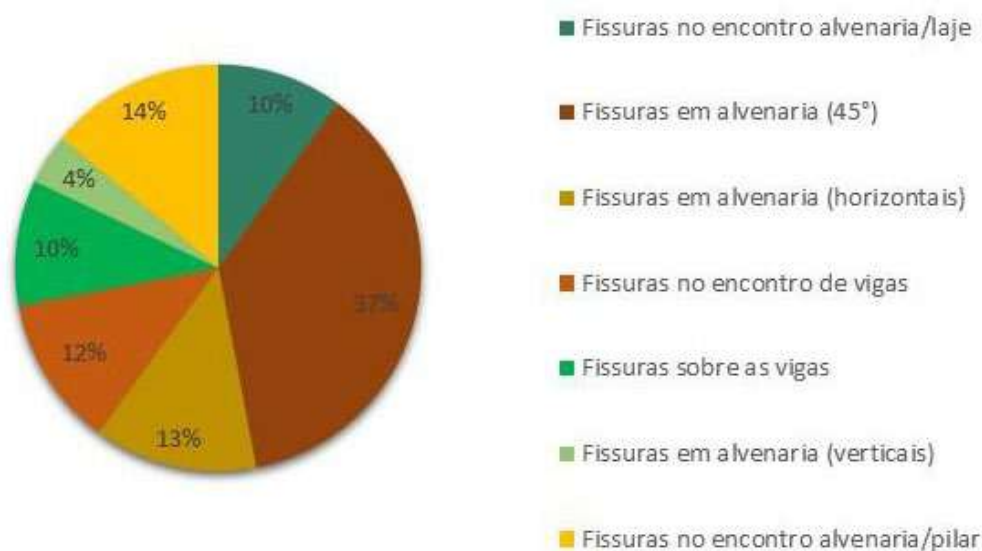


Figura 7: Fissuras sobre as vigas (autoria própria)

Para a recuperação deste tipo de fissura, deve ser realizada a retirada do revestimento e aplicação de nova argamassa e posterior pintura. Cabe salientar que esta manifestação deve ser acompanhada, a fim de verificar se o dano surgiu de forma pontual por acomodação do sistema estrutural/vedação ou se representa um possível problema estrutural ativo.

3.5 Análise de incidência de fissuras nas edificações

O gráfico apresentado na Figura 8 mostra a incidência de fissuras encontradas de acordo com as características apresentadas anteriormente. Pode-se verificar que o maior índice de fissuras existentes corresponde àquelas que possuem aberturas com inclinação de aproximadamente 45° em alvenaria devido a incompatibilidade do material de vedação e argamassa de assentamento.



De um modo geral, para a indicação de recuperação das manifestações patológicas foram considerados métodos para a não reincidência das fissuras a partir do tipo de ocorrência. De forma geral, recomenda-se a limpeza do substrato onde se encontra a fissura e da abertura e a aplicação de material flexível. Como exemplo, o uso de selantes a base de poliuretano é indicado devido a propriedades como a adesão inicial e secagem rápida, além de proporcionar uma barreira contra umidade e demais fatores externos de degradação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao concluir esta pesquisa, pode-se perceber que a presença de fissuras na edificação pode ter origem na concepção do sistema estrutural, assim como a sua associação com os demais elementos do sistema construtivo. A natureza das fissuras encontradas não traz risco a estabilidade estrutural da edificação a curto prazo. Entretanto, a possibilidade de infiltrações e a ação de outros agentes agressivos pode resultar, a médio e longo prazo, consequências mais sérias. Com isso, a recuperação deste tipo de manifestação se faz necessária como medida preventiva.

As principais incidências das manifestações identificadas são geradas em função de diversos fatores, podendo citar os fatores climáticos e de vibrações constantes na edificação, causando a movimentação da estrutura.

As divergências encontradas relacionadas às necessidades de materiais e componentes específicos para a ligação dos sistemas entre si, proporcionam o surgimento de fissuras.

As soluções encontradas são de fácil recuperação e execução, necessitando apenas de um projeto de manutenção do imóvel, realizado por um profissional especializado, a fim de garantir a durabilidade dos materiais, seguindo as devidas recomendações de cada fabricante.

Por fim, pode-se concluir que independente do sistema estrutural a ser utilizado, a preocupação com todos os fatores que podem vir a gerar quaisquer tipos de problema na edificação, deve ser um fator de extrema relevância, tanto na execução do projeto, quanto na elaboração do plano de manutenção deste imóvel, pois independentemente do tipo de manifestação patológicas, sempre haverá prejuízos e danos, tanto para a vida útil da estrutura, quanto para os usuários.

5. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro, 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575 – Desempenho de edificações habitacionais*. Rio de Janeiro, 2021.

Antunes, G. R. (2010), *Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, p. 178.

Araújo, M. E. S. O. (2017), *“Análise das manifestações patológicas em edificações escolares pré-fabricadas na cidade de Campinas/SP”*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, Brasil. p. 144.

Azzalin, M. (2005), *“Building pathology database and maintenance approach in a well-defined contexto: Calabrian historical centers”*. 10th DBMC Internacional Conference on Durability of Building Materials and Component, Lyon: France, pp 988-994.

Camaduro, I, W. JR. Zatt, P. J. R. (2000), *“Um estudo sobre fissuras em concreto armado”*. Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá. Maringá, Paraná. 6f.

Cánovas, M. F. (1988), *“Patologia e terapia do concreto armado”*. São Paulo, Editora Pini.

Carvalho, R. B. (2019), "*Patologias em estruturas pré-moldadas em concreto: estudo de caso nas cidades de Palhoça-SC e São José-SC*". Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil. p.99.

Helene, P. R. L. (1992), "*Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*". 2ª ed. São Paulo.

Oliveira, D. F. (2013), "*Levantamento de causa de patologias na construção civil*". Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, agosto de 2013.

Menegatti, J. B. (2008). "*Fissuras em fachadas: análise e incidência em edifícios na cidade de Chapecó-SC*". Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Unochapecó, Chapecó, Brasil.

Pederiva, P. F. (2009), "*Comparação de custos envolvidos na construção de pavilhões com estruturas pré-moldadas e moldadas in loco*". Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Ijuí, RS: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, p. 65.

Ramos, M. M, Nascimento, M. L. M. Pereira, V. L. (2018), "*Manifestações patológicas em estrutura de concreto pré-fabricado: estudo de caso*". 6ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios (PATORREB). Rio de Janeiro, Brasil. p. 9.

Sampaio, M. B. (2010), "*Fissuras em edifícios residenciais em alvenaria estrutural*". Universidade de São Paulo, São Carlos.

Socoloski, R. F. (2015), "*Tratamento de umidade ascensional em paredes através de barreiras químicas por gravidade*". Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil. p. 138.

Thomaz E. (1996), "*Trincas em edifícios*". São Paulo, Editora Pini.

Thomaz, E. (2002), "*Trincas em Edifícios - Causas, Prevenção e Recuperação*". São Paulo Editora Pini, p.194.

Tomé, A. (2010), "*Investigação das manifestações patológicas encontradas das edificações pré-fabricadas da Unochapecó, campus Chapecó*". Chapecó, Brasil, p. 55.

Verçoza, E. J. (1991), "*Patologia das Edificações*". Porto Alegre, Editora Sagra, 172p.



AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE INIBIDORES DE CORROSÃO ANÓDICOS E CATÓDICOS NA PROTEÇÃO DE BARRAS DE AÇO INSERIDAS EM ARGAMASSA POLIMÉRICA E GRAUTE CIMENTÍCIO

J.E.A. Bezerra^{1*}, A.E.B. Cabral², O. Angel³.

*Autor de Contacto: joseemidiobezerra@outlook.com

¹ Universidade de Fortaleza, Centro de Ciências Tecnológicas. Fortaleza, Brasil

² Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Brasil.

³ Universidad Tecnologica Nacional. Córdoba, Argentina

RESUMO

Este artigo objetiva avaliar a eficiência de inibidores de corrosão em armaduras de concreto por análise comparativa de linhas de tendência dos potenciais de corrosão em duas barras de aço sem proteção, protegidas com nitritos ou zinco, inseridas em corpos de prova de concreto, argamassa polimérica e graute cimentício. Foram submetidos a ensaios induzidos com cloretos por ciclos de cinco dias de secagem em autoclave a 50 °C seguidos de umedecimento por imersão parcial em solução de 3,5 % de NaCl por dois dias. Os potenciais de corrosão foram medidos com voltímetro e semicélula de cobre/sulfato de cobre. Após 12 ciclos verificou-se que o melhor resultado foi alcançado com o aço protegido com nitrito inserido em graute cimentício.

Palavras chave: linha de tendência; potencial de corrosão; cloretos; graute; argamassa polimérica; inibidores de corrosão.

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo evaluar la eficiencia de inhibidores de corrosión en armaduras de concreto mediante análisis comparativo de líneas de tendencia de potenciales de corrosión en dos barras de acero desprotegidas, protegidas con nitritos o zinc, insertadas en probetas de concreto, mortero polimérico y lechada cementosa. Fueron sometidos a pruebas inducidas con cloruros mediante ciclos de cinco días de secado en autoclave a 50 °C, seguido de humedecimiento por inmersión parcial en una solución de NaCl al 3,5% durante dos días. Los potenciales de corrosión se midieron con un voltímetro y una media celda de cobre / sulfato de cobre. Luego de 12 ciclos se verificó que el mejor resultado se logró con el acero protegido con nitrito insertado en lechada cementosa.

ABSTRACT

This article aims to evaluate the efficiency of corrosion inhibitors in concrete reinforcement by comparative analysis of trend lines of corrosion potentials in two unprotected steel bars, protected with nitrites or zinc, inserted in concrete specimens, polymeric mortar and cementitious grout. They were submitted to tests induced with chlorides by cycles of five days of drying in an autoclave at 50 °C, followed by moistening by partial immersion in a 3.5% NaCl solution for two days. Corrosion potentials were measured with a voltmeter and copper/copper sulphate half-cell. After 12 cycles, it was verified that the best result was achieved with the steel protected with nitrite inserted in cementitious grout.

Keywords: *tendency line; corrosion potential; chlorides; grout; polymeric mortar; corrosion inhibitor.*

1. INTRODUÇÃO

A partir de março de 2004, quando entrou em uso a NBR 6118:2003, passou-se a usar concreto com fator água/cimento e Fck adequados para a agressividade ambiental. Até então, usava-se concreto com Fck de 20 MPa na construção de edifícios. Após vinte ou mais anos de uso, várias estruturas apresentaram fissuras estruturais provocadas pela expansão dos produtos da corrosão da armadura, e passaram a necessitar de reparos estruturais adequados. Para isto, são bastante usados os inibidores de corrosão comerciais à base de zinco que dão catódica ou à base de nitritos para a proteção anódica nas partes oxidadas da armadura. O recobrimento é geralmente feito com argamassas poliméricas ou graute cimentício. Os custos podem ser elevados e por isso, pesquisas sobre a eficiência dos inibidores de corrosão para o aço e dos materiais de reparos para o concreto são importantes, bem como para aumentar a durabilidade dos reparos.

A corrosão das armaduras do concreto é causada fundamentalmente pela carbonatação do concreto e pela interação com cloretos. A este respeito, Helene (2014) afirma que a perda da proteção natural da armadura proporcionada pelo cobrimento de concreto pode ocorrer por meio de diversos mecanismos sendo preponderantes a despassivação por carbonatação e por ação dos íons de cloro. Nas estruturas de concreto armado de edifícios e obras d'arte construídas nas áreas litorâneas, que estão submetidas ao aporte de névoas salinas

transportadas pelo vento, os cloretos destroem a película passivante e juntamente com a água e oxigênio provocam a corrosão da armadura. CASCUDO (1997)

Battagin (2010) citado por Borges (2015) afirma que os agentes agressivos que atacam a pasta de cimento no concreto são os sais de magnésio e sulfatos, enquanto os cloretos são responsáveis pela corrosão das armaduras. Os cloretos, devido a suas dimensões muito pequenas tem grande mobilidade no interior do concreto podendo chegar facilmente às armaduras.

Giudice (2016) afirma que a corrosão eletroquímica é na verdade uma rede de pilhas galvânicas em curto circuito dispostas sobre a superfície do metal e, como explicado por Rüsç (1975) e citado por Helene (1976), este mecanismo requer a existência de condutor, eletrólito, diferença de potencial elétrico e oxigênio para ocorrer e se manter.

No interior do concreto, inicialmente o aço está protegido pelo óxido formado na sua superfície pela combinação com álcalis do cimento, mas pode ser alterado pela carbonatação do concreto e por ataque de cloretos e sulfatos.

Segundo Giórv (2014) “é bem conhecida a capacidade do concreto de proteger armaduras contra a corrosão, que se deve principalmente pela passivação eletroquímica das armaduras na solução alcalina presente nos poros do concreto, no entanto, a corrosão pode começar quando a passividade é rompida, parcial ou completamente, seja devido à carbonatação ou à presença de cloretos”.

Este processo de corrosão do aço no concreto tem uma fase inicial, na qual os agentes agressivos modificam as condições do concreto no entorno da barra, despassivando-a e com isto permite a formação de uma célula de corrosão, responsável pela propagação da corrosão. Pazini e Meira, (2013), afirmam que os cloretos são os mais destruidores pela sua abundância nas áreas litorâneas onde localizam-se muitas estruturas de edifícios e por não se consumirem nas reações de oxirredução.

Porisso, é relevante estudar a eficácia dos materiais usados em reparos estruturais e, para isto, pode-se utilizar ensaios destrutivos e não destrutivos, tais como a medida da resistividade do material, dos potenciais de corrosão e da difusão de cloretos.

A resistividade, pode ser usada para estimar a probabilidade de corrosão e segundo o CEB 192/88 para o cimento Portland a 20 °C as condições da Tabela 1 podem ocorrer.

Tabela 1 Resistividade x Risco de corrosão. Fonte: CEB 192/88

Resistividade $k\Omega\text{cm}$	Probabilidade de corrosão
< 100	Risco desprezível
50 a 100	Risco baixo
10 a 50	Risco moderado
< 10	Risco alto

Da mesma forma, segundo Ribeiro e Cunha, (2018) a técnica da velocidade de pulso ultrassônico, permite obter informações sobre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão, podendo identificar vazios no interior do material. A este respeito, Posetieri e Gioia (2017) esclarecem que o ultrassom é uma onda que supera os 20 KHz e seria uma perturbação no meio em que se propaga, fazendo vibrar elasticamente as moléculas e átomos. Assim, a velocidade de pulso está relacionada com a qualidade do concreto e segundo a norma inglesa BS EM 1254-4/04, são admissíveis as seguintes condições (Tabela 2):

Tabela 2. Velocidade de pulso ultrassônico e qualidade do concreto. Fonte: BS EM 1254-4/04

Velocidade de pulso ultrassônico (m/s)	Qualidade do concreto
Maior do que 4.500 m/s	Excelente
Entre 4.500 e 3.500 m/s	Bom
Entre 3.500 e 3.000 m/s	Duvidoso
Entre 3.000 e 2.000 m/s	Ruim
Menor do que 2.000 m/s	Muito ruim

O método de medição dos potenciais de corrosão mede a carga negativa provocada pelo movimento de elétrons liberados pelos íons ferrosos que se movem pelo eletrólito formado no concreto, fornecendo assim, informações sobre o estado de corrosão da armadura, de acordo com Zerbino e Carrasco (2012).

“É uma técnica bastante utilizada para medidas em laboratório e campo, devido à sua praticidade e por demandar por simples aparato para sua realização, além de ser uma técnica não destrutiva” (RIBEIRO e CUNHA, 2018).

A norma ASTM – C 876/91 estabelece os seguintes parâmetros para a possibilidade de corrosão em armaduras de concreto com base no potencial de corrosão medidos com semicélula de cobre/sulfato de cobre e que são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 Potencial x Probabilidade de corrosão. Fonte: ASTM – C 876/91

Potenciais de corrosão com semicélula de Cu/SO ₄ Cu	Probabilidade de corrosão
$E_{corr} < -200$ mV	Menos de 5%
-200 mV $< E_{corr} < -350$ mV	Cerca de 50%
$E_{corr} > -350$	Mais de 95%

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar a eficiência dos inibidores de corrosão a base de zinco e a base de nitritos em barras de aço enseridas por argamassa polimérica e por graute cimentício em comparação com aquelas inseridas em concreto.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi planejado para obter-se medições dos potenciais de corrosão nos corpos de prova prismáticos de argamassa polimérica, graute e de concreto com $F_{ck} = 24$ MPa (NBR 9779/12) que servirá como base de referência. Todos os produtos são comercializados normalmente e de marcas diferentes.

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios acelerados de corrosão por ação de cloretos ascudoe acompanhados por medições semanais da evolução dos potenciais corrosão, por 12 ciclos de secagem (5 dias no forno `a 50 °C) e umedecimento em solução de NaCL a 3,5% (2 dias).

Desta forma se induz a corrosão da armadura por ação de cloretos de forma acelerada como constatado por vários pesquisadores, Cabral (2000), Cascudo (1991); Monteiro (1996); Vasconcelos (1997).

3.1 Caracterização dos materiais constituintes

Os dados referentes aos materiais empregados para a elaboração do concreto usado nos corpos de provas são os seguintes:

Cimento Portland CP II F 32, composto com adição de *filler* calcário entre 6% e 10%. *Blaine* superior a 2.600 cm²/g, resistência à compressão > 32 MPa aos 28 dias e atende à NBR 16697/18.

Areia grossa proveniente do Rio Chorozinho, na localidade de Criancó no estado do Ceará, com granulometria mostrada no Gráfico 1:

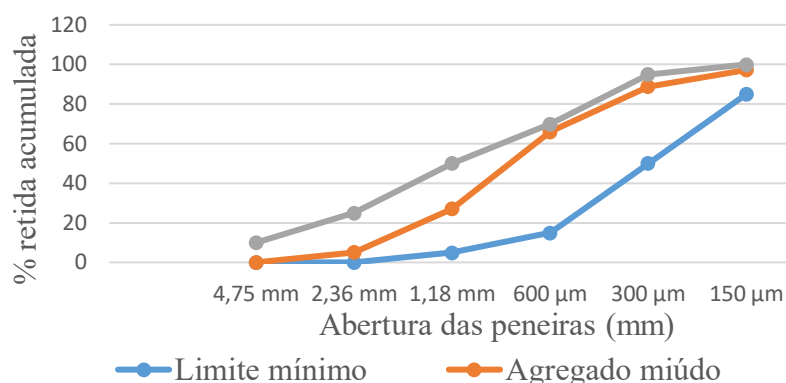


Gráfico 1: Análise granulométrica do agregado miúdo – NBR 7211/05. Autor (2019)

As propriedades desta areia estão expostas na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades físicas do agregado miúdo - NBR 7211/05. Fonte: O Autor (2019).

Ensaio realizado	Resultado	Norma de ensaio
Módulo de finura	2,77	NBR 7217/87
D máx. característica	2,36 mm	NBR 7217/87
Massa específica	2,62 g/cm ³	NBR 9776/87
Massa unitária	1,48 g/cm ³	NBR 7251/82
Teor de materiais pulverulentos	2,0%	NBR 7219/87

A brita tem diâmetro máximo nominal 9,5 mm e módulo de finura, 5,94, oriunda de Pacatuba, município da Região Metropolitana de Fortaleza tem granulometria de acordo com Gráfico 2.

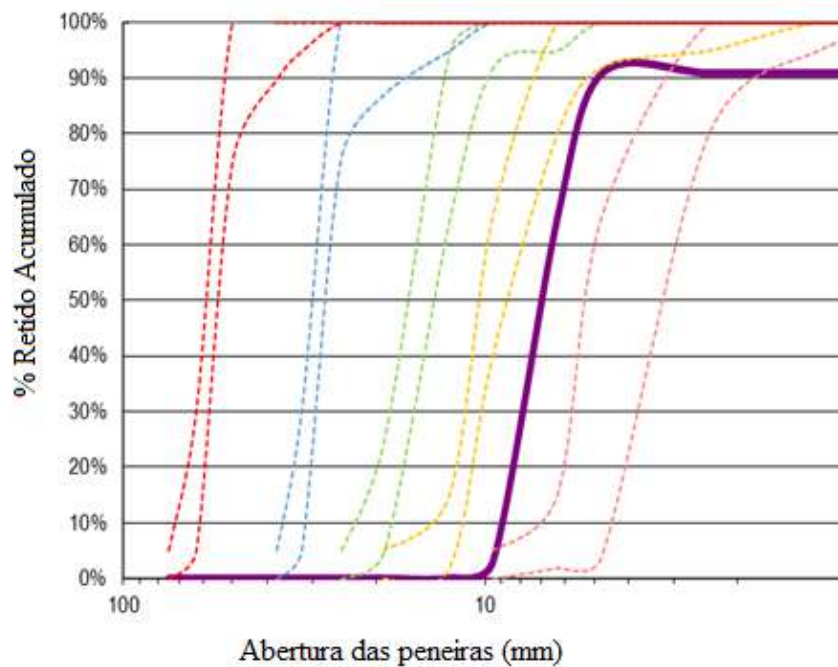


Gráfico 2: Gráfico 2 Análise granulométrica do agregado graúdo – ABNT NBR ISO 3310-1. Fonte: Autor

- Concreto no traço 1:2:3 em peso com fator a/c de 0,6 e consumo de cimento de 344 kg/m³, por ser o mais usado em estruturas com trinta anos de construção.
- Argamassa polimérica industrializada, cimentícia com agente adesivo acrílico, monocomponente de consistência tixotrópica.
- Graute industrializado, composto de cimento, agregados minerais e aditivo fluidificante, isento de cloretos e resistente à sulfatos.
- Aço CA 60 fabricado a partir do fio máquina (produto laminado a quente) com posterior processo de deformação a frio, como: trefilação ou laminação a frio. Trata-se de um aço com baixo teor de carbono que apresenta microestrutura composta de Perlita e Ferrita encruados pelo processo de deformação a frio. (ABNT, NBR 7480:2007)

Com estes materiais foram moldados corpos cilíndricos de concreto e de argamassa estrutural segundo a NBR 7215/96 para os ensaios de caracterização da absorção por imersão (NBR 9778/05), absorção por capilaridade (NBR 9779/12), difusão de cloretos (ASTM 1202/04 e ASTM C 1556/04), ensaios mecânicos como a resistência à compressão (NBR 9779/12) e módulo de elasticidade para argamassa polimérica e graute obtendo os seguintes resultados: (Tabela 5).

Tabela 5 Características dos materiais. Fonte: Autor (2019).

Ensaio / Material	Concreto	Argamassa	Graute
	1:2:3	Polimérica	Cimentício

Absorção de água por capilaridade (g/cm ²). S=19,64	0,47	0,26	0,31
Absorção de água por imersão. 72 hs. Ref (%)	7,96	6,68	8,13
Índice de vazios. 72 hs. Ref. (%)	20,8	6,28	17,54
Massa específica da amostra seca. 72 hs. Ref (%)	2,16	2,53	2,16
Massa específica da amostra saturada. 72 hs. Ref (%)	2,34	2,69	2,33

3.2 Ensaio Acelerado de corrosão por indução de cloretos

As barras de aço foram limpas com solução de ácido clorídrico 1:1 com 3,5% de Hexametilanotetramina, conforme a ASTM G – 1/03. Posteriormente, um terço das barras foram pintadas com produto a base de zinco e outro terço foram pintadas com o produto a base de nitrito no comprimento de 5 cm, deixando 4 cm sem pintura. As demais foram deixadas sem pintura. Os corpos de prova prismáticos têm as seguintes dimensões, mostrada na Figura 1.

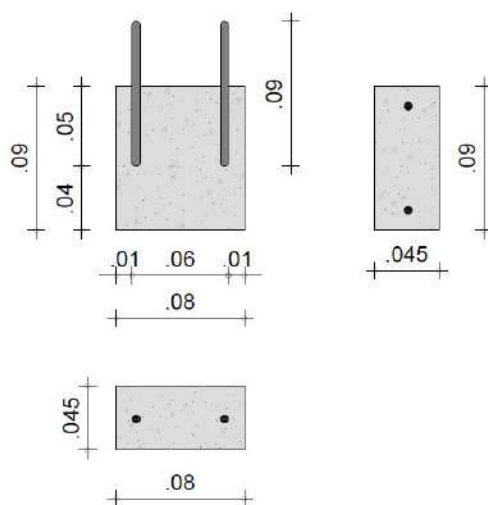


Figura 1 - Croquis do corpo de prova prismático (medidas em metro). Fonte: Autor (2019).

Após o período de cura úmida de cinco dias e 16 dias de cura ao ar, os corpos de provas foram pintados na base, no topo e nas laterais maiores, deixando as laterais menores (45x80 mm) desprotegidas para ataque pela solução de NaCl a 3,5%.

O ensaio teve início no 24º dia da moldagem colocando-os por cinco dias na estufa na temperatura de 50° C e feita a medição do potencial de corrosão. Em seguida, foram colocados numa bandeja contendo a solução até a metade da altura das barras de aço por dois dias e novamente medidos os potenciais de corrosão. Este procedimento foi repetido doze vezes.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade de Fortaleza, no primeiro semestre de 2019.

Para a medição da velocidade de pulso foi usado um aparelho emissor/receptor de pulso ultrassônico seguindo o princípio do dispositivo de Werner.

As resistências características à compressão foram obtidas através de ensaios de rompimento na prensa do Laboratório de Materiais de Compressão da Universidade de Fortaleza.

4. RESULTADOS

4.1 Resultados dos ensaios para caracterização dos materiais em relação à resistência à compressão, resistividade, velocidade de pulso ultrassônico e módulo de elasticidade e a indicação da quantidade de água em relação a cada material estão registrados na Tabela 6:

Tabela 6. Ensaio de Ultrassom. Fonte: Autor (2019).

Material	Fck	Resistividade	Pulso	Vp	Vs	BS EM	E	Relação
	MPa	KΩ.cm	μs	m/s	m/s	1244- 4/4	GPa	água/x
Concreto	25	38,4	47,4	2191,00	2191,00	Bom	27,28	0,60
Arg. Polimérica	33	20,1	51,0	2518,00	2518,00	Bom	36,92	0,15
Graute	40	20,5	53,3	2616,00	2616,00	Bom	28,93	0,17

4.2 Potenciais de corrosão

Estabelecidos as características dos materiais utilizados, pode-se avaliar a eficiência dos revestimentos inibidores de corrosão e dos materiais quando submetidos ao ataque de cloretos. O método escolhido foi indicado por oferecer resultados com boa precisão em períodos curtos. Assim, após doze ciclos foram obtidos os dados referentes a evolução dos potenciais de corrosão nos corpos de prova prismáticos de concreto, de argamassa polimérica e de graute, com barras de aço CA-60. As evoluções dos potenciais de corrosão são apresentadas nos gráficos a seguir. Os resultados para os ferros sem proteção estão no Gráfico 3.

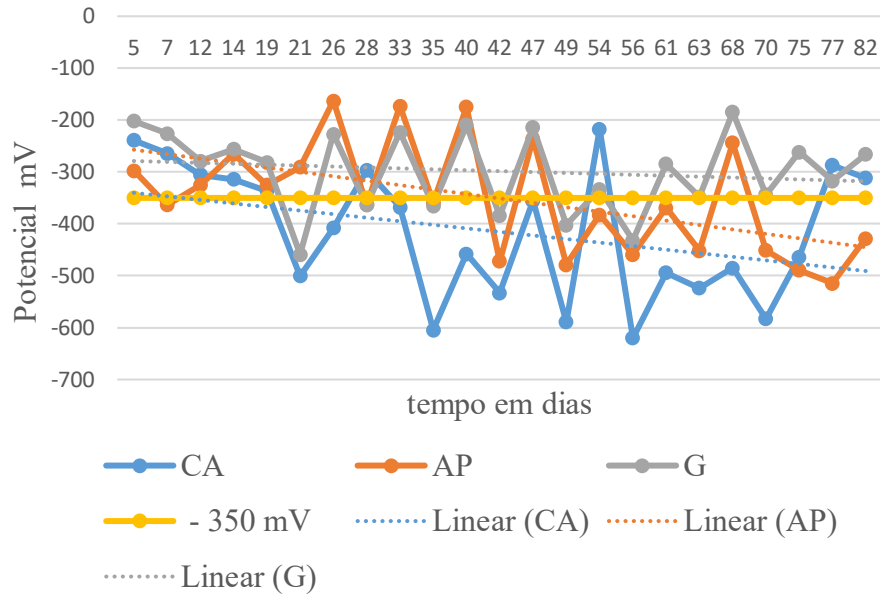


Gráfico 3: Linha de tendência dos potenciais de corrosão, para as barras de aço ao natural, sem pintura de proteção. Fonte: Autor (2020).

Os resultados dos ensaios feitos com as barras com proteção anódica tiveram o seguinte comportamento:

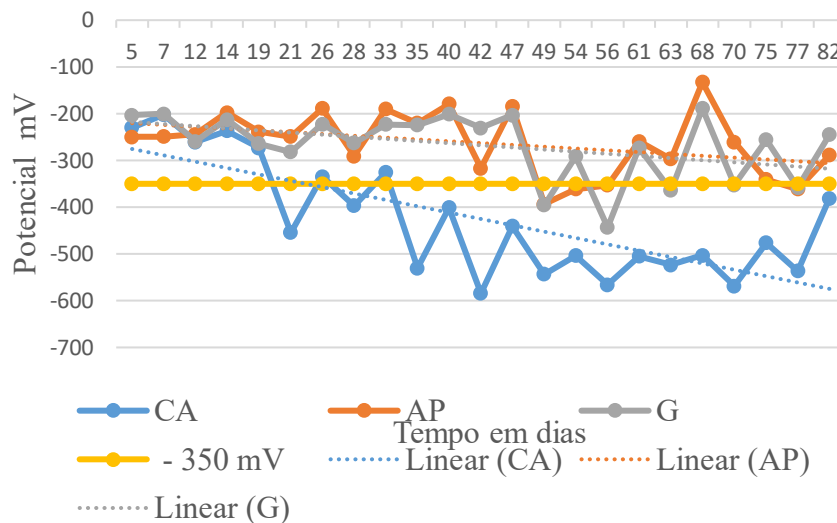


Gráfico 4: Linha de tendência dos potenciais de corrosão, para as barras de aço protegidas com pintura à base de nitritos. Fonte: Autor (2020).

Os resultados dos ensaios feitos com as barras com proteção catódica são expostos no Gráfico 5:

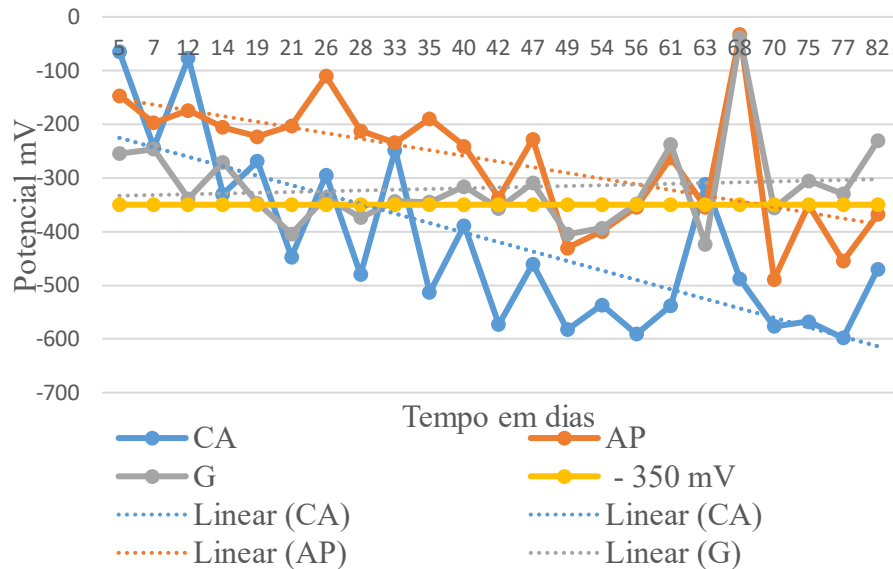


Gráfico 5: Linha de tendência dos potenciais de corrosão, para as barras de aço protegidas com pintura à base de zinco. Fonte: Autor (2020).

Com base nas linhas de tendência para que o potencial de corrosão atinja o valor de -350 mV quando a probabilidade de estar havendo corrosão nas barras de aço é de 95% foi elaborada a Tabela 7.

Tabela 7: Tempo (em dias) para atingir - 350 mV. Fonte: O Autor (2020).

Material	Tipo de proteção nas barras de aço		
	Sem proteção	Inibidor: Nitrito	Inibidor: Zinco
Concreto	7 dias	21	28
Argamassa Polimérica	42 dias	Não atingiu	68
Graute	Não atingiu	Não atingiu	Não atingiu

5. CONCLUSÕES

Os ensaios de caracterização dos materiais indicaram que todos os materiais empregados nesta pesquisa são adequados para reparos estruturais em concreto armado, porém, o ensaio de indução de corrosão por ataque de cloretos demonstrou que as barras de aço protegidas por revestimentos a base de nitritos e recobertas com graute cimentício obtiveram os melhores resultados, embora a proteção a base de zinco e o recobrimento com argamassa polimérica também apresentem bons desempenhos.

Recomenda-se que sejam feitas novas pesquisas com uma maior abrangência de marcas e fabricantes, inclusive com corpos de prova submetidos à principal causa de corrosão no concreto armado que é a carbonatação e em reparos parciais, onde as barras de aço ficam em contato com o concreto original e com os inibidores de corrosão.

Deve-se salientar que, atualmente, por força da Norma NBR 6118:14, são usados concretos mais resistentes na construção das estruturas, porém, esta classe de resistência para o concreto, entre 20 a 25 MPa foi bastante usada há cerca de trinta anos e são as estruturas que atualmente estão apresentando mais ocorrências de fissuração por corrosão da armadura.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto armado – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). NBR 9204: *Concreto endurecido – Determinação da resistividade elétrica volumétrica – Método de ensaio, 12 p*. Rio de Janeiro
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). NBR 8522: *Módulo de elasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). NBR 5738: *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 9 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2007). NBR 5739: *Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro. 9 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). NBR 7211. *Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1991): NBR 11578: *Cimento Portland Composto*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR 8802: *Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica*. Rio de Janeiro, 8p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1993). NBR 95739: *Migração por cloretos, ensaios mecânicos como a resistência à compressão*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). NBR 9778: *Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro. 4 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). NBR 7480: *Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação*. São Paulo: ABNT.
- American Society For Test Materials. (1991): ASTM – C 876. *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete corrosion potential*.
- American Society For Test Materials. (2003). ASTM – G1: *Preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens*.
- BASF. “Manual Técnico”. (2017): <https://assets.master-builders-solutions.basf.com/pt-br. Acesso 29/05/2019>.
- Borges, I. F. (2015): “*Deterioração química e biológica do concreto*”. Dissertação de mestrado. Uberlândia: UFU.
- British Standards. EN 12504-4 (2000): *Testing Concrete. Determination of ultrasonic pulse velocity*. London.
- Cascudo, Osvaldo. (1997): “*O controle da corrosão das armaduras de concreto. Inspeção e técnicas eletroquímicas*”. São Paulo: Pini.
- Cimento.org. (2019). “*CP II F – Cimento Portland composto com Filer*”. Acesso 29/05/2019.<https://cimento.org/cp-ii-f-32-cimento-portland-composto-com-filer/>
- Giudice, Carlos. (2016). “*Corrosión Metálica y mecanismo de protección de los pigmentos inhibidores em pinturas*”. Notas de aulas. Fortaleza: UFC.

- Gjov. Odd E. (2014). *“Durability and design of concrete structures in several environments”*. Oslo: CRC Press. 2 ed.
- Helene, P.R.L. (2014). *“A Nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto armado”*. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/185.pdf>
- Helene, P.R.L. (1976). *“Corrosão em armaduras para concreto armado”* São Paulo: Pini.
- Pacheco, J.; Bilesky, P.; Morais, T.R.; Grando, F.; Helene, P.R. L. (2014). *“Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto”*. 56º IBRACON. ISSN 2175-8182. Natal: IBRACON.
- Pazini. E.F.; Meira, G.R. (2013). *“Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón”*. Boletín nº 6. Mérida: Alconpat Internacional.
- Posetiere. M.J., Gioia, C. (2017). *“Tecnología del Hormigón. Guia de Ensayos”*. Córdoba: Educo.
- Proceq S.A. (2015). Canin. *“Corrosion Analyzing Instrument. Operating instructions”*. Switzerland. Schwerzenbach.
- Proceq S.A. (2015). *“Pundit PL 200. Shear Wave Transducers 250 kHz. Operating Instructions”*. Switzerland. Schwerzenbach.
- Proceq S.A. (2015). *“Resipod Operating Instructions”*. Switzerland. Schwerzenbach.
- Ribeiro, D. V. e Cunha; M. P. T. (2018). *“Técnicas de avaliação e monitoramento da corrosão em estruturas de concreto armado. Corrosão e degradação em estruturas de concreto armado: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção”*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Vedacit.(2019).*“Manual Técnico, 48ª Edição”*.
<http://www.vedacit.com.br/uploads/biblioteca/manual-tecnico-vedacit-5.pdf>.
- Zerbino, R. L.; Carrasco, M.F. (2012). *“Hormigón endurecido. Ese material llamado hormigón”*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.

Performance analysis of gravity chemical blockers in the treatment of rising damp in masonry walls

R. Malaquias¹, G. Bruschi², D. Brisotto^{3*}

*Autor de Contacto: daiane.brisotto@ufsc.br

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Regional Integrada do Auto Uruguai e Missões, Erechim, Brasil

² Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS, Porto Alegre, Brasil

³ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianópolis, Brasil

ABSTRACT

The presence of moisture in buildings is a trigger for several pathological manifestations. Among these, the rising damp, caused by the moisture of the soil, that ascends on walls due to the poor execution or lack of watertight barriers and by the characteristics of the utilized materials, constitutes one of the main causes of the degradation of the constructions, especially the oldest ones. Among the various treatment approaches, the use of chemical barriers has been shown to be more effective compared to older techniques, as well as having inferior aesthetic impact on the building and being more versatile during execution. The objective of this work is the performance analysis of the rising damp treatment in walls, through the use of chemical blockers (i.e. crystallizing and water repellent) available in the Brazilian market, with the introduction by gravity. As there are no standardized tests for such a study, experiments conducted by other researchers were used as a reference. The evaluation of the rising damp was achieved by the calculation of the water absorption rate in the specimens, allied with the images obtained by the thermographic camera. From the results, it was concluded that the treatment did not completely reduce the pathology in the walls, but both products performed well and managed to reduce the water absorption rate considerably.

Palabras clave: Rising Damp; Pathology; Chemical barrier.

RESUMO

A presença de umidade nas edificações é desencadeante de diversas manifestações patológicas. Dentre estas, a umidade ascensional, originada pela umidade do solo que ascende pelas paredes devido à má execução ou falta de barreiras estanques e pelas próprias características dos materiais empregados, constitui uma das principais causas da degradação das construções, em especial as mais antigas. Dentre as diversas técnicas de tratamento, o uso de barreiras químicas tem demonstrado maior eficácia em relação às técnicas mais antigas, além de causar menor impacto estético à edificação e ser mais versátil durante a execução. O objetivo deste trabalho é a análise de desempenho do tratamento da umidade ascensional em paredes, através do uso de bloqueadores químicos cristalizantes e hidrofugantes disponíveis no mercado brasileiro, com a introdução dos mesmos por gravidade. A avaliação da umidade ascendente deu-se pelo cálculo da taxa de absorção de água nos corpos de prova, aliado com as imagens obtidas pela câmera termográfica. A partir dos resultados encontrados concluiu-se que o tratamento não reduziu por completo a patologia nas paredes, porém ambos os produtos obtiveram um bom desempenho, conseguindo reduzir consideravelmente as taxas de absorção de água.

Palavras chaves: Umidade ascensional; Patologia; Barreira química.

RESUMEN

La presencia de humedad en los edificios es el desencadenante de varias manifestaciones patológicas. Entre estos, la humedad ascendente, provocada por la humedad del suelo que asciende por los muros por mala ejecución o falta de barreras estancas y por las características de los materiales empleados, es una de las principales causas de la degradación de las construcciones, especialmente las más antiguas. Entre las diversas técnicas de tratamiento, se ha demostrado que el uso de barreras químicas es más eficaz que las técnicas más antiguas, además de provocar un menor impacto estético en el edificio y ser más versátil durante la ejecución. El objetivo de este trabajo es analizar el desempeño del tratamiento de la humedad ascendente en paredes, mediante el uso de bloqueadores químicos cristalizantes e hidrófugos disponibles en el mercado brasileño, con su introducción por gravedad. La evaluación de la humedad ascendente se realizó calculando la tasa de absorción de agua en las muestras, combinada con las imágenes obtenidas por la cámara termográfica. De los resultados encontrados se concluyó que el tratamiento no redujo por completo la patología en las paredes, sin embargo ambos productos obtuvieron un buen desempeño, logrando reducir considerablemente las tasas de absorción de agua.

Palabras clave: Humedad ascendente; Patología; Barreras químicas.

1. INTRODUCCIÓN

The presence of moisture in buildings is recurrent and can generate serious pathologies for the constructive system. Porous building materials (e.g. bricks and concrete) facilitate the transport of gases and liquids present in the environment and, in combination with other environmental factors, may lead to biological attacks, salt crystallization, chemical attacks, frost damage, etc (Sandrolini and Franzoni 2006; Bertolini, 2010). The development of these pathologies can occur due to poor execution or lack of waterproofing system, causing aesthetic impact and degradation of the structures and coatings. Furthermore, in the most serious cases, problems associated with human health (Franzoni, 2018).

As a consequence of the complexity of its treatment, one of the most challenging types of moisture manifestation is the rising damp. Worldly recognized, this phenomenon manifests itself when groundwater flows into the base of a construction and ascends through the pore structure by capillarity (Massari and Massari, 1993; Alfano, 2005; Henriques, 2007). Although it occurs with a certain frequency, it corresponds to a complex phenomenon with great behavioral unpredictability (Torres, 2014; Guimarães et al., 2016).

Many repair systems have been proposed to solve this problem. The main masonry repair techniques can be subdivided into four large groups conforming to their function (Henriques, 1994): (i) solutions to prevent the access of water from the ground; (ii) solutions to remove the excess water; (iii) solutions to stop water rising; and (iv) solutions to hide anomalies. When well adapted and executed, solutions to prevent the access of water from the ground are the most efficient repair technique in the treatment of rising damp. This solution can be performed either by reducing the absorbent section, increasing the base ventilation or through physical and chemical barriers. Although the system does not act as the origin of the phenomenon of capillary ascension, it prevents the water from reaching excessive capillary heights (Torres, 2013; Freitas et al., 2008). Currently, the implementation of chemical barriers is one of the most widely utilized methods to manage and solve the rising damp phenomena. This technique consists of creating holes in the wall along a horizontal profile, usually spaced 10 to 15 cm, as close to the ground as possible on one or both sides of the masonry, depending mainly on the wall thickness (Dreyer and Hecht, 2001; Alfano et al., 2006; Lubelli et al., 2013). The chemical additives introduced into the holes can function by filling the pores (creating a waterproof layer in the masonry) and/or making the pores water repellent (inhibiting capillary transport). Among the pore-filler substances, also known as crystallizers or cover-pores, acrylamides, epoxy resins, alkali silicates, and inorganic silicates stand out. As for water repellent products, the most preeminent types are the organometallics, siliconates, silicones, and siloxanes. These products can have an organic solvent or be aqueous solutions or emulsions in water, being found with different viscosities (liquid, cream and gel) (Lubelli et al., 2013; Socoloski and Masuero, 2019).

One of the main problems associated with the application of chemical barriers is the difficulty of introducing the product into the pores, since they are on a large scale, filled with water. In order to present effectiveness, the chemical product must interact with all pores and voids, creating a hydrophobic or impermeable horizontal layer that prevents the access of water. If the horizontal barrier is not continuous, the water can still flow and the ascending moisture will not be interrupted. Therefore, the introduction of the product, applied with pressure/injection or gravity feed/impregnation, should be implemented aiming the layering of the treated zones (Hees et al., 2018).

The application of chemical barriers by gravity feed or impregnation (Figure 1(a)) is based on the gravity force and the materials capillarity and can be performed by inserting the chemical products without complex apparatus (Torres, 2014). In accordance with most Brazilian manufacturers, the drilling must be performed at a 45° inclination and the holes should be saturated before the insertion of the products, promoting an improvement on the dispersal and consequently in the entire process (Socoloski, 2015). The application of the chemicals must be integral and continuous encompassing

the entire treated area. The non-intrusive behavior in conjunction with the versatility of this technique results in a worldwide acknowledgment of its usage in historical buildings. However, in order to demonstrate its efficiency, some years can be required (Carrio, 1997). In the application by injection, as shown in Figure 1 (b), the fluid is pumped onto the wall by pressure, using an injection pump with special nozzles that prevent the products retraction. Several sets of mouthpieces can be attached simultaneously to the injection pump or the injection can be executed independently (Luso, 2002). The injection pressure is not necessarily constant and can vary from applicator to applicator, but it must not exceed 0.4 MPa. This range prevents the possible degradation on the constituent materials of the treated walls (Henriques, 1994).

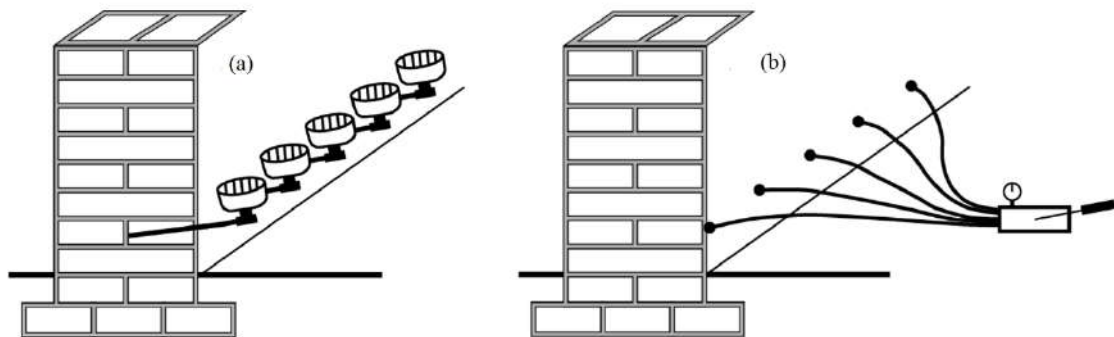


Figura 1. Introduction of chemical barriers: (a) by gravity and (b) by injection. Adapted from Henriques (1994).

The utilization of chemical barriers, either by injection or by gravity, has been widely investigated (Alfano et al., 2006; Freitas, 2014; Franzoni, 2014; Franzoni, 2018; Socoloski et al., 2019). The researches have been performed in the laboratory, on single building materials (Vanhellemon et al., 2008), assemblies of materials (Hacquebord et al., 2013) and on-site (Larsen, 2012). Although it is difficult to compare the results of different researches, considering that the experimental methods usually are not convergent, the available studies provide a valuable indication of the dispersal capacity and drying efficiency of the chemical products (Franzoni et al., 2016). The dispersal capacity should be seen as a key-factor for the creation of functional and steady chemical barriers, considering that a non-steady behavior may enable the capillary flow (Hacquebord et al., 2013). This capacity depends on the nature of the solvent and its water miscibility, as well as the chemical products viscosity. These factors are essential for the pore water displacement (I'Anson and Hoff, 1988).

Despite the existence of several methods and products to solve the rising damp problem, as discussed above, scientific research on their effectiveness, both in the laboratory and in the field, is still scarce. In addition to not being as effective as expected, the treatment solutions may aggravate the pathological manifestations if the decision-making process is inappropriate. Hence, there is substantial demand for experimental results that provide evidence on the functioning, effectiveness and limitations of these repair systems, allowing an improved comprehension of their behavior and consequently a higher success rate when applied in real masonry.

Within this context, this research aims to experimentally study the rising damp treatment on walls with the use of chemical barriers by gravity, through blocking products of distinct chemical bases. For this purpose, a crystallizing product (active silicate base) and a water repellent product (oligomeric silane-siloxanes based) were comparatively analyzed.

2. MATERIALS

In this study, six small walls were constructed with the use of ceramic solid bricks and multiuse industrialized mortar. The samples were submitted to the treatment procedure of rising damp with two different chemical-based blocking products.

2.1 Ceramic bricks

Solid ceramic bricks of 190 x 90 x 50 mm (with tolerances up to 3 mm in dimensions) were adopted. Since there was no technical standard for the water absorption test in solid bricks, NBR 15270 (ABNT, 2005) was applied as a substitution. Six samples were prepared following five steps: (i) removal of loose particles and dust; (ii) drying process at 105 °C for 24 hours; (iii) weighing for the determination of the dry mass parameter (d_m); (iv) immersion of each sample in water during 24 hours (in room temperature); and (v) new weighing for the determination of the wet mass parameter (w_m). The water absorption rate of the bricks (WA) is determined according to (1) and the results obtained can be visualized in Table 1.

$$WA(\%) = \frac{w_m - d_m}{d_m} \times 100 \quad (1)$$

Table 1. Bricks water absorption rate.

	Sample						Average (%)
	1	2	3	4	5	6	
Dry mass (g)	1605.48	1597.80	1587.41	1622.99	1586.27	1682.45	25,48
Wet mass (g)	1994.56	2021.41	2017.26	2043.88	2012.05	2057.58	
WA (%)	24.23	26.51	27.08	25.93	26.84	23.30	

2.2 Industrialized mortar

For the laying of the bricks a multiuse industrialized mortar was applied. The industrialized multiuse mortar was chosen due to the improved quality control of the product, avoiding possible variations in the results. This product is composed by Portland cement, mineral aggregates and chemical additives, with resistance to compression of 1.2 MPa and ratio of water/dry materials of 0.2. The mortar was prepared by mixing water until the suitable consistency and homogeneity parameters were achieved. The minimal consistency (i.e., 20 ± 5 cm) was determined following the NBR 13276 (ABNT, 2005). For the execution of the base of the walls, a mortar with 8 MPa resistance was utilized.

2.3 Chemical blockers

Initially a research was carried out on the available waterproofing products for the treatment of rising damp in the Brazilian industry. Only one product of each chemical base (one crystallizing and one water repellent) was chosen for the research, due to the low availability of water repellent products for this type of treatment. The crystallizing product, named product A, was commercially available in 1-liter and 25-liter containers. The water-repellent product, named product B, was offered only in 18-liter containers. The characterization of the chemical blockers, provided by the manufacturers, is presented in Table 2. The crystallizing chemical blocker was characterized

according to its pH and the rate of solids whereas the water repellent chemical blocker according to its pH and specific mass.

Table 2. Chemical blockers characterization.

Product	Ph	Active content	Specific mass	Manufacturer info
Crystallizing (A)	11	65%	-	Active silicate base
Water repellent (B)	6.5 to 8	-	1 kg/m ³	Oligomeric silane siloxane base

3. RESEARCH METHOD

3.1 Sample execution

In order to simulate a real wall, mini walls (50 x 50 x 9 cm) were molded according to the methodology presented by Socoloski (2015), which was based on the models of Rirsch and Zhang (2010) and Freitas et al. (2008). The dimensions adopted were the largest possible considering that they had to be carried by two people, not exceeding the limit of up to 50 kg. A total of six specimens were prepared, two for the application of the crystallizing product (PA1 and PA2), two for the water repellent product (PB1 and PB2) and two as reference (T1 and T2) without any chemical treatment.

The base of the constructed walls had approximately 50 millimeters of height, executed in a reinforced mortar, with 250 millimeters galvanized square mesh for the prevention of shear rupture. Steel bars were inserted into the mortar base, serving as hooks for the handling of the specimens, as shown in Figure 2(a). After 21 days curing process, the walls were constructed onto the bases. The specimens were composed by 2.5 bricks per row, totaling 8 rows, with vertical joints interspersed as in a real masonry, as shown in Figure 2(b).



Figure 2. (a) Wall base and (b) Finished wall.

The contact of the wall with soil moisture is given through the foundation, made of cementitious materials. The use of mortar is justified on its high permeability, when compared to concrete, accelerating the process of water rising.

3.2 Evaluation of the chemical products efficiency

3.2.1 Mass and water absorption rate

This test provided the main parameter on the performance analysis of the treatment against rising damp. The procedures were based on the research developed by Socoloski (2015), according to the following phases:

- a) Mass measurement of all specimens (dry mass before treatment), 21 days after their execution;
- b) Saturation of the mortar bases (Figure 3);
- c) Verification of the stabilization of the mass of the walls, which occurred between day 7 and 8, indicating the stabilization of the water absorption. Measurement of the walls mass on day 8 (wet mass before treatment);
- d) Computation of the water absorption rate before treatment, with the mass values obtained before and after the saturation of the bases;
- e) Treatment of the walls with chemical blockers, inserted at 45°, with holes at a height of 100 mm and spaced by 100 mm each, with a total of 5 holes per wall. In order to ensure the watertightness of the scheme, the product was inserted with a system of bottles, allowing the control of the speed and volume injection (Figure 4);
- f) New saturation of the bases (water layer of 50 mm) for 28 days. During this period the mass was measured at 7, 14 and 28 days respectively.
- g) After 28 days, the specimens were removed from the water and placed at room temperature until the stabilization of the mass, which occurred in 20 days. Mass measurement on the 20th day (dry mass after treatment);
- h) The saturation process of the bases was repeated, with the treated walls, to quantify the preventive action. After 8 days a new mass measurement (wet mass after treatment) was performed to calculate the water absorption rate after treatment.

The water absorption rate was calculated with the difference between the dry and wet mass, divided by the contact area of the walls and the mortar base, in accordance with Equation 2.

$$\text{Absorção rate} = \frac{w_m - d_m}{A} \quad (2)$$

Where “ w_m ” represents the wet mass of the wall, “ d_m ” the dry mass of the wall and “ A ” the contact area of the first row of bricks with the humidity.

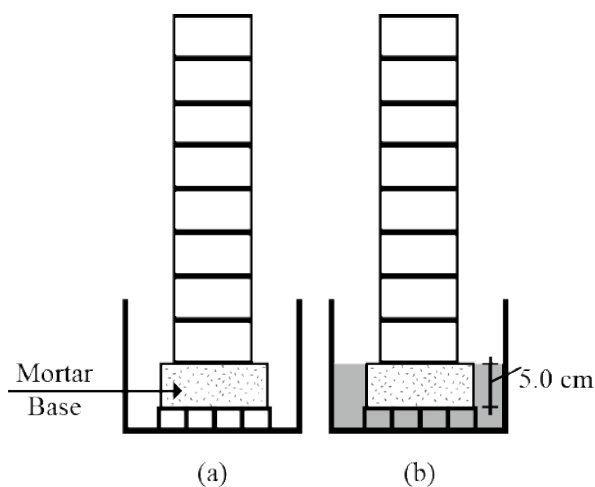


Figure 3. Specimen base saturation: (a) dry wall; (b) base in contact with water. Adapted from Socoloski (2015).



Figure 4. Application of waterproofing products

3.2.2 Thermography

The thermography test, considered as qualitative or complementary, allows the mapping of a region, distinguishing areas of different temperatures. Thus, this test was utilized to monitor the moisture distribution on the specimens.

The FLIR T440 thermographic camera was utilized and, during the image capturing, some parameters of the equipment were fixed, such as the emissivity (0.81) and the distance between the specimen and the camera (2 m), aiming an improved resolution. The atmospheric temperature measured by the camera, at the time of the experiment, was 23 °C. In addition, to improve the performance of the equipment, a dark background was assembled and installed behind the specimens, enhancing the sharpness of the images.

Using the software PSPP2018 the maximum and minimum wall temperatures were determined over the entire test period. The color scales adopted were the same for all images to allow the visual comparison. It is important to note that in this test, the camera provides only the recording of the temperature parameter, not including moisture rate or any other information. Thus, although the images contribute for a diagnosis, they are not necessarily decisive on the analysis.

3.2.3 Cost analysis

In order to evaluate the cost of executing this type of treatment, the value of each product was investigated, and its consumption was measured considering the thickness (90 mm) and length (1 m) of the tested walls. Therefore, it was possible to estimate which of the chemical blockers presented the best cost-benefit (*i.e.*, the lowest cost per linear meter of treated wall).

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Mass measurement and water absorption rate estimation

The mass of each tested specimen was recorded in order to calculate the absorption rate before and after the chemical treatment. The results are presented in Table 3 and Figure 5

Table 3. Mass measurement and water absorption rate before and after treatment.

Sample	Contact area (m ²)	Before treatment				After treatment				Average reduction (%)
		Dry mass - 21 days of cure after confection (kg)	Wet mass - 8 days of water contact with the base (kg)	Absorption rate (kg/m ²)		Dry mass - 21 days drying (kg)	Wet mass - 8 days of water contact with the base (kg)	Absorption rate (kg/m ²)		
				Per sample	Average			Per sample	Average	
T1	0.045	52.68	54.60	42.24	45.87	52.50	54.40	41.80	44.55	2.88
T2	0.045	51.65	53.90	49.50		51.60	53.75	47.30		
PA1	0.045	49.50	50.95	56.11	49.51	49.00	49.90	19.80	20.35	58.90
PA2	0.045	50.60	52.50	42.90		50.55	51.50	20.90		
PB1	0.045	47.90	50.45	31.90	36.85	47.60	48.25	14.30	11.00	70.15
PB2	0.045	48.50	50.45	41.80		48.20	48.55	7,0		

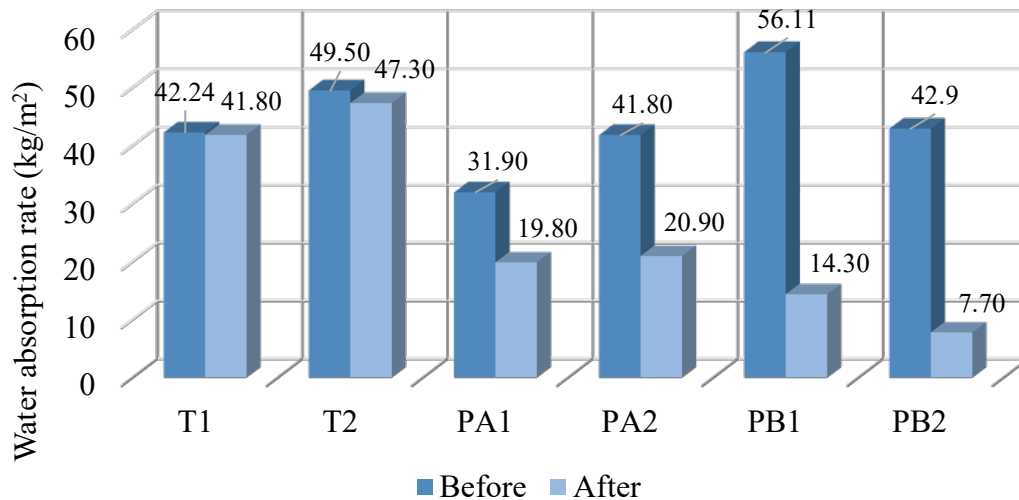


Figure 5. Mass measurement and water absorption rate before and after treatment.

The values in Table 3 demonstrate that before the beginning of treatment an increase in the specimens' mass occurred when exposed to humidity. However, according to Figure 5, the results show that both products were capable of considerably reducing the absorption rates of the treated specimens. The application of the crystallizing product resulted in an average reduction of 58.9% in the water absorption rate, while for the water repellent product this reduction was 70.15%. The fact that the control walls showed a small decrease in mass and, consequently, a decrease in the absorption rate (2.88%), was already expected due to the equivalence process evidenced between the evaporation and absorption rate and, since this research analyzed a miniature wall, the process occurred faster than it normally would when compared to a natural size construction.

Table 4. Specimens mass during treatment.

Specimen	Mass during treatment (kg)		
	7 days	14 days	28 days
T1	-	-	54.25
T2	-	-	53.55
PA1	50.85	50.20	49.80
PA2	52.30	51.65	51.35
PB1	49.75	48.95	48.45
PB2	50.30	49.65	49.20

The mass measurements during the treatment (7, 14 and 28 days after the blockers application) are shown in Table 4. The results are equivalent to the obtained by Socoloski (2015) for both types of chemical blockers, with the lowest mass values obtained at 28 days of saturation. This can be explained by the fact that, over time, the rate of evaporation exceeds the rate of absorption (this index decreases as the pores are crystallized or with water-repellent behavior due to the chemical action). In addition, the mass reduction was certainly superior with the water repellent product. These results can be visualized in Figure 6.

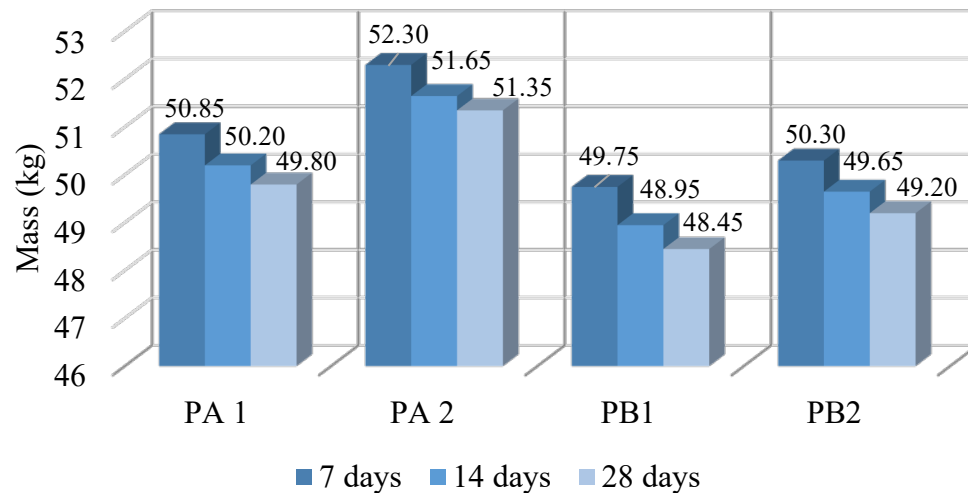


Figure 6 - Comparison between masses during treatment.

In pursuance of the performance evaluation of the products, for the prevention of the rising damp phenomenon, Figure 7 shows a comparison between wet mass before and after the treatment. Although prevention is not the main focus of the evaluated method, the results demonstrate the potential of using the products as a preventive resource in construction.

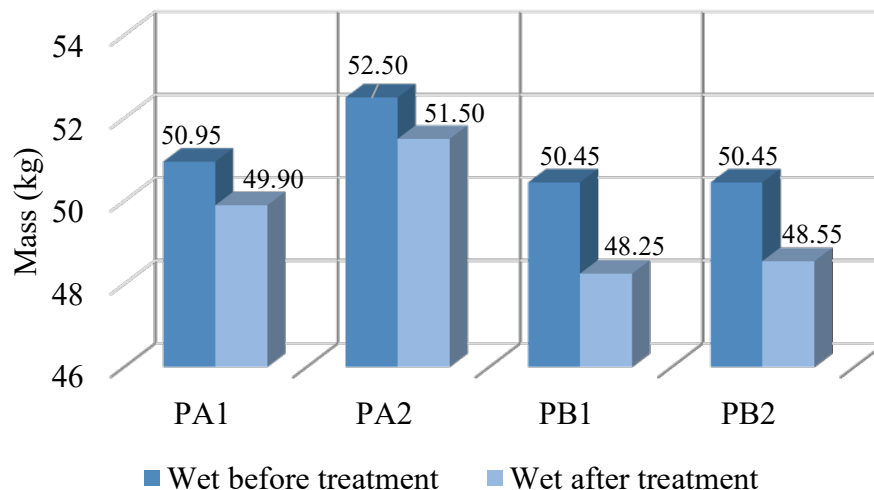


Figure 7 - Comparison between wet masses before and after treatment.

In order to confirm if the reductions in the absorption rate were significant, the results were statistically treated and analyzed using the variance method (ANOVA). The outcome is presented in Table 5 and classify the difference as significant.

Table 5 – ANOVA variance analysis.

		Square sum	Levels of freedom	Square mean	Fisher test	Significant
Absorption	Between groups	1199,11	2	599.55	47.95	Yes
	Within groups	37,51	3	12.50	-	-
	Total	1236,62	5	-	-	-

In order to verify the dissimilarities of the groups, the post-hoc Fischer test was performed. It was observed that, statistically, there was no significant difference between the results comparing the crystallizing and water repellent products. However, when compared to untreated samples (control group), a significant reduction in the average absorption rate was obtained, indicating the efficacy of the treatment (Figure 8).

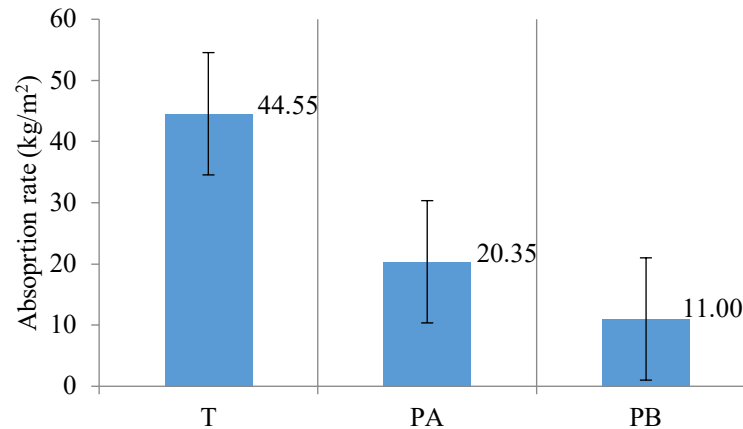


Figure 8 - Comparison between the average absorption rates after treatment

4.2 Thermography

The images obtained by the thermography test, Figures 9 to 12, qualitatively demonstrate the specimens temperature before the treatment (dry wall and wet wall) and at 28 days of treatment. Areas with lighter colors, orange tones, represent higher temperatures (i.e. drier regions).

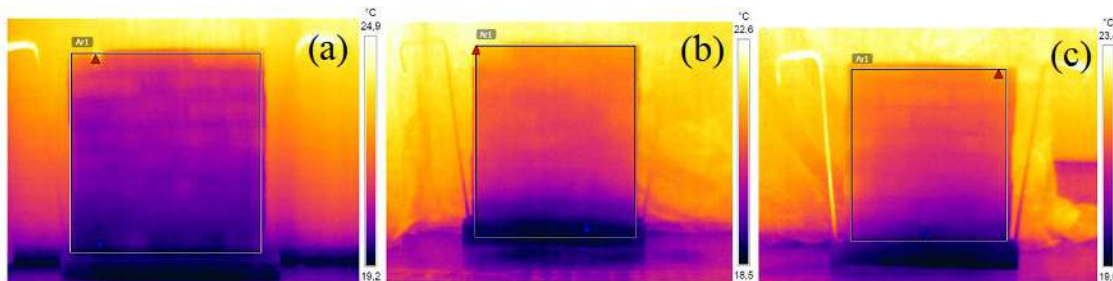


Figure 9. Sample PA1: a) dry wall; b) humid wall; and c) wall at 28 days

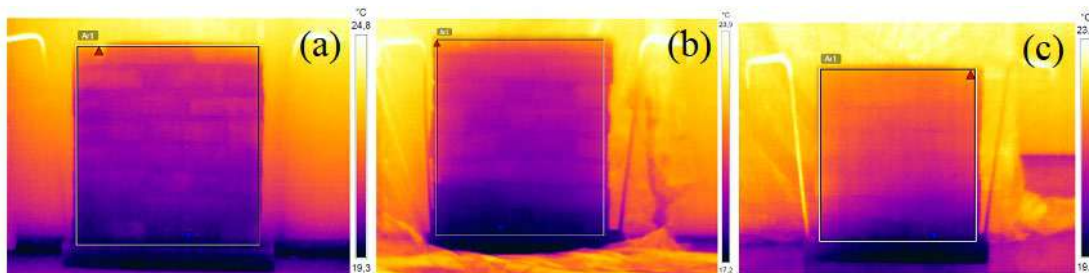


Figure 10. Sample PA2: a) dry wall; b) humid wall; and c) wall at 28 days

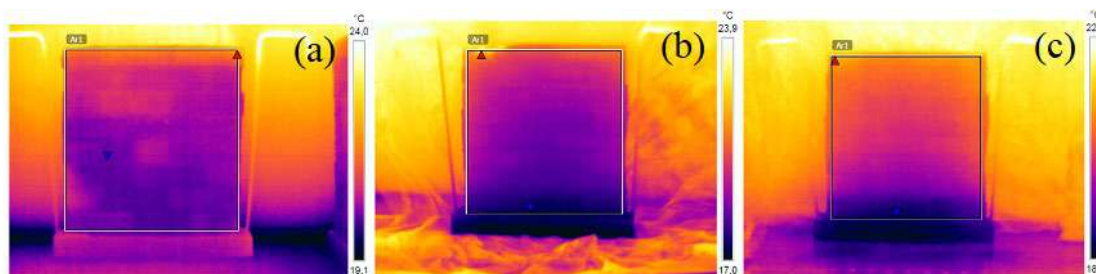


Figure 11 – Sample PB1: a) dry wall; b) humid wall; and c) wall at 28 days

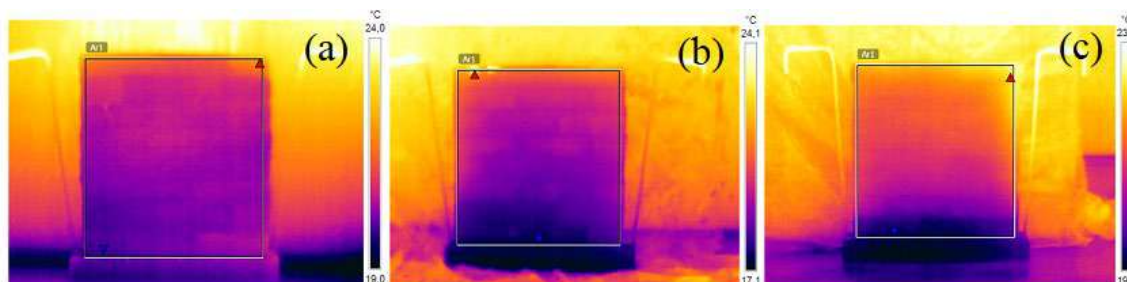


Figure 12– Sample PB2: a) dry wall; b) humid wall; and c) wall at 28 days

In general, the images initially show that, before the treatment and with the dry wall, there was moisture distributed throughout the entire wall, except in the top part and on the edges, due to the greater air contact of these locations. After the saturation of the bases, the walls show an accentuated dark blue band, near the base, which characterizes the presence of ascensional humidity. At 28 days of treatment, a reduction of the moisture range was observed, indicating a favorable outcome of the applied products.

4.3 Cost analysis

When analyzing the performance of the products, both were absorbed by the walls in a period of approximately 1 day, with a consumption per hole of 125 ml for product A (crystallizing) and 60 ml for product B (water repellent). Although the reduction in the water absorption rate, caused by the two products, did not show a statistical difference, the water repellent product presented the best cost-benefit, reaching almost 1/5 of the value of the crystallizing product, as shown in Table 7.

Table 7. Cost analysis

Analysis Parameter	Product	
	A (Crystallizing)	B (Water repellent)
Packing volume (L)	1.00	25.00
Price (R\$)	36.50	595.00
Consumption (l/m)	1.25	0.60
Cost (R\$/m)	45.63	6.30

The cost per linear meter of the water repellent product was R\$ 6.30, while for the crystallizing product it reached R\$ 29.75, representing an increase of more than 4 times.

5. CONCLUSIONS

In order to experimentally investigate the performance of chemical blocking products (crystallizing and water repellent) for the treatment of the rising damp, 6 specimens were molded, and mass and thermography measurements were performed before, during and after the application of the products. It was verified that both products presented a significant reduction in the average water absorption rates of the specimens.

The crystallizing product generated an average reduction, when compared to the untreated walls, of 32% in the water absorption rate, while the water repellent product 28.18%. However, statistically, this difference was not significant, indicating that both present the same performance. Regarding the cost-benefit (a decisive factor in the selection of the blocker), it was concluded that the water repellent product had an advantage over the crystallizing, with a cost about 5 times lower. Although the injection system, utilized in this research, was designed to prevent leakage and to control the application velocity, the injection was occasionally obstructed during the application of the crystallizing product, showing the necessity of studying the ideal injection speed. The execution of this technique outside the laboratory environment would probably generate ergonomics problems, due to its complexity on the equipment scope. The necessity of studies on new methods of product application is presented as indispensable on the creation of a more practical *in situ* system.

Finally, it should be noted that the occurrence of rising damp is not a simple pathology and the search for knowledge and new techniques, that can improve the performance of buildings and reduce treatment costs, is of great importance.

6. REFERENCIAS

Alfano, G., Chiancarella, C., Cirillo, E., Fato, I. F. (2006), Long-term performance of chemical damp-proof courses: twelve years of laboratory testing. *Building and Environment*, 41: 1060-1069.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 15270: Componentes cerâmicos parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro.

Bertolini, L. (2010), “*Materiali da costruzione: degrado, prevenzione, diagnosi, restauro*”, Editore CittàStudi; 2ª ed., Sondrio/Italy.

Carrió, J. M. (1997), “*Patología de Cerramientos y Acabados Arquitectónicos*”, Munilla-Leria; 2ª ed., Madrid/Spain.

Dreyer, J.; Hecht, C. (2001), Injection methods for retrofitting of moisture damaged constructions. *Transactions on the Built Environment*, 55: 517-526.

Franzoni, E. (2018), State-of-the-art on methods for reducing rising damp in masonry. *Journal of Cultural Heritage*, 31: S3-S9.

Franzoni, E. (2014), Rising damp removal from historical masonries: a still open challenge. *Construction and Building Materials*, 54: 123-136.

- Franzoni, E.; Rirsch, E.; Paselli, Y. (2016). “Laboratory models for the assessment of the effectiveness of chemical damp-proofing in masonry: existing methods and some proposals for new fixtures”, in: International RILEM Conference Materials, Paris.
- Freitas, R. J. G. (2014), “Técnicas de tratamento/control de la humedad ascensional – Catálogo”, Masters Thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Freitas, V.P.; Torres, M.I.M.; Guimarães, A. S. (2008), “Humidade Ascensional”, FEUP edições; 1.ª ed., Porto/Portugal.
- Guimarães, A. S.; Delgado, M. P. Q.; De Freitas, V.P. (2016), Treatment of rising damp in historic buildings: experimental campaign of wall base ventilation and interface effect analysis. *Cultural Heritage*, 20: 733-738.
- Hacquebord, A.; Lubelli, B.; Lubelli, R.; Nijland, T. (2013), Evaluation of spreading and effectiveness of injection products against rising damp in mortar/brick combinations. *Procedia Chemistry*, 8: 139–149.
- Hess, R. P. J., Lubelli, B. H. A. (2018), New test methods to verify the performance of chemical injections to deal with rising damp. *Journal of Cultural Heritage*, 31: S52-S59.
- Henriques, F. M. A. (1994), “Humidade em Paredes”. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Henriques, F. M. A. (2007), “Humidade em Paredes”. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- I’anson, S. J.; Hoff, W. D. (1988), Chemical injection remedial treatments for rising damp–I. The interaction of damp-proofing fluids with porous building materials. *Building and Environment*, 23: 171-178.
- Larsen, P. L. (2012), Determination of water content in brick masonry walls using a dielectric probe. *Journal of Architectural Conservation*, 18, 47-62.
- Lubelli, B.; Van Hees, R. P. J.; Hacquebord, A. (2013), Experimental study of the distribution of chemical products against rising damp in substrates with different water saturation degrees. *Construction and Building Materials*, 40: 891-898.
- Luso, E. (2002), “Contribuição para intervenções no Centro Histórico de Bragança”. Masters Thesis, Universidade de Minho, Minho.
- Massari G.; Massari I. (1993), Damp Buildings, Old and New. *ICCROM*, 17: 2-30.
- Rirsch, E.; Zhang, Z. (2010), Rising damp in masonry walls and the importance of mortar properties. *Construction and Building Materials*, 24: 1815-1820.
- Sandrolini, F.; Franzoni, E. (2016), An operative protocol for reliable measurements of moisture in porous materials of ancient buildings. *Building and Environment*, 41: 1372-1380.
- Socoloski, R. F. (2015), “Tratamento de umidade ascensional em paredes através de barreiras químicas por gravidade”, Masters Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Socoloski, R. F.; Masuero, A. B. (2019), Evaluation of the efficiency of the treatment for rising damp on walls through the insertion of chemical barriers by gravity. *Construction and Building Materials*, 210: 660-672.
- Torres, I. M. (2013), Wall base ventilation system to treat rising damp: the influence of the size of the channels. *Journal of Cultural Heritage*, 15: 121-127.

Torres, R. J. DE M. M. (2014), “*Humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edificios antigos*”, Masters Thesis, Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa, 2014.

Vigas de concreto armado reforçadas segundo a técnica TRM: Revisão sistemática da literatura

M. H. M. Moraes^{1*}, H. M. Francklin¹, G. M. Dalfré¹, B. Ghiassi²

*Autor de Contato: matheus.h.h@hotmail.com

¹ Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil

² Faculty of Engineering, University of Nottingham, Nottingham, UK

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre a técnica de reforço TRM (*Textile Reinforced Mortar*, em língua inglesa). A RSL foi realizada por meio a consulta de artigos científicos e de material acadêmico relativo ao tema, resultando em um total de 611 artigos, dos quais 100 foram considerados aderentes a vigas de concreto armado reforçadas segundo a técnica TRM. Os principais métodos de caracterização do material de reforço foram apresentados, assim como alguns estudo comparativos da técnica TRM com as técnicas EBR e NSM. Verificou-se que a técnica TRM, quando comparada a técnica predecessora e dependendo dos materiais utilizados na confecção do compósito argamassa-grelha, pode apresentar resultados similares as técnicas predecessoras. Os resultados também apresentaram que os materiais de reforço estão menor suscetíveis a agressividade do meio e ações térmicas que nas técnicas convencionais de reforço com FRPs.

Palavras-chave: *Textile Reinforced Mortar* (TRM); Reforço; Viga de concreto armado; Capacidade de carga; Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

1. INTRODUÇÃO

Com o passar das décadas, os edifícios sofrem um processo natural de envelhecimento onde estão sujeitos a deterioração, degradação devido a exposição aos ambientes agressivos e a falta de manutenção preventiva. Além da ação do tempo soma-se a possibilidade de se projetar ou executar de forma incorreta (não respeitando as prescrições normativas), a modificação no uso do edifício impondo cargas de utilização mais elevadas ao que foi posteriormente dimensionado, maior densidade de tráfego em pontes, ou até mesmo com a atualização das normas que resultam em critérios mais rigorosos para os critérios de dimensionamento. Com isso torna-se fundamental o estudo de novas técnicas de reforço e recuperação de elementos de concreto armado. Dentre as possibilidades de reforço com materiais reforçados ou estruturados com fibras (FRP, da língua inglesa *Fiber Reinforced Polymer*) citam-se, as não tão conhecidas, técnicas TRM (*Textile Reinforced Mortar*)¹ ou TRC (*Textile Reinforced Concrete*), as quais combinam a ação de fibras de alta resistência (apresentadas na configuração de grelhas bidirecionais ortogonais) com matrizes inorgânicas tal como argamassas a base de cimento ou cal-hidráulica, a norma ACI 549.4R (2020) estabelece parâmetro e procedimentos para execução e dimensionamento do reforço. A técnica TRM/TRC foi proposta para resolver alguns problemas das técnicas NSM (*Near-Surface Mounted*) e EBR (*Externally Bonded Reinforcement*). Neste sentido, Younis *et al.* (2020) afirmam que a técnica TRM mostrou-se com capacidade de superar alguns problemas que foram identificadas nas técnicas predecessoras. Citam-se, por exemplo, a sensibilidade ao fogo e ações térmicas no FRP (Gao *et al.*, 2016), dificuldade de aplicação em superfícies molhadas ou exteriores irregulares (colunas, arcos e paredes de alvenaria) que requerem preparação da superfície (Bakis *et al.*, 2002), incompatibilidade da resina epóxi com o substrato de concreto, muitas vezes levando ao descolamento precoce do material de reforço (Buyukozturk *et al.*, 2004; Ebead e Saeed, 2013), a exposição da resina epóxi e o FRP a ação da umidade, raios UVA e UVB, que levam a degradação (Ferreira, 2019; Sarti Junior, 2020) como alguns tipos de problemas enfrentados pela técnica EBR. Além disso, o custo do TRM em relação ao FRP é relativamente mais baixo, além de sua fácil aplicação dispensando uma mão de obra qualificada para implementação. Segundo Koutas *et al.* (2019), o TRM tem mais fácil aplicação em superfícies molhadas e baixas temperaturas. Assim como, para altas temperaturas, o TRM apresenta maior resistência a calor e temperatura comparado com a resina epóxi do sistema FRP (Tetta e Bournas, 2016; Raoof e Bournas, 2017). Além disso, o TRM é baseado numa matriz de argamassa-grelha que é mais compatível com o substrato original do concreto (Ebead e Younis, 2019; Younis e Ebead, 2019). Adicionalmente, o TRM é passível de aplicação de materiais recicláveis apresentando vantagens na perspectiva de sustentabilidade (Awani *et al.*, 2017).

Assim, a técnica TRM tem se mostrado uma técnica de reforço promissor sendo atrativa para a área de reforço de estruturas de concreto armado tais como lajes (Koutas e Bournas, 2017; Aljazaeri e Myers, 2018), pilares (Bournas *et al.*, 2007; Ombres, 2014), vigas reforçadas a flexão (Ebead *et al.*, 2017; Raoof *et al.*, 2017; Ebead *et al.*, 2019), cisalhamento (Younis *et al.*, 2017; Tetta *et al.*, 2018; Wakjira e Ebead, 2018, 2019) e torção (Alabdulhady e Sneed, 2019; Kandekar e Talikoti, 2019), geralmente indicando a melhora no comportamento dos elementos reforçados em comparação aos não reforçados.

Neste sentido, o presente trabalho tem como intuito apresentar a técnica de reforço TRM/TRC, suas vantagens e limitações para aplicação em vigas de concreto armado, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), validando seu emprego para futura aplicação em estudos experimentais.

¹ A técnica TRM possui alguns sinônimos apresentado na literatura tal como *Textile-Reinforced Concrete* (TRC) e *Fabric-Reinforced Cementitious Matrix* (FRCM)

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi desenvolvida uma Revisão sistemática da Literatura (RSL) com apresentação do estado da arte no que se refere a sistemas de reforço à flexão em vigas de concreto armado e aplicabilidade com o uso da técnica TRM. Assim, será apresentada a RSL feita com base em um levantamento do atual estado da arte do tema.

Para elaboração da Revisão bibliográfica foi realizada uma revisão sistemática da literatura visando identificar e selecionar pesquisas relevantes, recolhendo e analisando os dados obtidos (Biolchini *et al.*, 2007). Para isto utilizou-se a metodologia proposta por Brereton (2007), a qual é baseada em três etapas: Planejamento, Execução e Extração de dados. Abaixo são apresentados os critérios de busca adotados para a RSL:

- Qual o comportamento a flexão de vigas reforçadas segundo a técnica *Textile Reinforced Mortar* (TRM) ou *Textile Reinforced Concrete* (TRC)?
- Qual é o comportamento da Matriz de argamassa e grelha?

Assim, para a consulta dos bancos de dados científicos utilizou-se a *String (Textile reinforced concrete OR TRC) OR (Textile Reinforced Mortar OR TRM) AND (Beam) AND (Strengthen* OR Retrofit*) OR ((Load carrying capacity) OR (Strain*) OR (Stress*)) AND NOT (Masonry OR Slab OR Column* OR Wall*)*.

2.1 Planejamento da RSL

O planejamento foi baseado na definição do método de seleção de trabalhos. Assim, foi necessário avaliar o problema da pesquisa a fim de se obter uma visão geral das pesquisas em andamento e o atual estado da arte do tema em fontes disponíveis, identificadas por meio de uma análise exploratória preliminar. As principais base de dados, mundialmente reconhecidas pela alta qualidade e selecionadas na RSL são abaixo apresentadas:

- SCOPUS Digital Library (<https://www.scopus.com>);
- Web of Science Digital Library (<https://www.webofknowledge.com>);
- Engineering Village Digital Library (<http://www.engineeringvillage.com>).

Os critérios de inclusão e exclusão em revisão sistemática tiveram como objetivo limitar a seleção de trabalhos com base em avaliações qualitativas relevantes dentro do objetivo da pesquisa. A fim de definir quais artigos devem ser incluídos na revisão estabeleceu-se os critérios de inclusão (I) e exclusão (E) apresentados na Tabela 1, os quais foram realizados para publicações realizadas entre 2006 e maio de 2021.

Tabela 1. Critérios de inclusão (I) e exclusão (E) dos artigos

Critério	
Inclusão (I)	Exclusão (E)
Trabalhos disponíveis integralmente em bases de dados científicas ou em versões impressas	Trabalhos indisponíveis integralmente em bases de dados científicas ou em versões impressas
Trabalhos que apliquem as técnicas TRC ou TRM (em vigas) e analisem de maneira geral seu comportamento	Trabalhos que falem sobre a técnica TRC ou TRM não aplicado em vigas
Análises numéricas de técnicas TRC ou TRM	Trabalhos fora do escopo TRC ou TRM
Trabalho de revisão da literatura sobre a técnica TRC ou TRM	Trabalhos TRC ou TRM, porém, fora do escopo da pesquisa

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos critérios de busca, as plataformas indicaram um total de 611 resultados, os quais foram limitados a documentos na língua inglesa, e a artigos de revisão e documentos oriundos de periódicos científicos. Com aplicação desses filtros a quantidade de resultados foi reduzida para 405 documentos, cuja distribuição é apresentada na Figura 1.

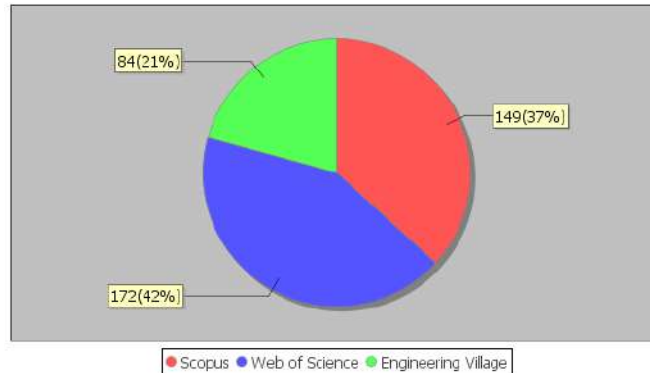


Figura 1. Distribuição de resultados por plataforma de busca

3.1 Extração de dados

Após a execução da RSL foram selecionados os trabalhos aderentes ao tema da pesquisa, resultando em um total de 100 artigos aderentes a pesquisa. A Figura 2 apresenta a evolução da produção anual de artigos relacionados ao tema, indicando uma certa tendência de crescimento das publicações entre os anos de 2014 e 2019, sendo que a partir de 2011 houve um aumento de 66,37% no cenário encontrado, com evolução de 2 artigos publicados em 2013 para 17 em 2019.

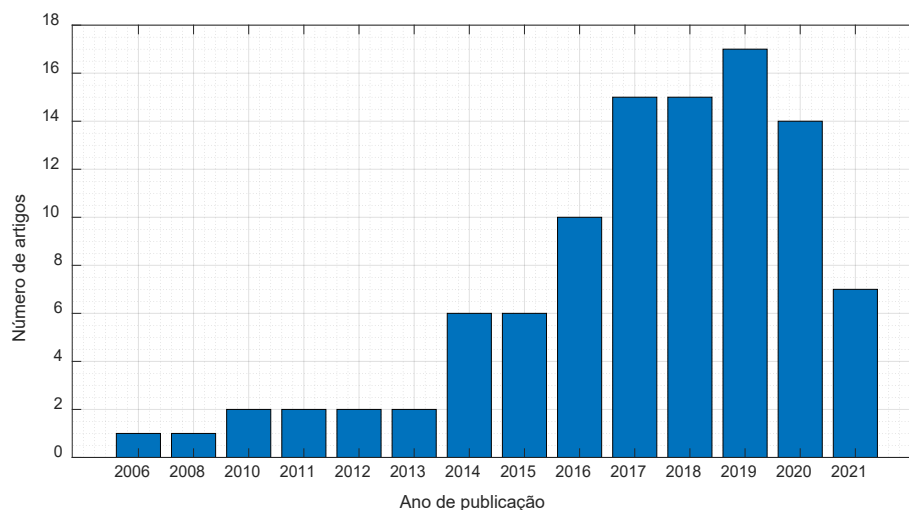


Figura 2. Evolução anual dos artigos de acordo com as *strings* de busca

Foi possível, também, identificar a existência dos 39 periódicos mais relevantes sobre a temática nas bases analisadas, os quais são apresentados na Figura 3, destacando-se a *Construction and Building Materials*, *Journal of Composites for Construction*, *Engineering Structures*, *Composites Part B* e *Composite Interfaces*, os quais correspondem por 58% das publicações entre os 100 artigos relacionados.

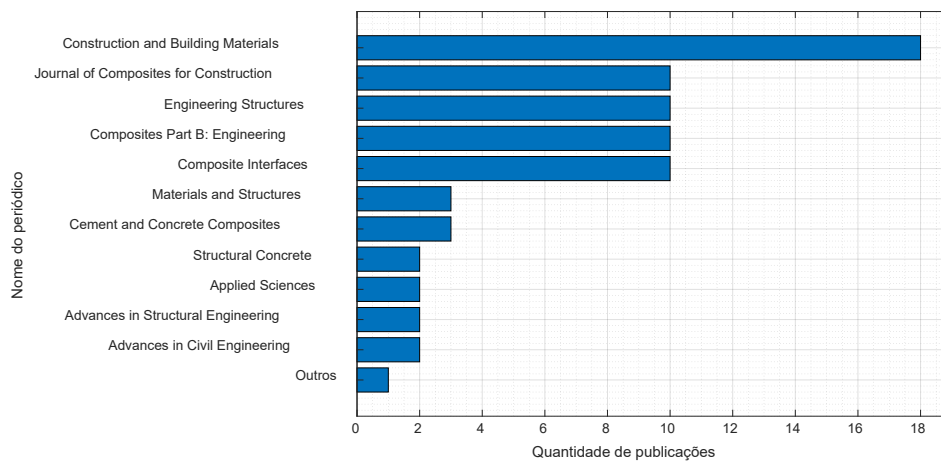


Figura 3. Resumo do número de publicações por periódico

A Figura 4 apresenta um resumo da quantidade de publicações sobre a temática TRC/TRM por país. Dentre os 100 trabalhos selecionados e baseando-se na localização da instituição onde o primeiro autor está vinculado, foi possível identificar a existência de 23 países com maior produção, destacando-se a China, França, Reino Unido, Catar e Itália, os quais são responsáveis por 55% das publicações sobre o tema. Note-se que o Brasil ocupa o 11º lugar, com um total de 3 artigos publicados nas bases avaliadas até a presente data. Neste sentido, verifica-se que este é um tema que demanda pesquisa nacional e cujos resultados podem ser utilizados para a escrita de práticas recomendadas e normas brasileiras.

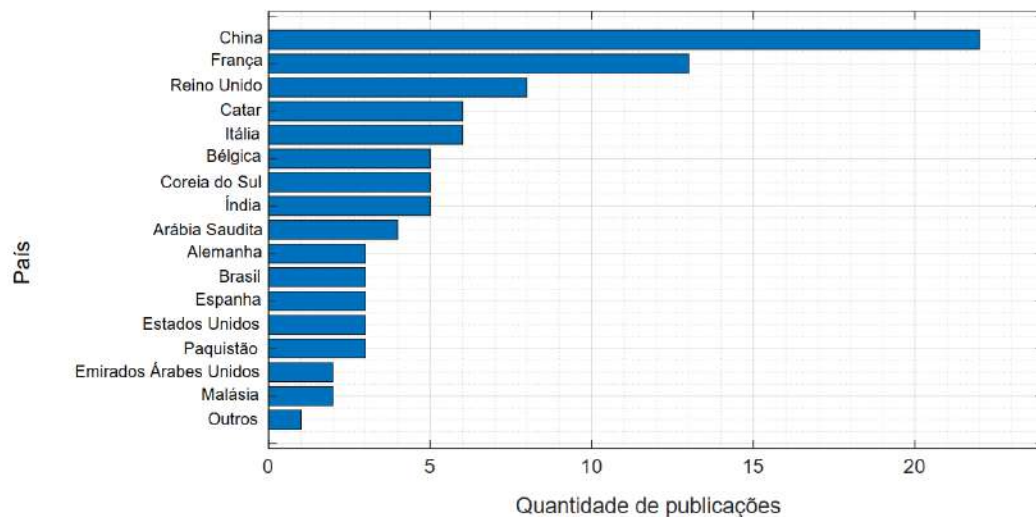


Figura 4. Resumo do número de publicações por país

3.2 Comportamento Mecânico do TRM

Para aplicação da técnica TRM em viga de concreto armado é necessário conhecer o comportamento mecânico da matriz argamassa-grelha. Assim, esta seção apresenta um resumo dos trabalhos obtidos que avaliam o comportamento do composto argamassa-grelha à tração e à flexão.

3.2.1 Comportamento à tração do TRM

Pela pesquisa realizada percebe-se que vários autores avaliaram o comportamento a tração da matriz argamassa-grelha (Hartig *et al.*, 2008; Contamine *et al.*, 2011; Si Larbi *et al.*, 2012;

Contamine *et al.*, 2014; Larrinaga *et al.*, 2014; Mobasher *et al.*, 2014; Contamine e Si Larbi, 2016; Rambo *et al.*, 2017; Kong *et al.*, 2017; D'Antino e Papanicolaou, 2018; Munck *et al.*, 2018; Ortlepp, 2018; Kim *et al.*, 2018; Ebead e El-Sherif, 2019; Li *et al.*, 2019; Younis *et al.*, 2020; El Kadi *et al.*, 2020). Este ensaio é utilizado para determinação do diagrama tensão versus deformação do compósito e, também, para obtenção do módulo de elasticidade.

Diversas geometrias de corpos de prova de tração foram encontradas, entretanto, o formato de placa de TRM retangular é a mais amplamente utilizada (Hartig *et al.*, 2008; Larrinaga *et al.*, 2014; Contamine e Si Larbi, 2016; Ebead *et al.*, 2017; Younis *et al.*, 2020). Verificou-se, também, que diversos métodos para fixação dos corpos de prova de TRM à máquina de ensaio são utilizados. Para execução do ensaio de tração aplica-se o carregamento com taxa de deslocamento de 1mm/min. O registro do deslocamento ao longo do ensaio pode ser realizado com o uso de um *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) ou *clip-gauge* (Figura 5a).

Verificou-se que o comportamento típico do TRM quando submetido à tração apresenta as etapas apresentadas na Figura 5b, onde (1) concreto com comportamento até o início de fissuração; (2) desenvolvimento de múltiplas fissuras e transferência de carga do concreto para a grelha; e (3) comportamento elástico-linear até a ruptura das fibras (Koutas *et al.*, 2019).

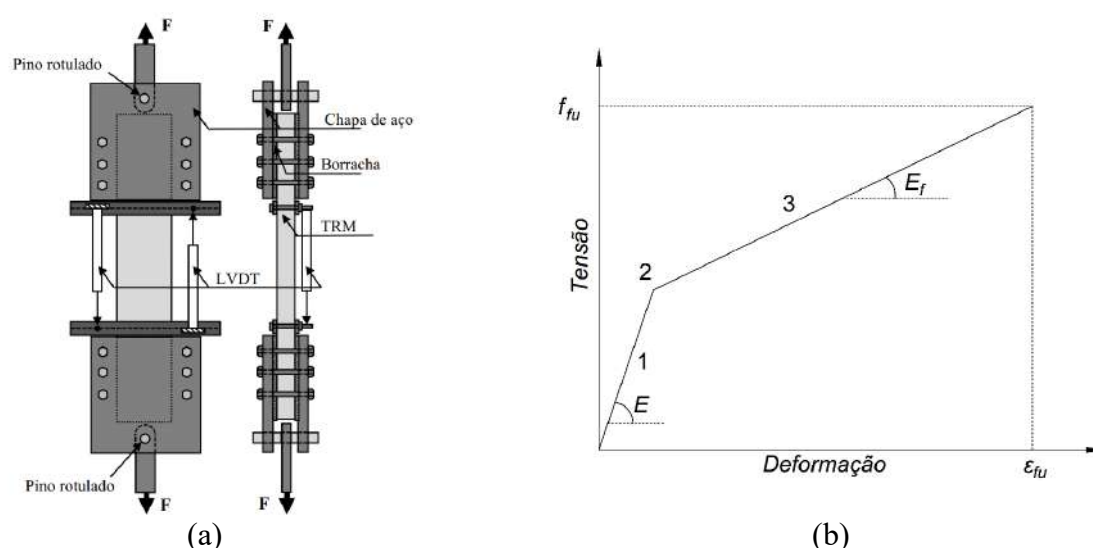


Figura 5. (a) Exemplo de ensaio à tração do TRM e (b) comportamento típico do diagrama tensão versus deformação (Koutas *et al.*, 2019)

A Figura 6 apresenta o diagrama tensão de tração versus deformação esquemático para compósitos de CFRP e de argamassa-grelha geralmente utilizados nas técnicas EBR/NSM e TRM, respectivamente. Verifica-se que os compósitos de FRP apresentam comportamento elástico-linear até a ruptura, enquanto os compostos por argamassa-grelha possuem comportamento bi-linear, com maior ductilidade, até a ruptura.

Neste sentido, se necessário, é possível aprimorar as características à tração da matriz argamassa-grelha. Cita-se, por exemplo, a avaliação dos distintos materiais comercialmente disponíveis para a confecção das grelhas, além do desenvolvimento de uma matriz cimentícia com melhor compatibilidade com o material de reforço e boa aderência ao substrato de concreto a ser reforçado. Ebead *et al.* (2017) conduziu um experimento que avaliou o comportamento mecânico à tração utilizando grelhas de PBO e carbono, cujos resultados são apresentados na Figura 7. Verifica-se que o compósito argamassa-grelha de PBO apresentou resistência à tração e ductilidade superior a obtida com carbono.

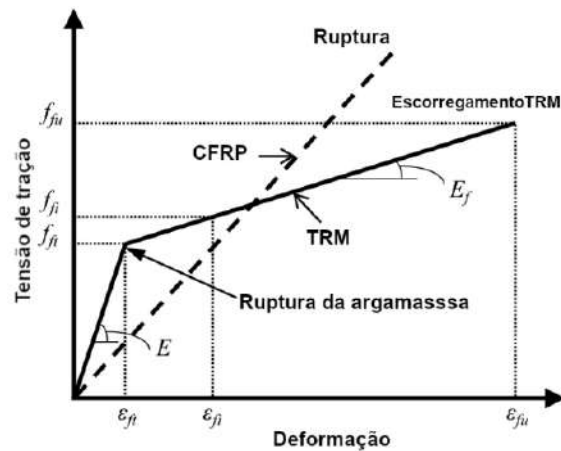


Figura 6. Tensão versus deformação para ensaio de tração TRM e CFRP (Kim *et al.*, 2018)

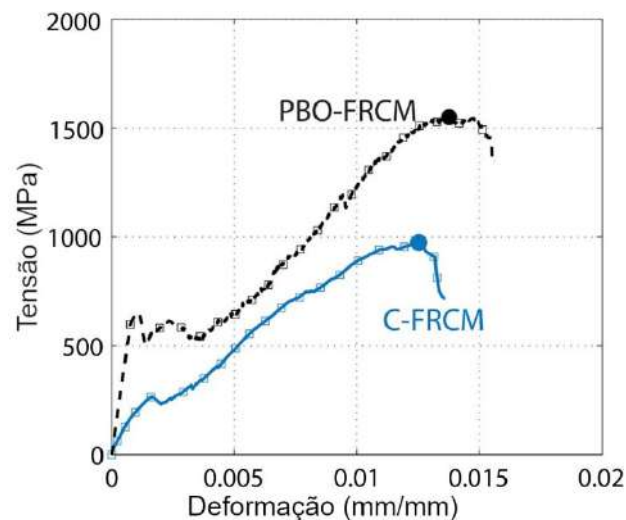


Figura 7. Tensão *versus* deformação do compósito com diferentes materiais (Ebead *et al.*, 2017)

Uma alternativa para o aumento da resistência à tração está relacionada ao aumento do número de camadas de material de reforço, neste caso, de grelhas, aplicadas a matriz cimentícia. Larrinaga *et al.* (2014) realizaram um estudo paramétrico onde variaram a quantidade de camadas de grelhas inseridas em uma matriz e argamassa. A Figura 8 apresenta os resultados obtidos onde percebe-se que com o aumento das camadas de grelhas leva ao incremento da resistência à tração e do módulo de elasticidade, entretanto, com decréscimo da deformação da matriz.

3.2.2 Comportamento à Flexão do TRM

Vários pesquisadores avaliaram o comportamento à flexão da matriz argamassa-grelha (Mobasher *et al.*, 2014; Yoo *et al.*, 2016; Kong *et al.*, 2017; Zargarani *et al.*, 2017; Jia *et al.*, 2020; El Kadi *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021), o qual pode ser investigado por meio do ensaio de flexão de quatro pontos (Figura 9). O ensaio de flexão à quatro pontos também pode ser realizado com aplicação de taxa de deslocamento de 1mm/min, o qual pode ser registrado com o uso de LVDTs.

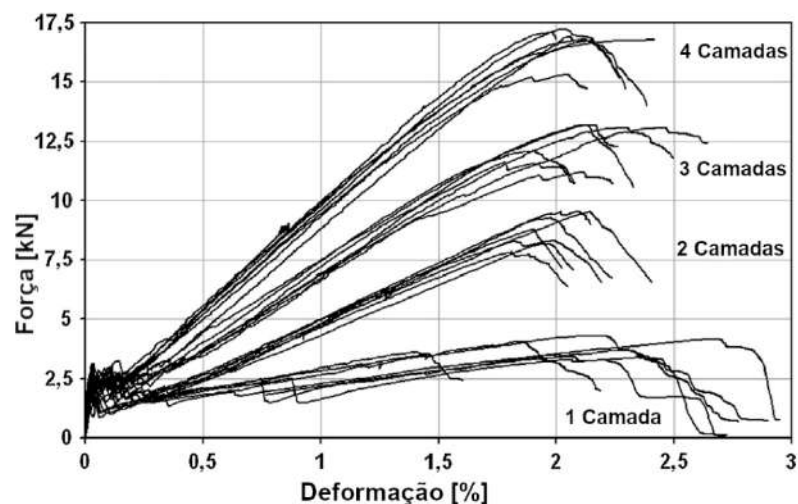


Figura 8: Força *versus* deformação da TRM frente a variação do número de camadas de material de reforço (Larrinaga *et al.*, 2014)

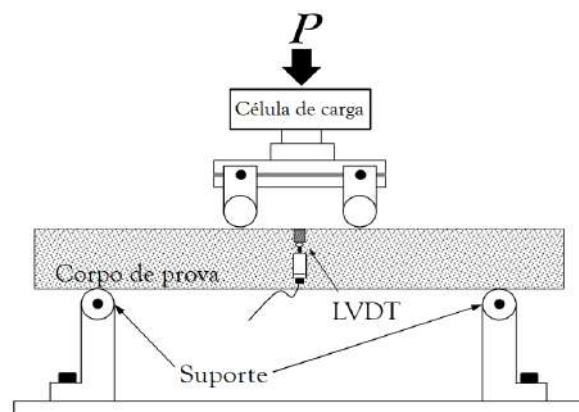


Figura 9: Exemplo de ensaio de flexão à quatro pontos

3.3 Reforço à flexão de vigas de concreto armado

O reforço de vigas de concreto armado é feito pela aplicação de camadas de TRM na face tracionada, tal como o apresentado na Figura 10, levando ao aumento da capacidade portante do elemento reforçado ou reparado (Koutas *et al.*, 2019).

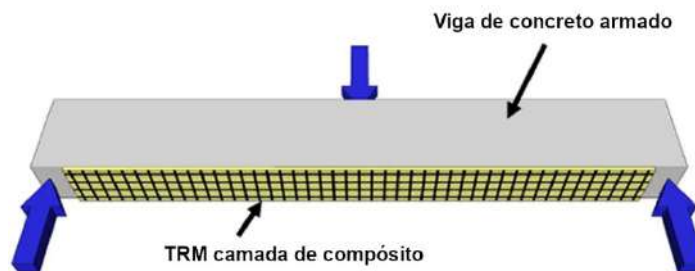


Figura 10. Reforço à flexão de viga de concreto armado com TRM (Koutas *et al.*, 2019)

A efetividade do reforço aplicado à flexão segundo a técnica TRM em vigas de concreto armado tem sido objeto de estudo (Brückner *et al.*, 2006; D'Ambrisi e Focacci, 2011; Babaeidarabad *et al.*, 2014; Verbruggen *et al.*, 2014; Gopinath *et al.*, 2015; Verbruggen *et al.*, 2016; Gopinath *et al.*,

2017; Raof *et al.*, 2017; Raof e Bournas, 2017; Escrig *et al.*, 2017; Ebead *et al.*, 2017; Aljazaeri e Myers, 2017; Raof e Bournas, 2017; Sheng *et al.*, 2018; Masood, 2019; Park *et al.*, 2019; Adnan *et al.*, 2019; Muresan e Zwicky, 2020; Nguyen e Ngo, 2020; Cai *et al.*, 2021; Giese *et al.*, 2021). Tais estudos tiveram como objetivo a avaliação da resistência à flexão das vigas de concreto armado reforçadas com grelhas de carbono, fibra de vidro, basalto, aramida ou poliparafenileno benzobisoxazol (PBO) e submetidas a ensaios de três ou quatro-pontos.

A aplicação de camadas de reforço, dependendo de sua configuração, tende a levar ao aumento da capacidade portante do elemento, aumentando, em alguns casos, a rigidez inicial no estado não fissurado (Figura 11). Koutas *et al.* (2019) afirmam que a contribuição do TRM para a resistência a flexão torna-se significativa no momento do esmagamento do concreto e do início de escoamento da armadura existente.

No primeiro estágio verifica-se o aumento da força no momento de surgimento de fissuras no concreto, tal como observado por Escrig *et al.* (2017) e Raof *et al.* (2017).

No segundo estágio, as múltiplas fissuras do concreto resultam na ativação do material de reforço e levam a um comportamento mais rígido em relação a um elemento não reforçado. Geralmente também se verifica o aumento da força que leva ao escoamento da armadura longitudinal tracionada existente (Babaedarabad *et al.*, 2014; D'Ambrisi e Focacci, 2011; Escrig *et al.*, 2017; Raof *et al.*, 2017; Koutas *et al.*, 2019).

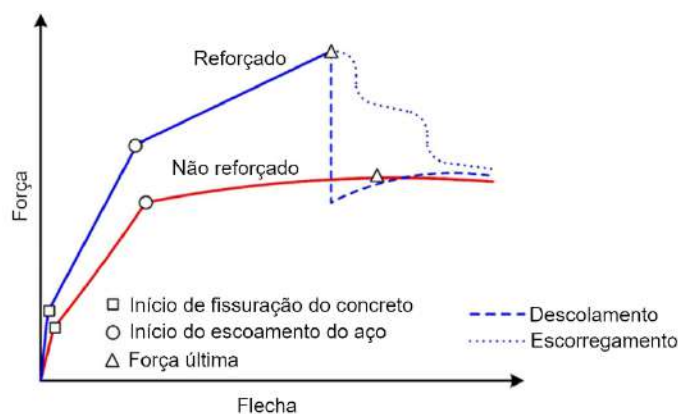


Figura 11. Efeito do reforço à flexão de viga de concreto armado com TRM carregamento versus deslocamento (Koutas *et al.*, 2019)

3.4 TRM versus EBR no comportamento de sistemas de reforço à flexão

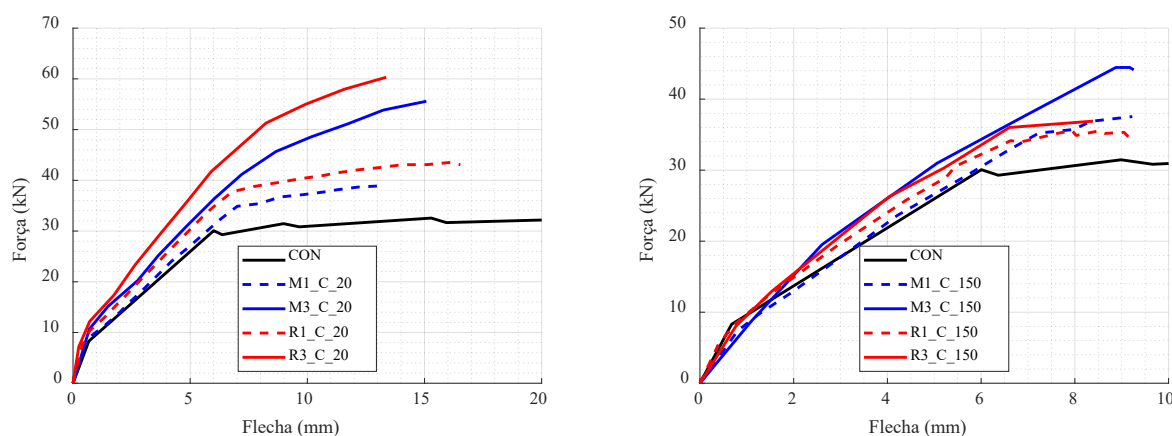
D'Ambrisi e Focacci (2011) e Raof *et al.* (2017) compararam o incremento de capacidade de carga obtida em de vigas de concreto armado com a técnica TRM em comparação ao sistema de reforço FRPs aderidos com o uso de resinas epoxídicas

D'Ambrisi e Focacci (2011) avaliaram o incremento de carga de vigas de concreto armado com seção transversal de $400 \times 250 \text{ mm}^2$, vão livre de 2,2m e concreto com resistência a compressão média de 47,68MPa, os quais foram reforçadas com mantas unidirecionais de carbono aplicadas segunda a técnica EBR (EBR E1 e E2), grelhas de carbono (C-FRCM) e PBO (PBO-FRCM) aplicadas segundo a técnica TRM e posteriormente submetidas ao ensaio de flexão de quatro pontos. Vigas sem reforço também foram concretadas e consideradas como referência para os demais ensaios. As mantas de carbono possuíam área de $42,5 \text{ mm}^2$, módulo de elasticidade de 239GPa e tensão última de 3023 MPa; as grelhas de carbono possuíam área de $31,96 \text{ mm}^2$, módulo de elasticidade de 238GPa e tensões últimas longitudinais e transversais de 3051 MPa, enquanto a grelha de PBO possuía área de $31,28 \text{ mm}^2$, módulo de elasticidade de 271GPa e tensão última de 4995MPa na direção longitudinal e de 272GPa e 5085MPa na direção transversal, respectivamente.

Os resultados indicaram aumento de capacidade de carga de 8,9, 30 e 29% para o uso de C-FRCM, PBO-FRCM e EBR, respectivamente, indicando que a correta seleção da grelha para a composição do TRM pode levar a resultados similares aos obtidos com as técnicas tradicionais de reforço.

Raouf e Bournas (2017) realizaram um programa experimental composto por vigas de concreto armado com dimensões de $102 \times 203 \times 1675 \text{ mm}^3$, com armadura longitudinal composta por 2 barras com diâmetro de 8mm e concreto com resistência média de 20MPa, as quais foram submetidas a ensaios de flexão de quatro pontos. A avaliação do incremento da capacidade de carga foi realizada considerando-se um elemento sem reforço (referência, CON), vigas reforçadas com 1 ou 3 camadas de CFRP aplicados segundo a técnica EBR (R1-C-20/150 e R3-C-20/150) ou TRM (M1-C-20/150 e M3-C-20/150) em temperatura ambiente (20°C) ou temperatura elevada (150°C).

Os resultados obtidos indicam que, para a temperatura ambiente, a máxima força registrada nos ensaios foi de 34,6 kN para a CON, 39 e 55,3 kN para a M1-C-20 e M3-C-20 e 43,9 e 60,4 kN para a R1-C-20 e R3-C-20, respectivamente. Os resultados obtidos indicam um aumento da força última de 12,7 e 59,83% para a TRM e 26,8 e 74,6% para a EBR com 1 ou 3 camadas (Figura 12a), respectivamente, indicando maior efetividade da técnica de reforço convencional. Além disso, a ductilidade do sistema de reforço com o uso da técnica TRC é inferior quando comparado ao obtido com a técnica EBR. Entretanto, para elevada temperatura (150°C), obteve-se máxima força registrada de 37,7 e 44,7 kN para a M1-C-150 e M3-C-150 e 35,9 e 36,7 kN para a R1-C-150 e R3-C-150, respectivamente, indicando um aumento da força última de 8,9 e 29,2% para a TRC e 3,8 e 6,1% para a EBR (Figura 12b). Para além disso, maior ductilidade foi verificada para a técnica TRC, indicando maior efetividade para temperaturas elevadas.



(a) Temperatura ambiente (20°C)

(b) Elevada temperatura (150°C)

Figura 12. Força versus flecha para os ensaios a temperatura ambiente e temperatura elevada (Raouf e Bournas, 2017)

4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de apresentar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre sistemas de reforço à flexão em vigas de concreto armado e aplicabilidade com o uso da técnica TRM. (*Textile Reinforced Mortar*). Para isso fez-se levantamento do atual estado da arte do tema em periódicos mundialmente reconhecidos pela alta qualidade de suas publicações, realizadas entre 2006 e maio de 2021, e disponíveis nas bases de dados SCOPUS Digital, *Web of Science Digital Library* e *Engineering Village Digital Library*. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão na revisão sistemática foram encontrados 405 documentos, os quais foram reduzidos a 100 devido a sua aderência ao tema de reforço a flexão com a técnica TRC. Verificou-se que existe uma certa tendência nas publicações sobre o tema a partir de 2014 e que, baseando-se na

localização da instituição onde o primeiro autor está vinculado, a China é o país que apresenta o maior número de artigos relacionados a temática analisada.

Com a relação a RSL realizada para um futuro trabalho experimental foram identificados os principais métodos de ensaios de caracterização à tração e à flexão de comportamento do compósito grelha-argamassa a ser utilizado na técnica TRC. Verificou-se que o comportamento à tração é bilinear e passa pelas etapas de início da fissuração do concreto, desenvolvimento de múltiplas fissuras no concreto e, por fim, é elástico-linear até a ruptura das fibras. Obteve-se, também, um melhor entendimento sobre o comportamento a tração de diferentes materiais, sendo a resistência do material da grelha preponderante na resistência a tração. Por fim, comprovou-se que o comportamento à tração do TRM com múltiplas camadas leva ao aumento da resistência à tração do TRM.

Pode-se observar em estudos comparativos entre vigas reforçadas com a técnica TRM e FRPs aderidos com o uso de resinas epoxídicas aplicadas segundo a técnica EBR que, dependendo do tipo de compósito argamassa-grelha utilizados, valores de força última similares aos encontrados nas técnicas tradicionais podem ser encontrados. Assim, reforço com C-FRCM, PBO-FRCM e CFRP EBR levaram a 8,9%, 29% e 30% de incremento de capacidade de carga, respectivamente. Além disso, em estudos da ação térmica, o reforço TRM apresentou aumento da resistência de 12,7 e 59,83% e a técnica EBR apresentou valores de 26,8 e 74,6%, valores para 1 e 3 camadas de reforço aplicado e ensaiado em temperatura ambiente. Entretanto, ao se avaliar o comportamento das técnicas em altas temperaturas (150 °C) foi possível observar que o reforço TRM é menos suscetível a ação térmica, apresentando incremento da resistência de 8,9 e 29,2%, enquanto a técnica EBR apresentou valores de 3,8 e 6,1%.

Assim, verifica-se que os trabalhos analisados apresentam a efetividade da aplicação do reforço pela técnica TRM, sendo assim, a experimentação e uso deste sistema em vigas de concreto armado é válida e deve ser expandida, principalmente no Brasil.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

- Adnan, S. H., Osman, M. H., Rahman, M. A. A., Musa, K., Jamellodin, Z. e Yusof, W. Y. W. (2019), The Effect of Textile Fine Grained Mortar Layers on Reinforced Concrete Beam, *International Journal of Advanced Science and Technology*, 28(10), p. 01–07.
- Alabdulhady, M. Y. e Sneed, L. H. (2019), Torsional strengthening of reinforced concrete beams with externally bonded composites: A state of the art review, *Construction and Building Materials*, 205, p. 148–163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.163>.
- Aljazeera, Z. R. e Myers, J. J. (2017), Strengthening of Reinforced-Concrete Beams in Shear with a Fabric-Reinforced Cementitious Matrix, *Journal of Composites for Construction*, 21(5), p. 04017041. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000822](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000822).
- Aljazeera, Z. R. e Myers, J. J. (2018), Flexure Performance of RC One-Way Slabs Strengthened with Composite Materials, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(7), p. 04018120. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002299](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002299).
- American Concrete Institute. ACI Committee 549.4R (2020), “*Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix and Steel-Reinforced Grout Systems for Repair and Strengthening of Concrete Structures*”. Michigan - USA: ACI.
- Awani, O., El-Maaddawy, T. e Ismail, N. (2017), Fabric-reinforced cementitious matrix: A promising strengthening technique for concrete structures, *Construction and Building Materials*, 132, p. 94–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.125>.

- Babaeidarabad, S., Loreto, G. e Nanni, A. (2014), Flexural Strengthening of RC Beams with an Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix, *Journal of Composites for Construction*, 18(5), p. 04014009. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000473](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000473).
- Bakis, C. E., Bank, L. C., Brown, V. L., Cosenza, E., Davalos, J. F., Lesko, J. J., Machida, A., Rizkalla, S. H. e Triantafillou, T. C. (2002), Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction—State-of-the-Art Review, *Journal of Composites for Construction*, 6(2), p. 73–87. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2002\)6:2\(73\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2002)6:2(73)).
- Biolchini, J. C. de A., Mian, P. G., Natali, A. C. C., Conte, T. U. e Travassos, G. H. (2007), Scientific research ontology to support systematic review in software engineering, *Advanced Engineering Informatics*. (Ontology of Systems and Software Engineering; Techniques to Support Collaborative Engineering Environments), 21(2), p. 133–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2006.11.006>.
- Bournas, D. A., Lontou, P. V., Papanicolaou, C. G. e Triantafillou, T. C. (2007), Textile-reinforced mortar versus fiber-reinforced polymer confinement in reinforced concrete columns, *ACI Structural Journal*. American Concrete Institute, 104(6), p. 740–748.
- Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M. e Khalil, M. (2007), Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain, *Journal of Systems and Software*. (Software Performance), 80(4), p. 571–583. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009>.
- Brückner, A., Ortlepp, R. e Curbach, M. (2006), Textile reinforced concrete for strengthening in bending and shear, *Materials and Structures*, 39(8), p. 741–748. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-005-9027-2>.
- Buyukozturk, O., Gunes, O. e Karaca, E. (2004), Progress on understanding debonding problems in reinforced concrete and steel members strengthened using FRP composites, *Construction and Building Materials*, 18(1), p. 9–19. [http://dx.doi.org/10.1016/S0950-0618\(03\)00094-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0950-0618(03)00094-1).
- Cai, G., Tsavdaridis, K. D., Si Larbi, A. e Purnell, P. (2021), A simplified design approach for predicting the flexural behavior of TRM-strengthened RC beams under cyclic loads, *Construction and Building Materials*, 285, p. 122799. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122799>.
- Contamine, R., Junes, A. e Si Larbi, A. (2014), Tensile and in-plane shear behaviour of textile reinforced concrete: Analysis of a new multiscale reinforcement, *Construction and Building Materials*, 51, p. 405–413. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.084>.
- Contamine, R. e Si Larbi, A. (2016), Development of a textile reinforced concrete (TRC) to retrofit reinforced concrete structures, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20(6), p. 626–642. <http://dx.doi.org/10.1080/19648189.2015.1030089>.
- Contamine, R., Si-Larbi, A., Than, N. Q. e Hamelin, P. (2011), Numerical modeling of reinforced concrete beams under shear stress with and without external textile-reinforced concrete reinforcement, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(15), p. 1293–1303. <http://dx.doi.org/10.1177/0731684411420189>.
- D'Ambrisi, A. e Focacci, F. (2011), Flexural Strengthening of RC Beams with Cement-Based Composites, *Journal of Composites for Construction*, 15(5), p. 707–720. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000218](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000218).
- D'Antino, T. e Papanicolaou, C. (Corina) (2018), Comparison between different tensile test setups for the mechanical characterization of inorganic-matrix composites, *Construction and Building Materials*, 171, p. 140–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.041>.

- Ebead, U., El Refai, A., Shrestha, K. e Nanni, A. (2019), Soffit and U-Wrap FRCM Strengthening for Reinforced Concrete Beams, *ACI Structural Journal*, 116(2). <http://dx.doi.org/10.14359/51713292>.
- Ebead, U. e El-Sherif, H. (2019), Near surface embedded-FRCM for flexural strengthening of reinforced concrete beams, *Construction and Building Materials*, 204, p. 166–176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.145>.
- Ebead, U. e Saeed, H. (2013), Hybrid shear strengthening system for reinforced concrete beams: An experimental study, *Engineering Structures*, 49, p. 421–433. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.11.039>.
- Ebead, U., Shrestha, K. C., Afzal, M. S., El Refai, A. e Nanni, A. (2017), Effectiveness of Fabric-Reinforced Cementitious Matrix in Strengthening Reinforced Concrete Beams, *Journal of Composites for Construction*, 21(2), p. 04016084. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000741](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000741).
- Ebead, U. e Younis, A. (2019), Pull-off characterization of FRCM/Concrete interface, *Composites Part B: Engineering*, 165, p. 545–553. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.02.025>.
- El Kadi, M., Kapsalis, P., Van Hemelrijck, D., Wastiels, J. e Tysmans, T. (2020), Influence of Loading Orientation and Knitted Versus Woven Transversal Connections in 3D Textile Reinforced Cement (TRC) Composites, *Applied Sciences*, 10(13), p. 4517. <http://dx.doi.org/10.3390/app10134517>.
- Escrig, C., Gil, L. e Bernat-Maso, E. (2017), Experimental comparison of reinforced concrete beams strengthened against bending with different types of cementitious-matrix composite materials, *Construction and Building Materials*, 137, p. 317–329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.106>.
- Ferreira, D. da C. (2019), “Avaliação da degradação de vigas reforçadas com FRP quando expostas ao intemperismo”. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12121> (Acessado: 30 de abril de 2021).
- Gao, W.-Y., Dai, J.-G. e Teng, J. G. (2016), Fire resistance design of un-protected FRP-strengthened RC beams, *Materials and Structures*, 49(12), p. 5357–5371. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-016-0865-x>.
- Giese, A. C. H., Giese, D. N., Dutra, V. F. P. e Da Silva Filho, L. C. P. (2021), Flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened with textile reinforced mortar, *Journal of Building Engineering*, 33, p. 101873. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101873>.
- Gopinath, S., Iyer, N. e Gettu, R. (2017), Finite element analysis of RC beams strengthened with textile reinforced concrete, *Journal of Structural Engineering (Madras)*, 43, p. 454–460.
- Gopinath, S., Rama Chandra Murthy, A., Iyer, N. R. e Kokila, S. (2015), Evaluation of Eco-Efficiency and Performance of Retrofit Materials, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 96(4), p. 327–337. <http://dx.doi.org/10.1007/s40030-015-0138-7>.
- Hartig, J., Häußler-Combe, U. e Schicktanz, K. (2008), Influence of bond properties on the tensile behaviour of Textile Reinforced Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 30(10), p. 898–906. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.08.004>.
- Jia, M., Xiao, X., Lu, X., Feng, G. e Qian, K. (2020), Influence of stacking sequence of basalt-fiber grilles on mechanical properties for textile-reinforced concrete and theoretical prediction, *Textile Research Journal*, 90(17–18), p. 1931–1947. <http://dx.doi.org/10.1177/0040517520903416>.

- Kandekar, S. B. e Talikoti, R. S. (2019), Torsional behaviour of reinforced concrete beam wrapped with aramid fiber, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 31(4), p. 340–344. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2018.02.001>.
- Kim, H.-S., Truong, G. T., Park, S.-H. e Choi, K.-K. (2018), Tensile Properties of Carbon Fiber-Textile Reinforced Mortar (TRM) Characterized by Different Anchorage Methods, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12(1), p. 73. <http://dx.doi.org/10.1186/s40069-018-0296-x>.
- Kong, K., Mesticou, Z., Michel, M., Si Larbi, A. e Junes, A. (2017), Comparative characterization of the durability behaviour of textile-reinforced concrete (TRC) under tension and bending, *Composite Structures*, 179, p. 107–123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.07.030>.
- Koutas, L. N. e Bournas, Dionysios. A. (2017), Flexural Strengthening of Two-Way RC Slabs with Textile-Reinforced Mortar: Experimental Investigation and Design Equations, *Journal of Composites for Construction*, 21(1), p. 04016065. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000713](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000713).
- Koutas, L. N., Tetta, Z., Bournas, D. A. e Triantafillou, T. C. (2019), Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars: State-of-the-Art Review, *Journal of Composites for Construction*. American Society of Civil Engineers, 23(1), p. 03118001. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000882](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000882).
- Larrinaga, P., Chastre, C., Biscaia, H. C. e San-José, J. T. (2014), Experimental and numerical modeling of basalt textile reinforced mortar behavior under uniaxial tensile stress, *Materials & Design*, 55, p. 66–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.09.050>.
- Li, B., Xiong, H., Jiang, J. e Dou, X. (2019), Tensile behavior of basalt textile grid reinforced Engineering Cementitious Composite, *Composites Part B: Engineering*, 156, p. 185–200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.059>.
- Li, S., Yin, S., Wang, C. e Yang, Y. (2021), Research on the bonding performance of TRC permanent formwork and cast-in-place concrete, *Engineering Structures*, 235, p. 112021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112021>.
- Masood, F. (2019), Behaviour of Full Scale Reinforced Concrete Beams Strengthened with Textile Reinforced Mortar (TRM), *JOURNAL OF MECHANICS OF CONTINUA AND MATHEMATICAL SCIENCES*, 14(3). <http://dx.doi.org/10.26782/jmcms.2019.06.00006>.
- Mobasher, B., Dey, V., Cohen, Z. e Peled, A. (2014), Correlation of constitutive response of hybrid textile reinforced concrete from tensile and flexural tests, *Cement and Concrete Composites*, 53, p. 148–161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.06.004>.
- Munck, M. D., El Kadi, M., Tsangouri, E., Vervloet, J., Verbruggen, S., Wastiels, J., Tysmans, T. e Remy, O. (2018), Influence of environmental loading on the tensile and cracking behaviour of textile reinforced cementitious composites, *Construction and Building Materials*, 181, p. 325–334. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.045>.
- Muresan, A. e Zwicky, D. (2020), Suitability Evaluation of Structural Analysis Approaches for Determining the Flexural Capacity of Reinforced Concrete Elements Strengthened with Textile-Reinforced Mortar, *Structural Engineering International*, 30(4), p. 545–550. <http://dx.doi.org/10.1080/10168664.2020.1776196>.
- Nguyen, C. H. e Ngo, Q. D. (2020), Flexural and Shear Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Textile Reinforced Concrete, *Archives of Civil Engineering*, 66(3), p. 407–426. <http://dx.doi.org/10.24425/ACE.2020.134405>.
- Ombres, L. (2014), Concrete confinement with a cement based high strength composite material, *Composite Structures*, 109, p. 294–304. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.10.037>.

- Ortlepp, R. (2018), Efficient Adaptive Test Method for Textile Development Length in TRC, *Advances in Civil Engineering*, 2018, p. 1–14. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/4650102>.
- Park, J., Hong, S. e Park, S.-K. (2019), Experimental Study on Flexural Behavior of TRM-Strengthened RC Beam: Various Types of Textile-Reinforced Mortar with Non-Impregnated Textile, *Applied Sciences*, 9(10), p. 1981. <http://dx.doi.org/10.3390/app9101981>.
- Rambo, D. A. S., Yao, Y., de Andrade Silva, F., Toledo Filho, R. D. e Mobasher, B. (2017), Experimental investigation and modelling of the temperature effects on the tensile behavior of textile reinforced refractory concretes, *Cement and Concrete Composites*, 75, p. 51–61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.11.003>.
- Raof, S. M. e Bournas, D. A. (2017), TRM versus FRP in flexural strengthening of RC beams: Behaviour at high temperatures, *Construction and Building Materials*, 154, p. 424–437. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.195>.
- Raof, S. M., Koutas, L. N. e Bournas, D. A. (2017), Textile-reinforced mortar (TRM) versus fibre-reinforced polymers (FRP) in flexural strengthening of RC beams, *Construction and Building Materials*, 151, p. 279–291. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.023>.
- Sarti Junior, L. A. (2020), “*Durabilidade de vigas de concreto armado reforçadas com mantas de CFRP submetidas a degradação acelerada*”. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12781> (Acessado: 30 de abril de 2021).
- Sheng, J., Yin, S., Xu, S. e Jin, Z. (2018), Experimental and theoretical investigations on crack spacing and stiffness of textile-reinforced concrete–strengthened reinforced concrete beams, *Advances in Structural Engineering*, 21(11), p. 1696–1707. <http://dx.doi.org/10.1177/1369433218754333>.
- Si Larbi, A., Contamine, R. e Hamelin, P. (2012), TRC and hybrid solutions for repairing and/or strengthening reinforced concrete beams, *Engineering Structures*, 45, p. 12–20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.06.002>.
- Tetta, Z. C. e Bournas, D. A. (2016), TRM vs FRP jacketing in shear strengthening of concrete members subjected to high temperatures, *Composites Part B: Engineering*, 106, p. 190–205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.026>.
- Tetta, Z. C., Koutas, L. N. e Bournas, D. A. (2018), Shear strengthening of concrete members with TRM jackets: Effect of shear span-to-depth ratio, material and amount of external reinforcement, *Composites Part B: Engineering*, 137, p. 184–201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.10.041>.
- Verbruggen, S., Tysmans, T. e Wastiels, J. (2014), TRC or CFRP strengthening for reinforced concrete beams: An experimental study of the cracking behaviour, *Engineering Structures*, 77, p. 49–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.07.040>.
- Verbruggen, S., Tysmans, T. e Wastiels, J. (2016), Bending crack behaviour of plain concrete beams externally reinforced with TRC, *Materials and Structures*, 49(12), p. 5303–5314. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-016-0861-1>.
- Wakjira, T. G. e Ebead, U. (2018), FRCM/internal transverse shear reinforcement interaction in shear strengthened RC beams, *Composite Structures*, 201, p. 326–339. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.06.034>.
- Wakjira, T. G. e Ebead, U. (2019), Internal transverse reinforcement configuration effect of EB/NSE-FRCM shear strengthening of RC deep beams, *Composites Part B: Engineering*, 166, p. 758–772. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.03.004>.

- Yoo, D.-Y., Gohil, U., Gries, T. e Yoon, Y.-S. (2016), Comparative low-velocity impact response of textile-reinforced concrete and steel-fiber-reinforced concrete beams, *Journal of Composite Materials*, 50(17), p. 2421–2431. <http://dx.doi.org/10.1177/0021998315604039>.
- Younis, A. e Ebead, U. (2019), Bond and shear-strengthening performance of frcm composites, in *ISEC. Chicago - United States* (1), p. 1241–1246. <http://dx.doi.org/10.14455/ISEC.res.2019.32>.
- Younis, A., Ebead, U. e Shrestha, K. (2020), Tensile characterization of multi-ply fabric-reinforced cementitious matrix strengthening systems, *Structural Concrete*, 21(2), p. 713–723. <http://dx.doi.org/10.1002/suco.201900076>.
- Younis, A., Ebead, U. e Shrestha, K. C. (2017), Different FRCM systems for shear-strengthening of reinforced concrete beams, *Construction and Building Materials*, 153, p. 514–526. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.132>.
- Zargaran, M., Attari, N. K. A., Alizadeh, S. e Teymouri, P. (2017), Minimum reinforcement ratio in TRC panels for deflection hardening flexural performance, *Construction and Building Materials*, 137, p. 459–469. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.091>.

Aplicação da metodologia GDE/UnB para avaliação do grau de deterioração estrutural de edificação – Estudo de caso em Salvador/BA

L. N. CAIRES¹, V. A. COELHO^{2*}, A. R. A. OMORE³, M. A. MACHADO³,
P. V. G. FREITAS⁴, F. G. S. SILVA⁵

*Autor de Contato: mrvoelho@gmail.com

¹Pós-graduando em Engenharia de Avaliação e Perícia, Universidade Jorge Amado, Salvador, Brasil

²PPEC, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

³Graduado(a) em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁴Área de construção civil, SENAI CIMATEC, Salvador, Brasil

⁵DCE, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

O desempenho das edificações está ligado à sua capacidade de resistir às ações agressivas do meio em que estão inseridas, sendo fundamental para a continuidade de seu uso e garantia de sua segurança que sejam efetuados os procedimentos periódicos de manutenção. As metodologias de diagnóstico do estado de degradação das estruturas auxiliam na identificação do grau de dano e da classificação da urgência de realização de intervenções. Neste sentido, o presente trabalho utilizou a metodologia GDE/UnB para avaliar as manifestações patológicas existentes no pavimento garagem de uma edificação próxima ao mar, na cidade de Salvador, BA. Foram identificadas, majoritariamente, a corrosão das armaduras e a fissuração da estrutura, classificada, conforme o método, com o nível crítico de deterioração, situação em que a necessidade de intervenção é imediata.

Palavras-chave: Degradação; GDE/UnB; Manutenção; Inspeção.

Application of the GDE/UnB methodology to assess the degree of structural deterioration of a building - Case study in Salvador/BA

ABSTRACT

The performance of buildings is connected to their ability to resist the aggressive actions of the environment in which they are inserted. The periodic maintenance procedures of buildings are essential for the continuity of their use and guarantee of safety. Methodologies for diagnosing the state of deterioration of structures help to identify the degree of damage and classify the urgency of interventions. In this sense, the present work used the GDE/UnB methodology to evaluate the pathological manifestations existing in the garage of a building close to the sea in the city of Salvador-BA. Corrosion of the reinforcement and cracking of the structure were mainly identified and the structure were classified with a critical level of deterioration according to the method, a situation in which the need for intervention is immediate.

Palavras-chave: Degradation; GDE/UnB; Maintenance; Inspection.

Aplicación de la metodología GDE/UnB para evaluar el grado de deterioro estructural de un edificio - Estudio de caso en Salvador / BA

RESUMEN

El desempeño de los edificios está ligado a su capacidad para resistir las acciones agresivas del entorno en el que se insertan, siendo fundamental para la continuidad de su uso y garantía de seguridad que se realicen procedimientos periódicos de mantenimiento. Las metodologías para diagnosticar el estado de deterioro de las estructuras ayudan a identificar el grado de daño y clasificar la urgencia de realizar las intervenciones. En este sentido, el presente trabajo utilizó la metodología GDE / UnB para evaluar las manifestaciones patológicas existentes en el pavimento de garaje de un edificio cercano al mar en la ciudad de Salvador-BA. Se identificaron principalmente la corrosión del refuerzo y la fisuración de la estructura, clasificada según el método con un nivel crítico de deterioro, situación en la que la necesidad de intervención es inmediata.

Palavras-chave: Degradación; GDE/UnB; Mantenimiento; Inspección.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho das edificações é entendido como sendo a capacidade destas e de seus sistemas constituintes em resistir às ações do meio em que estão inseridas, juntamente às solicitações do uso para as quais foram projetadas (ABNT, 2013). Há uma redução natural do desempenho das construções, ao longo de sua vida útil, em função do desgaste de seus sistemas. Contudo, há situações em que os fenômenos de degradação são amplificados, seja pelo uso inadequado de materiais, das falhas previstas em projeto, da execução ou da ausência de manutenção adequada. Neste cenário, ocorre a degradação prematura das edificações com aumento progressivo dos custos de manutenção e reabilitação de acordo com o grau de evolução das manifestações patológicas,

além do comprometimento da usabilidade e segurança da estrutura (LIMA et al., 2019; POSSAN, DEMOLINER, 2013).

Assim, cabe destacar a importância das atividades de manutenção, fundamentais para a continuidade das condições de uso das edificações dentro dos níveis desejados de desempenho e de segurança. A ausência de tais práticas, especialmente as de caráter preventivo, prejudicam o bom funcionamento dos sistemas construtivos, acelerando, ainda mais, os danos causados pelos fenômenos deletérios, sendo a adoção destas intervenções uma prática ainda incipiente no cenário nacional (VILLANUEVA, 2015; OLIVEIRA et al., 2018)

O uso de metodologias de diagnóstico do estado de degradação das estruturas atua, fortemente, para a mudança deste cenário, auxiliando, de forma prática e eficaz, a tomada de decisões quanto às práticas de manutenção apropriadas para cada situação, permitindo, ainda, que as manifestações patológicas presentes sejam classificadas quanto à sua gravidade e à urgência de intervenção (LIMA et al., 2019)

A metodologia GDE/UnB propõe a avaliação da estrutura de forma global e localizada por meio de um roteiro de inspeção. Neste, a estrutura é dividida em famílias de elementos estruturais, onde cada elemento é avaliado quanto às possíveis manifestações patológicas existentes e, por sua vez, classificados quanto ao grau de deterioração. As manifestações são ponderadas de acordo com a gravidade que representam para a funcionalidade da família e gravidade dos danos registrados na estrutura avaliada. Os resultados individuais são combinados e fornecem indicadores importantes sobre a deterioração dos elementos, das famílias estruturais e da estrutura como um todo, classificando cada um destes grupos em níveis prioritários para realização de intervenção (FONSECA, 2004).

Proposta inicialmente por Castro (1994), a metodologia GDE/UnB foi aprimorada para diversos usos, sendo adequada para a inspeção de variadas estruturas em concreto armado, desde as edificações convencionais até as obras de arte consideradas especiais (LIMA et al., 2019; GASPARETTO et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2018; GALVÃO, SILVA, 2021)

Dado o exposto, o presente estudo de caso tem como objetivo avaliar as manifestações patológicas presentes em uma edificação residencial situada próxima ao mar, fazendo uso da metodologia GDE/UnB para determinar o nível de deterioração da estrutura, bem como estipular o período mínimo recomendado para realização de manutenções.

2. METODOLOGIA

2.1 Objeto de estudo

A investigação deste trabalho está baseada na análise do pavimento térreo de uma edificação residencial de quatro pavimentos, situada na cidade de Salvador, BA, sendo esta utilizada como edifício garagem. A estrutura possuía aproximadamente 40 anos quando da ocorrência da vistoria, cerca de 380 m² de área construída, distância de apenas 40 m até o mar, sistema construtivo em concreto armado com alvenaria de vedação e acabamento de fachada em pintura.

A proximidade com o mar coloca a estrutura na classe de agressividade ambiental IV da NBR 6118 (ABNT, 2014). A Figura 1 apresenta um croqui do pavimento vistoriado, nela pode-se observar que a estrutura dispõe de 44 pilares, 32 vigas e 9 lajes, sendo o revestimento dos pilares constituído por textura sobre pastilhas cerâmicas e as vigas e pilares revestidas apenas com pintura.

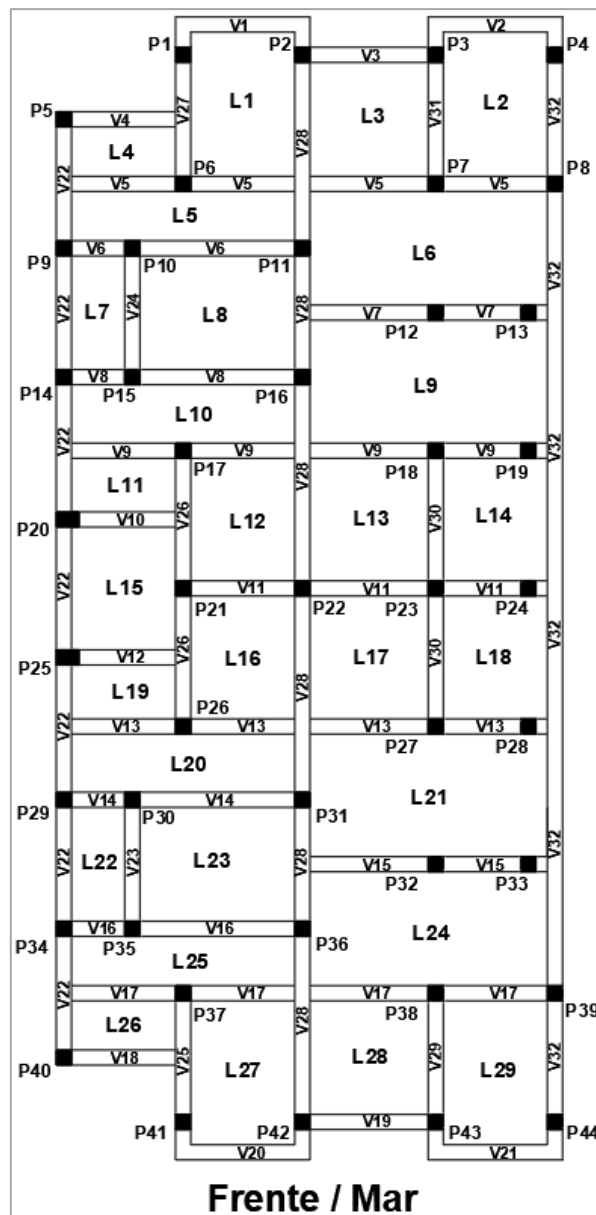


Figura 1 – Croqui da estrutura da garagem

2.2 Metodologia

A metodologia consistiu na inspeção visual in loco associada ao método de avaliação GDE/UnB com base nas diretrizes propostas por Fonseca (2007) para verificação dos danos existentes na estrutura. Durante aplicação do método, foi feita inicialmente a divisão e quantificação dos elementos estruturais, separando-os por famílias de elementos de acordo com sua finalidade estrutural, seguida pela inspeção de cada elemento, com base nas orientações de um caderno de inspeção, sendo atribuídos pesos a cada tipo de manifestação patológica de acordo com o elemento em que se encontra e sua gravidade.

Após cálculo do fator de dano, tem-se um indicativo valioso sobre o estado individual de cada elemento e da estrutura como um todo, sendo possível a categorização do nível de deterioração e recomendação da urgência para tomada de ações preventivas e corretivas.

A Figura 2 apresenta o fluxograma de aplicação do método proposto por Fonseca (2007), sendo suas etapas brevemente descritas em sequência.

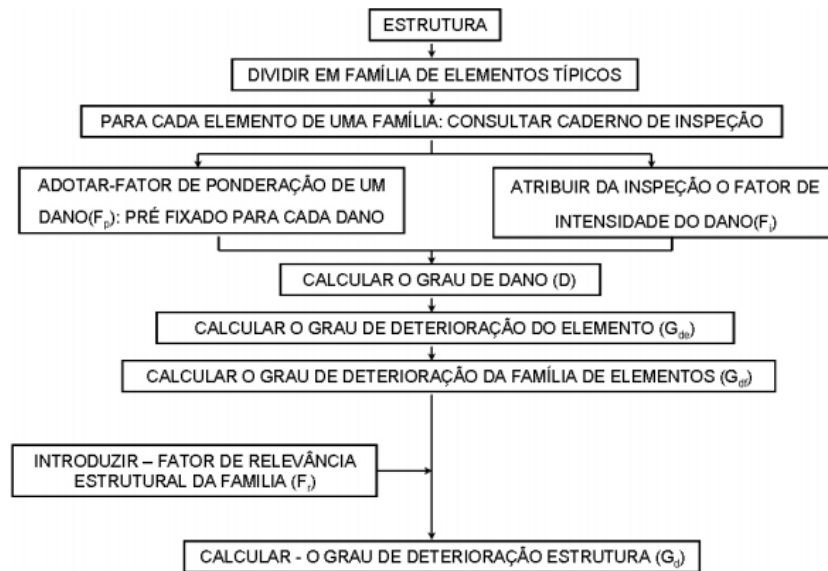


Figura 2 – Fluxograma de aplicação da metodologia GDE/UnB.
Adaptado de Fonseca (2007)

O caderno de inspeções do método GDE/UnB fornece os valores de ponderação de dano (F_p) para cada manifestação patológica em relação ao elemento estrutural onde se encontra. O fator de intensidade (F_i) é determinado pelo avaliador, de acordo com o estado de evolução da manifestação sendo classificada. O caderno de inspeções traz ainda exemplos para auxiliar na determinação do valor de F_i , variando 0 (Inexistente) à 4 (Estado crítico).

Determinados tais fatores, calcula-se o grau de dano associado a cada manifestação por meio da equação (1).

$$\begin{aligned}
 D &= (0,8 * F_i * F_p) && \text{para } F_i \leq 2 \\
 D &= [(12 * F_i - 28) * F_p] && \text{para } F_i > 2
 \end{aligned} \tag{1}$$

Em seguida, é determinado o grau de deterioração do elemento (G_{de}) com a expressão (2), onde “m” representa a quantidade de danos identificados no elemento. Tal indicador é importante para a análise da estrutura e pode ser utilizado para determinar a necessidade de intervenção em cada elemento de forma individual.

$$G_{de} = D_{máx} * \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m D(i) - D_{máx}}{\sum_{i=1}^m D(i)} \right] \tag{2}$$

A próxima etapa da metodologia determina que seja calculado o grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) com base na expressão (3), agrupando-os por grupo estrutural (pilares, vigas, lajes etc.). Importante observar que só contribuem para esta expressão aqueles elementos com G_{de} maior ou igual a 15.

$$Gdf = Gdemáx * \left[\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m Gde(i) - Gdemáx}{\sum_{i=1}^m Gde(i)}} \right] \quad (3)$$

Por fim, determina-se o grau de deterioração da estrutura (Gd) com base na equação (4). Nesta, Fr representa o fator de relevância estrutural, um coeficiente tabelado no caderno de inspeção que busca ponderar a importância relativa de cada família de elementos no comportamento e bom desempenho da estrutura, variando de 1 (elementos arquitetônicos) a 5 (vigas e pilares principais).

$$Gd = \frac{\sum_{i=1}^K Fr(i) * Gdf(i)}{\sum_{i=1}^K Fr(i)} \quad (4)$$

Considera-se que estruturas com valor Gd menores que 15 apresentam baixo nível de deterioração, necessitando apenas de manutenção preventiva. Por outro lado, um Gd maior que 100 caracteriza um estado de degradação crítico, onde medidas emergenciais devem ser adotadas. As classificações do método são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Nível de deterioração da estrutura

Gd	Nível de deterioração	Ações recomendadas
Menor que 15	Baixo	Manutenção preventiva
15 – 50	Médio	Definir prazo para nova inspeção. Planejar inspeção em longo prazo (máximo 2 anos)
50 – 80	Alto	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano)
80 – 100	Sofrível	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses)
Maior que 100	Crítico	Inspeção especializada imediata e adoção de medidas emergenciais.

Adaptado de Fonseca (2007)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Inspeção visual

As figuras 3 a 8 ilustram as principais manifestações patológicas encontradas no pavimento vistoriado. Destacam-se grandes fissurações decorrentes da corrosão avançada das armaduras, deformações excessivas de algumas vigas (que foram escoradas) e o deslocamento do concreto. Sendo que foi constatado, durante a vistoria, a existência de cobrimento insuficiente das armaduras para a classe ambiental da estrutura, variando entre 10 e 20 mm.



Figura 3 – Corrosão na viga V22



Figura 4 – Deslocamento e fissuras, V22



Figura 5 – Deslocamento e corrosão, V25



Figura 6 – Fissuração no fundo da viga



Figura 7 – Fissuração, P14



Figura 8 – Deslocamento com corrosão, P1

3.2 Determinação do grau de deterioração

Neste trabalho, considerou-se um valor de $F_p = 5$ para as fissuras, em virtude de estarem todas associadas à corrosão das armaduras, uma situação de grande relevância na deterioração das estruturas em ambiente com presença de cloretos, e por não existir valor tabelado para tal cenário no caderno de inspeção. Os valores de F_p para as demais manifestações seguiram a sugestão do caderno de inspeção da metodologia GDE/UnB.

Quanto ao F_i , adotou-se valor 4 (crítico) para as fissuras com grande abertura, onde era possível visualizar a armadura do elemento estrutural com estado corrosivo avançado, e 3 (Grave) para as

demais. Para as manifestações de carbonatação e ataque por íons cloreto também se definiu $F_i = 4$, em concordância com os exemplos apresentados pelo caderno de inspeções tomando como base a situação encontrada de exposição das armaduras a uma maior concentração de gases devido ao deslocamento do concreto e proximidade do mar.

O cálculo do grau de deterioração dos elementos é ilustrado na Tabela 2, que traz os resultados encontrados na viga V22, selecionada por ser o elemento visualmente mais danificado, apresentando o maior Gde. As Tabela 3 e Tabela 4 apresentam as tabelas de cálculo dos indicadores Gdf e Gd para as famílias e estrutura, respectivamente.

Tabela 2 – Avaliação da deterioração da viga V22

Nome da Peça		V22		
Local		Garagem		
Item	Patologias	Fp	F _i	D
1	Carbonatação	3	4	60
2	Cobrimento Deficiente	3	3	24
3	Contaminação por Cloretos	4	4	80
4	Corrosão de Armaduras	5	4	100
5	Deslocamento	3	4	60
6	Fissuras	5	4	100
7	Flechas	5	4	100
8	Umidade	3	3	24
Grau de Deterioração do Elemento (GDE)		181,75		
Nível de Deterioração do Elemento		CRÍTICO		

Tabela 3 – Grau de deterioração das famílias

PILARES	
Quantidade de Elementos	44
Soma do GDE	5680,49
Máximo GDE	176,42 P1 e P19
Grau de Deterioração da Família (GDF)	247,54

VIGAS	
Quantidade de Elementos	28
Soma do GDE	4107,94
Máximo GDE	181,75 V22
Grau de Deterioração da Família (GDF)	254,18

VIGAS SECUNDÁRIAS	
Quantidade de Elementos	4
Soma do GDE	643,32
Máximo GDE	176,42 V20 e V21
Grau de Deterioração da Família (GDF)	231,75

LAJES	
Quantidade de Elementos	29
Soma do GDE	2907,78
Máximo GDE	175,25 L22
Grau de Deterioração da Família (GDF)	244,07

Tabela 4 – Grau de deterioração da estrutura

AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA			
Famílias	Gdf	Fr	Gdf x Fr
Pilares	247,54	5	1237,72
Vigas	254,18	5	1270,88
Vigas Secundárias	231,75	4	927,02
Lajes	244,07	4	976,30
Grau de Deterioração da Estrutura (GD)			245,11
Nível de Deterioração da Estrutura			CRÍTICO
Prazo Máximo para Intervenção			Imediato
AÇÃO A SER ADOTADA			
Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção IMEDIATA.			

3.3 Discussão

Foi observada predominância de fissuras e deslocamentos do concreto devido ao processo corrosivo nos elementos estruturais, sendo identificadas também falhas de concretagem, deformações excessivas e manchas devido à infiltração e presença de umidade de forma pontual em alguns elementos.

Todos os elementos estruturais apresentaram Gde maior que 120, com exceção de algumas lajes, que obtiveram Gde = 95. Conforme o caderno de inspeções da metodologia GDE/UnB, tais elementos são todos caracterizados com nível de deterioração crítica (Gde > 80) e tal cenário, já esperado de acordo com o visualmente observado na inspeção, atesta a necessidade de que sejam realizadas inspeções especializadas de forma emergencial com intervenção imediata na estrutura, com seu devido escoramento e avaliação das condições de segurança de uso.

As famílias estruturais apresentaram grau de deterioração semelhante e elevado, caracterizando uma situação alarmante do ponto de vista da segurança e estabilidade estrutural. Os valores elevados contribuíram para o grau de dano associado à estrutura como um todo (Gd = 245,11), muito maior do que o limite que caracteriza o grau crítico de deterioração (Gd = 100). Assim, tem-se como classificação um grau crítico do nível de deterioração da estrutura, que incita a necessidade de intervenções imediatas pois o estado avançado de degradação já compromete a usabilidade da edificação e representa sérios riscos para a segurança dos usuários.

4. CONCLUSÕES

Conforme o exposto, a estrutura vistoriada apresentou sérios sinais de degradação do concreto armado, associados principalmente à ocorrência de corrosão das armaduras em estágio avançado, com deslocamento do concreto e sinais de deformação excessiva dos elementos estruturais, que podem estar associados à perda de capacidade resistente dos elementos. Tais ocorrências podem ter sido potencializadas pela ação combinada dos fenômenos deletérios como a carbonatação do concreto e ingresso de íons cloreto devido às características inadequadas da estrutura (cobrimento deficiente) frente ao seu uso e ambiente altamente agressivo onde está inserida.

Com auxílio da metodologia GDE/UnB foi possível avaliar isoladamente cada elemento estrutural afetado e a estrutura como um todo, sendo constatada criticidade na situação da estrutura frente ao uso a que se destina.

Todos os elementos avaliados foram identificados com estágio sofrível ou crítico de deterioração conforme as tabelas propostas pelo caderno de inspeção da metodologia GDE/UnB e, desta forma, a estrutura, como um todo, também foi classificada em estado crítico. Tal resultado aponta para

uma necessidade de intervenção recuperativa imediata, devendo ser realizadas análises aprofundadas quanto ao estado de degradação do concreto e das armaduras (ex. ensaios de carbonatação e análise de perda de seção resistente do aço) para que sejam determinados os procedimentos de recuperação mais adequados ao caso e, se necessário, execução de reforços estruturais.

Observou-se que a metodologia GDE/UnB fornece indicativos valiosos que podem auxiliar no planejamento e execução da manutenção, recuperação e reabilitação das estruturas ao avaliar não apenas o grau geral de deterioração, mas também as famílias estruturais e elementos individuais. Desta forma, torna-se possível a priorização da intervenção naqueles elementos mais relevantes para a segurança estrutural em situações críticas e planejamento de futuras intervenções e manutenções em outros elementos que apresentem nível de deterioração sofrível, ou inferior, mas que ainda não comprometem a segurança e utilização da estrutura.

Além disso, os indicadores de deterioração também possibilitam que seja feito o acompanhamento do estado das estruturas de forma preventiva por meio de inspeções regulares, permitindo que fenômenos deletérios atuantes sejam identificados e controlados antes que comprometam o desempenho esperado das edificações.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio e incentivo à pesquisa.

6. REFERENCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR 15575-1: *Edificações habitacionais: desempenho – Requisitos gerais*. Rio de Janeiro.

Castro, E. K. (1994). “Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado”. *Dissertação* (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Fonseca, R. P. (2007). “A estrutura do instituto central de ciências: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção”. *Dissertação* (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília.

Galvão, R. R., Silva, F. G. S. (2021). “*Avaliação de Degradação de Estruturas de Concreto em Duas Garagens de Edifícios Residenciais pelo Método GDE/UnB*” in: XVII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções (CINPAR), Fortaleza (Brasil), pp. 699-706.

Gasparetto, A., Pantoja, J. C., R., F. B. (2021). “Metodologia para inspeção e avaliação da segurança e durabilidade de estruturas de concreto armado”. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 4942-4960.

Lima, H. J. N., Ribeiro, R. da S., Melo, G. S. S. de A., & Palhares, R. de A. (2019). "Analysis of pathological manifestations of concrete in urban overpasses". *Revista ALCONPAT*, 9(2), 247 - 259. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i2.308>

Oliveira, F. D., Moreira, L. B., Damaceno, J. R., Teixeira, T. D. S., Silva, J. R. (2018). "A estrutura da UEG (CCET): projeto, execução, intervenções e proposta de estratégias para manutenção (prédios adjacentes)". *Revista Mirante*, v. 11, n. 8.

Possan, E., Demoliner, C. A. (2013). "Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral". *Revista técnico-científica*, v. 1, n. 1.

Villanueva, M. M. (2015). "*A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação*". Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

Tabiques no convencionales a base de residuos plásticos destinados a viviendas rurales

J.A. Zea^{1*}, D. Hernández¹, J.E. Mandujano¹, A. López¹, P. Garnica²

*Autor de Contacto: alex_ze@hotmail.com

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas, México.

² Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo en Infraestructura y Seguridad Vial, México.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño y elaboración de un tabique no convencional adicionado con plástico tipo 1 PET, proveniente del reciclaje de las botellas plásticas de gaseosas como agregado principal dentro de la mezcla, que después de pasar por un proceso de fundición se plantea como un material aglutinante en la elaboración de tabiques. Por esto resulta importante estudiar sus características físicas y mecánicas, los resultados preliminares representan una alternativa viable para la fabricación de tabiques que se utilizan en el proceso de construcción de estructuras de mampostería destinados a viviendas rurales, donde se obtuvieron tabiques con resistencias superiores y comportamientos aceptables de acuerdo a lo requerido por las Normas vigentes.

Palabras clave: Tabique; Desechos; Plásticos; Mampostería; Viviendas.

ABSTRACT

In this work, the design and elaboration of an unconventional partition added with type 1 PET plastic is presented, from the recycling of plastic soda bottles as the main aggregate within the mixture, which after going through a casting process is considered as a binder material in the manufacture of partitions. For this reason, it is important to study their physical and mechanical characteristics, the preliminary results represent a viable alternative for the manufacture of partitions that are used in the process of construction of masonry structures for rural dwelling, where partitions with superior resistance and acceptable behaviors were obtained in accordance with what is required by the current Standards.

Keywords: Brick; Waste; Plastics; Masonry; Dwelling.

RESUMO

Neste trabalho é apresentado o projeto e a elaboração de uma divisória não convencional acrescida de plástico PET tipo 1, a partir da reciclagem de garrafas plásticas de refrigerante como principal agregado da mistura, que após passar por um processo de fundição é considerada como um material ligante em a fabricação de partições. Por este motivo, é importante o estudo de suas características físicas e mecánicas, os resultados preliminares representam uma alternativa viável para a fabricação de divisórias que são utilizadas no processo de construção de estruturas de alvenaria para habitações rurais, onde partições com resistência superior e comportamentos aceitáveis foram obtidas de acordo com o que é exigido pelas Normas em vigor.

Palavras chave: Partição; Desperdício; Plásticos; Alvenaria; Habitações.

1. INTRODUCCIÓN

Mundialmente aumenta el problema causado por la creciente cantidad de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos Sólidos Plásticos (RSP). En los últimos años a nivel mundial se ha generalizado el cuidado del medio ambiente y de recursos naturales; por esto, los materiales plásticos enfrentan hoy uno de los retos más importantes, ya que por sus ventajas de resistencia a la degradación y economía con respecto a otros elementos han sido cuestionadas por su impacto en el medio. (Morales, 2015)

A través del tiempo la industria del plástico ha ido en aumento y ha sustituido diversos materiales tales como el vidrio, la madera y el cloruro de polivinilo (PVC), por el tereftalato de polietileno (PET), ya que el mismo es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a compresión, posee alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y olor de los alimentos, y es una barrera contra los gases. El volumen total de todo el plástico producido es de 8.300 millones de toneladas, del cual 9% se recicla, 12% es incinerado y el 79% es acumulado en los vertederos o entornos naturales este último representa aproximadamente 6.300 millones de toneladas, esta gran cantidad de desechos fue impulsada por la vida moderna, donde el plástico se usa para muchos desechables o de “uso único”, desde botellas de bebidas y pañales, hasta cubertería y cotonetes. (Alesmar et al., 2017)

Las botellas de bebidas son uno de los tipos más comunes de desechos plásticos siendo este de polietileno de alta densidad PET. En el 2016 se vendieron aproximadamente 4.80 billones de botellas de plásticos en todo el mundo, es decir un millón de botellas por minuto. El principal fabricante de botellas es el gigante de las bebidas coca cola la cual en el 2016 fabricó 110.000 millones. (BBC Mundo, 2017). El PET es uno de los materiales más útiles en la vida cotidiana, pero uno de los que genera más contaminación en el mundo. (Alesmar et al., 2017)

Es evidente la problemática actual de disposición de residuos de las ciudades y el interés de solucionarla, con el fin de evitar incrementos en la contaminación y daños ecológicos irreversibles. Con el fin de encontrar soluciones a esta preocupación, la tendencia en diversas investigaciones recientes, han enfocado sus esfuerzos en desarrollar no sólo técnicas y procesos constructivos novedosos, sino productos e insumos de construcción no convencionales, buscando reducir costos finales de proyectos e iniciando la búsqueda de alternativas y modificaciones a mezclas de concreto y mortero que lo permitan. (Criado, 2017)

En el presente estudio se propone el diseño y elaboración de un tabique añadido con materiales no convencionales, en donde destaca el plástico tipo 1 PET, proveniente del reciclaje de las botellas plásticas de gaseosas como un agregado aglutinante obtenido por un proceso de fundición del mismo, para utilizarse en el proceso de construcción de estructuras de mampostería destinados a viviendas rurales.

2. PROCEDIMIENTO

Los diseños de mezcla de los especímenes realizados se basaron en la determinación de la dosificación de cada uno de los materiales utilizados a través de ensayos “prueba-error” hasta lograr una mezcla óptima, que pudiera servir como material aglutinante en el caso específico y como un nuevo método de disposición final de los residuos de PET. Este estudio se enfocará en las pruebas físicas y mecánicas de un tabique no convencional adicionado con plástico tipo 1 PET conforme a los requisitos que estipulan las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de

Estructuras de Mampostería (NTCM, 2017). Los parámetros a considerar en su diseño estarán basadas en características y propiedades de los tabiques de agregados convencionales o de cemento-arena estandarizados en el mercado.



Figura 1.- Forma del tabique no convencional propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

El tabique diseñado y elaborado cuenta con un volumen aproximado de 1728 cm^3 (esto debido a que por proceso constructivo algunas dimensiones pueden variar).

2.1 Proporcionamientos requeridos

2.1.1 Diseño experimental

Se procedieron a elaborar tabiques no convencionales para lo cual se requirió contar con los siguientes materiales: plásticos reciclados (PET tipo 1), arena (tamiz N° 4), moldes para tabiques de $24 \times 12 \times 6 \text{ cm}$, recipientes metálicos, horno de barro tradicional y materiales y equipo necesarios para su funcionamiento y equipo básico del Laboratorio de Tecnología del Concreto para ensayos a compresión (axial, axial en pilas, diagonal y absorción).

Se recolectaron botellas plásticas de PET, de bebidas gaseosas, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Un aproximado de 170 kilogramos (5700 botellas), de las cuáles se estima un 10% de desperdicio aproximado durante el proceso de fundición. Las botellas fueron limpiadas y preparadas para seguir el procedimiento que se muestra en la Figura 2. Las botellas de PET fueron derretidas en un recipiente metálico, el cual se introducía en un horno de barro convencional, tradicional. La temperatura a la cual se fusionaba el PET oscilaba entre 250 y $300 \text{ }^\circ\text{C}$. En el caso del agregado fino se empleó arena, proveniente del Río Santo Domingo de la Ciudad de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. La arena fue tamizada para pasar la malla No. 4 (4.76 mm , tamaño de partícula). Se fabricaron moldes de acero, con una dimensión de $24 \times 12 \times 6 \text{ cm}$.

Debido a que en la literatura no se encuentra mucha información del uso del PET tipo 1, en forma de aglutinante (derretido), en componentes constructivos, para la fabricación de los tabiques se propuso una cantidad de material inicial en base a proporciones de tipo empírica e intuitiva en la fabricación de éstos mismos, pero proponiendo como material aglutinante plástico tipo 1 PET. La cantidad de PET establecida varía en un 18-25 % dentro de la mezcla; por tal motivo, para un volumen de mezcla de 1728 cm^3 que equivale al volumen de un tabique, fijando así una proporción óptima del 22% de PET respecto del agregado fino.

Además se procedió a implementar la metodología siguiente:

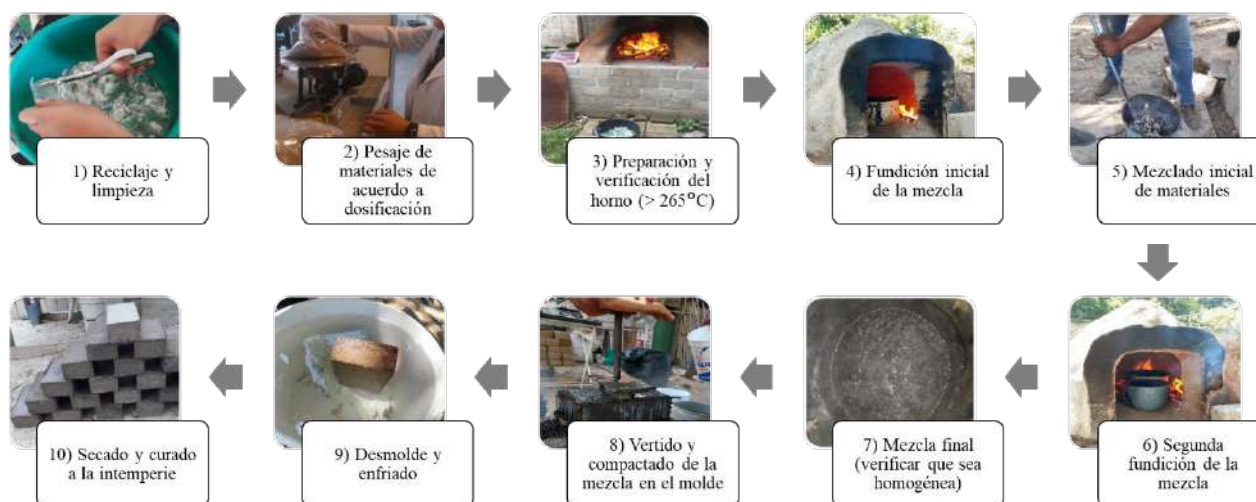


Figura 3.- Secuencia del proceso de fabricación de los tabiques no convencionales
Fuente: Toma propia

2.1.2 Preparación de especímenes

Para este estudio se prepararon en total 155 tabiques (piezas) para las pruebas de resistencia a compresión axial, absorción y humedad, compresión axial en pilas y compresión diagonal (cortante) en muretes.



Figura 4.- Tabiques no convencionales
Fuente: Toma propia.

Tabla 1.- Características de los especímenes y tiempos de prueba para ensayos mecánicos

Prueba	Descripción	Edad de prueba (días)	Número de especímenes
Resistencia a compresión simple (piezas)	Tabiques: 240mm x 120mm x 60mm	28	28
Resistencia a compresión axial en pilas	Altura: 43cm – 44cm	28	10
Resistencia a compresión diagonal en muretes	Diagonal: 50.50cm – 51.00cm	28	10

Fuente: Elaboración propia

Los especímenes fueron ensayados en el Laboratorio de la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Delegación Chiapas. Después de fabricar los especímenes se dejaron enfriar, secar y curar por 24 h a la intemperie. Las edades de ensayo y el número de piezas para cada prueba considerada se muestran en la Tabla 1.

2.1.3 Caracterización de los especímenes en estado endurecido

Resistencia a la compresión

Para los ensayos en especímenes individuales (piezas) se siguió lo establecido en la NMX-C-404-ONNCCE-2012 (Industria de la construcción - Bloques, tabiques o ladrillo tabicones para uso estructural - Especificaciones y métodos de ensayo) y para el caso de pilas y muretes se siguió lo establecido a la NMX-C-464-ONNCCE-2010 (Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes y la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto - Métodos de ensayo). En total se emplearon 20 piezas individuales, 10 pilas y 10 muretes, tal y como se ilustra en la Figura 5.



Figura 5.- Prueba de resistencia a compresión (Izquierda a derecha: Compresión axial por piezas, compresión axial en pilas, compresión diagonal en muretes)
Fuente: Toma propia.

3. RESULTADOS

3.1 Características de los especímenes



Figura 6.- Medición de las dimensiones de la pieza
Fuente: Toma propia

Una vez, reposado los tabiques no convencionales por 28 días de secado a la intemperie, se procedieron a medir las dimensiones y peso de cada una de los especímenes. En la Tabla 2 se muestran cada una de las características geométricas de las piezas.

3.2 Prueba de humedad y absorción

Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua NMX-C-037-ONNCCE. Para absorción total en 24 horas: Se registran las masas de los 5 especímenes ya secos y se sumergen en agua por un periodo de 24 horas. Terminado este periodo se sacan y se elimina el agua superficial con un paño o papel absorbente; se seca también el interior de las celdas, y se vuelve a determinar su masa. (Instituto Mexicano del cemento y concreto, A.C, 2014). Los datos son listados en la Tabla 2 y mostrados en la gráfica de la Figura 7.

Tabla 2.- Características de los especímenes

No. de muestra	Largo, cm	Ancho, cm	Espesor, cm	Peso Seco, kg	Peso Húmedo, kg	Porcentaje de absorción, %
1	23.9	12.1	6.0	3.712	3.777	1.74
2	23.9	11.9	5.9	3.810	3.898	2.30
3	24.1	11.9	5.9	3.550	3.643	2.63
4	23.9	11.8	6.0	3.677	3.766	2.41
5	23.8	12.0	5.9	3.796	3.869	1.92
6	24.0	11.9	6.0	3.652	3.725	2.01
7	23.8	12.0	6.0	3.546	3.624	2.21
8	23.8	12.0	5.9	3.686	3.771	2.31
9	23.9	12.0	5.9	3.622	3.710	2.43
10	24.1	11.9	6.0	3.756	3.852	2.56
11	23.8	11.9	6.1	3.714	3.798	2.27
12	23.9	11.8	5.9	3.822	3.901	2.08
13	23.8	12.0	6.0	3.766	3.854	2.33
14	23.8	11.9	6.0	3.586	3.656	1.94
15	23.9	12.0	5.9	3.732	3.817	2.29
16	24.1	11.9	6.0	3.816	3.913	2.53
17	24.1	11.9	6.1	3.560	3.649	2.49
18	23.9	11.9	5.9	3.814	3.898	2.19
19	24.1	11.8	6.0	3.731	3.803	1.93
20	23.8	12.0	6.0	3.792	3.882	2.37

Fuente: Resultados obtenidos en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería, UNACH, Chiapas.



Figura 7.- Resultados de la prueba de humedad y absorción

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Prueba de compresión simple en especímenes

Los muretes se ensayaron a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se siguió lo estipulado en la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012. A continuación, cada uno de los especímenes obtenidos (piezas) se sometió a las pruebas de compresión a 28 días. La Figura 8 ilustra el ensayo de un tabique individual. La Tabla 3 enlista los datos y resultados del ensayo y las Figuras 9 y 10 la gráfica de los mismos.



$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5 c_p}$$

Figura 8.- Prueba de compresión axial en piezas

Fuente: Toma Propia.

Donde:

f_p^* : Resistencia de diseño a compresión simple en especímenes.

\bar{f}_p : Media de la resistencia a compresión de las piezas, referida al área bruta.

c_p : Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas.

El valor de c_p no se tomará menor que 0.20 para piezas provenientes de plantas mecanizadas que evidencien un sistema de control de calidad como el requerido en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, ni que 0.30 para piezas de fabricación mecanizada, pero que no cuenten con un sistema de control de calidad, ni que 0.35 para piezas de producción artesanal. Los resultados de los ensayos que se obtuvieron para las piezas se resumen en la Tabla 3, en donde se observa que los valores promedio de resistencia de los especímenes individuales (piezas) de tabiques adicionados con plástico tipo 1 PET, es de 193.29 kg/cm² con un coeficiente de variación de 0.35 (NTCM, 2017) y teniendo como resistencia de diseño (F_p^*) 103.05 kg/cm².



Figura 9.- Resultados de la prueba de compresión axial en piezas

Fuente: Elaboración propia.



Figura 10.- Diferencias en resistencias, primera grieta y máxima
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.- Resultados de las pruebas de compresión axial en “piezas”

No. de muestra	Edad, Días	Carga a la primera grieta, kg/cm ²	Resistencia a la primera grieta, kg/cm ²	Carga de ruptura, kg/cm ²	Resistencia máxima, kg/cm ²
1	28	7900	27.32	52100	180.16
2	28	8100	28.48	54300	190.92
3	28	8200	28.59	57000	198.75
4	28	7850	27.83	55600	197.15
5	28	8050	28.19	52900	185.22
6	28	8000	28.01	53500	187.32
7	28	7950	27.84	56150	196.60
8	28	8300	29.06	55000	192.58
9	28	8000	27.89	52600	183.40
10	28	8150	28.42	54250	189.16
11	28	8250	29.13	56000	197.73
12	28	8100	28.72	53900	191.12
13	28	7650	26.79	55150	193.10
14	28	8150	28.78	57200	201.96
15	28	7900	27.55	56100	195.61
16	28	7700	26.85	54000	188.29
17	28	8050	28.07	55700	194.22
18	28	7850	27.60	52400	184.24
19	28	7950	27.96	53700	188.83
20	28	8000	28.01	56500	197.83
Promedio					193.29
Desviación Estándar					5.30
Media					193.23
Coefficiente de Variación					0.35
F_p*(Resistencia de Diseño)					103.05

Fuente: Resultados obtenidos en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería, UNACH, Chiapas.

3.4 Prueba de compresión axial en pilas

Las pilas se ensayaron a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensayo de los especímenes se siguió lo estipulado en la Norma Mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010. Las pilas están formadas por lo menos con tres piezas sobrepuestas. La relación altura a espesor de la pila estará comprendida entre dos y seis; las pilas se ensayarán a la edad de 28 días.



Figura 11.- Prueba de compresión axial en pilas
Fuente: Toma propia.

En la Figura 11 se muestra la pila de tabiques bajo ensayo, en la Figura 12 se muestra el esquema y en la Tabla 4 se muestran las características de las pilas, los resultados de los ensayos a compresión y el tipo de falla observado.

Tabla 4.- Resultados de las pruebas de compresión axial en “pilas”

No. de muestra	P_{max} (carga máxima), kg	t (espesor de la pila), cm	h (altura de la pila), cm	$E=h/t$ (esbeltez)	A (área de la sección), cm ²	f_m (resistencia a compresión axial) kg/cm ²	Tipo de falla
1	15000	12.00	43.00	3.58	516.00	29.07	Normal
2	12100	12.20	43.00	3.52	524.60	23.07	Normal
3	11500	12.10	44.00	3.64	532.40	21.60	Normal
4	11000	12.00	43.50	3.63	522.00	21.07	Pandeo
5	12400	12.00	43.50	3.63	522.00	23.75	Normal
6	13600	12.20	43.00	3.52	524.60	25.92	Normal
7	12700	12.20	43.00	3.52	524.60	24.21	Normal
8	11300	12.00	44.00	3.67	528.00	21.40	Pandeo
9	14200	12.00	43.00	3.58	516.00	27.52	Normal
10	12000	12.10	43.50	3.60	526.35	22.80	Normal
Promedio						24.04	
Desviación Estándar						2.69	
Media						23.91	
Coefficiente de Variación						0.15	
f_m^* (Resistencia de diseño)						17.39	

Fuente: Elaboración propia.

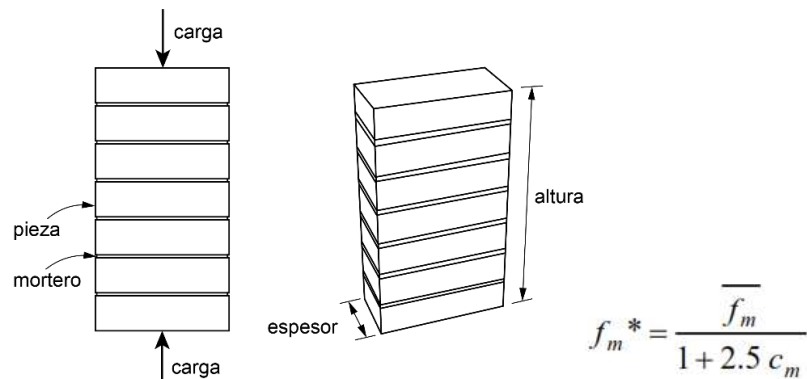


Figura 12.- Representación de la Norma para ensayo a compresión axial en pilas
Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010

Donde:

f_m^* = Resistencia de diseño a compresión en pilas.

$\overline{f_m}$ = Resistencia media a compresión de las pilas, corregida por su relación altura a espesor y referida al área bruta.

c_m = Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las pilas de mampostería, que en ningún caso se tomará inferior a 0.15. (NTCM, 2017)

Como ya se mencionó, los resultados de los ensayos que se obtuvieron para las pilas elaboradas se resumen en las Tabla 6, en donde se observa que los valores promedio de resistencia de las pilas fabricadas con tabiques adicionales con plástico tipo 1 PET, es de 24.04 kg/cm² con un coeficiente de variación de 0.15 (NTCM, 2017) y una resistencia de diseño (f_m^*) igual a 17.39 kg/cm². La gráfica de la Figura 12 ilustra el comportamiento de compresión axial de las pilas ensayadas.



Figura 12.- Resultados de la prueba de compresión axial en pilas
Fuente: Elaboración propia.

3.5 Prueba de compresión diagonal (cortante) en muretes

Para el caso de muretes se ensayaron a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensayo de los especímenes se siguió lo estipulado en la Norma Mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010. En la Figura 13 se muestra el esquema y la Figura 14 el murete de tabiques bajo ensayo.

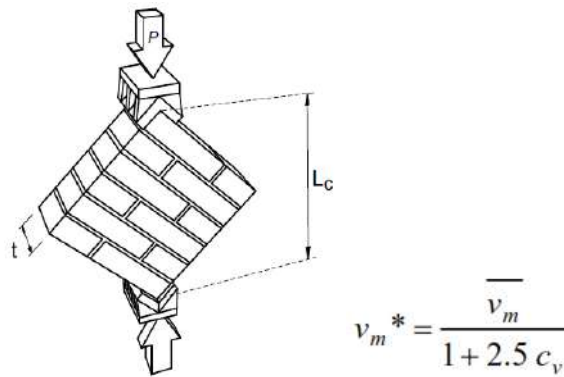


Figura 13.- Representación de la Norma para ensayo a compresión diagonal (cortante) en muretes
Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010

Donde:

v_m^* = Resistencia de diseño a compresión diagonal en muretes.

$\overline{v_m}$ = Resistencia media a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga.

c_v = Coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes, que en ningún caso se tomará inferior a 0.20. (NTCM, 2017)



Figura 14.- Prueba de compresión diagonal en muretes
Fuente: Toma propia.

Los resultados de los ensayos que se obtuvieron para los muretes elaborados se resumen en las Tabla 5 y en la Figura 15 la gráfica del mismo, en donde se observa que los valores promedio de resistencia de los muretes fabricados con tabiques adicionados con plástico tipo 1 PET, es de 13.84 kg/cm² con un coeficiente de variación de 0.20 (NTCM, 2018) y una resistencia de diseño (v_m^*) igual a 9.21 kg/cm².

Tabla 5.- Resultados de las pruebas de compresión diagonal (cortante) en “muretes”

No. de muestra	P_{max} (carga máxima), kg	t (espesor del murete), cm	L_c (longitud de la diagonal), cm	A (área sobre la diagonal), cm ²	V_m (resistencia a compresión diagonal) kg/cm ²	Tipo de falla
1	7900	12.00	50.50	606.00	13.04	Diagonal
2	8250	12.20	51.00	622.20	13.26	Diagonal
3	8100	12.10	51.00	617.10	13.13	Diagonal
4	9400	12.00	51.00	612.00	15.36	Deslizamiento
5	8500	12.00	50.50	606.00	14.03	Diagonal
6	7850	12.20	50.50	616.10	12.74	Deslizamiento
7	8300	12.20	51.00	622.20	13.34	Diagonal
8	8750	12.00	50.50	606.00	14.44	Diagonal
9	9100	12.00	50.50	606.00	15.02	Deslizamiento
10	8650	12.10	51.00	617.10	14.02	Diagonal
Promedio					13.84	
Desviación Estándar					0.89	
Media					13.81	
Coefficiente de Variación					0.20	
V_m^* (Resistencia de diseño)					9.21	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 15.- Pruebas de compresión diagonal en “muretes”

Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La utilización de PET, como material aglutinante dentro de la mezcla, demostró ser factible según los resultados obtenidos en esta primera parte del presente estudio, brindando una alternativa de reciclaje que conduce a reducir el impacto ambiental producido por los desechos industriales y urbanos. Es importante señalar que para los fines de la presente investigación se enfocó en conocer las propiedades físicas y mecánicas que brindan estos nuevos materiales.

La fabricación de PET demanda un consumo energético alto que puede ser recuperado reutilizando dicho material en lugar de desecharlo, esto debido a que su degradación es muy lenta y ocasiona problemas ambientales, motivo por el cual se busca implementarlo como material constructivo no convencional. Cabe resaltar que es escasa la bibliografía relacionada con la mampostería estructural, tampoco estudios realizados a los materiales no convencionales de este trabajo, lo que hace que este proyecto sea una primera aportación en este sentido.

La producción del tabique no convencional en cuestión se hizo de manera artesanal, salvo el hecho de utilizar otros materiales menos comunes como el plástico tipo 1 PET. La selección y cantidad de los materiales que se utilizaron en la elaboración de este tabique se iniciaron de manera inicial empírica e intuitiva, ya que no hay estudios que respalden la fabricación ni las características físico-químicas de estos materiales empleados, ni proporciones de los materiales, destacando que dentro del proceso no se usa agua, lo que da por resultado un producto que preserva y conserva el vital líquido.

Hoy en día no se encuentra disponible un control de calidad en la producción en ninguna zona estudiada. Las dimensiones del tabique fabricado (6-12-24) son las variables que presentan un coeficiente de variación más bajo, con valores similares y por encima de la zona de estudio, sin embargo no cumplen con las dimensiones mínimas (7-14-28), especificadas por las normas (NMX-404-2012-ONNCCE).

Para obtener productos de mejor calidad, que cumplan con la normatividad, se recomienda realizar estudios sobre las características y propiedades físico químicas de los materiales que se utilizan en la fabricación del tabique no convencional, a fin de determinar los tipos de material y el proporcionamiento adecuado de los mismos. Estandarizar y tecnificar el proceso de fabricación para que las características de la producción sean semejantes.

Las condiciones en las que se realizó este estudio fueron modestas, por lo que se recomienda seguir trabajando sobre el tema, promoviendo en el sector público y privado las ventajas de este tipo de investigaciones, dada la importancia e impacto que tiene este material en la construcción masiva de vivienda.

A futuro se pretende mejorar la elaboración de los tabiques, profundizar en los estudios mecánicos y de durabilidad, así como realizar un análisis Energético y de huella de carbono, para sustentar los costos ambientales derivados del proceso, dado que pueden ser propuestas para líneas de investigación. Los resultados obtenidos en este trabajo son un primer paso del amplio campo que requiere ser estudiado y analizado, como pueden ser entre otros el proceso de fabricación, control de calidad y normatividad del tabique.

Esperando que este esfuerzo sea la base para futuros trabajos que puedan complementar este conocimiento sobre algo tan sencillo en su apariencia pero tan complejo en su estructura y comportamiento, como son las estructuras de mampostería que es utilizada en forma indiscriminada en el Estado de Chiapas, México.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, México, por las facilidades otorgadas al proyecto para su realización y el uso de los diversos laboratorios existentes para llevar a cabo los estudios y ensayos correspondientes, así como también al Laboratorio de Materiales de la Unidad de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Delegación Chiapas, México.

6. REFERENCIAS

- Alesmar, L., Rendón, N., Korody, M. E. (2008). Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) - cemento. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23(1), 76-86.
- Amariz, A. D. M., Jiménez, M. L. C. (2014). Diseño y fabricación de ladrillo reutilizando materiales a base de PET. *Inge Cuc*, 10(2), 76-80.
- Arroyo, M., Cabrera, O., & Muñoz, M. (2002). Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del tabique rojo recocido, utilizado en la construcción del Municipio de Querétaro. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*.
- BBC Mundo. (2017). 5 gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta. Junio 20, 2021, de BBC Mundo News Sitio web: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901>
- Cañizares, F. F., Moreno Cárdenas, R. A. (2011). *Agregado alternativo para la elaboración de Bloques y Adoquines a base de Polietileno Tereftalato* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2011).
- Cámara de Diputados H. congreso de Unión. (s.f.). En México, 90 millones de botellas de plástico de refrescos y agua son lanzados a la vía pública, ríos y mares. Recuperado el 30 de Abril de 2019, de <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/Comunicacion/Boletines/2017/Abril/13/3469-En-Mexico-90-millones-de-botellas-de-plastico-de-refrescos-y-agua-son-lanzados-a-la-via-publica-rios-y-mares>
- Criado, M. (20 de 07 de 2017). Los humanos ya han generado 8.300 millones de toneladas de plástico. *EL PAIS*.
- Flores, L. (2015). Norma Mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010, Ensaye de Muretes y Pilas. Diciembre 21, 2021, de Coordinación Nacional de Protección Civil, México Sitio web: <https://www.smie.org.mx/archivos/eventos/2015/agosto/ponencia-mexico-cambio-para-siempre-desde-1985-norma-mexicana-nmx-c-464-onncce-2010-ensaye-muretes-pilas-leonardo-flores.pdf>
- Morales, R. O. D. M. (2015). Diseño y Elaboración de un Sistema de Adoquines de Bajo Costo y Material Reciclado para Construcciones en Núcleos Rurales. *REVISTA ESAICA*, 1(1), 30-38.
- Mexicana, N. NMX-C-404-ONNCCE-2012. – Industria de la construcción - *Bloques, tabiques o ladrillo tabicones para uso estructural - especificaciones y métodos de ensayo*.
- Mexicana, N. NMX-C-464-ONNCCE-2010. - *Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes y la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto - Métodos de ensayo*.
- Morales, C. E., Pérez, B. E. (2018). *Determinación de la conductividad térmica y resistencia mecánica de ladrillos y placas conformadas de cemento y polietileno tereftalato (PET)* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

- Piñeros, M. E., Herrera Muriel, R. D. D. J. (2018). Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda.
- Quevedo, S. G., Guamán, C. A. (2014). *Proyecto de Factibilidad para la Producción de Eco-Adoquines Peatonales Mediante la Reutilización de Desechos Plásticos (Pet)* (Bachelor's thesis).
- Salazar, J. (01 de 2019). Chiapas no recicla; el plástico llega a ríos. *EL DIARIO DE CHIAPAS*.
- Subdirección de Legalidad. (2017). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Junio 21, 2021, de Gobierno de la Ciudad de México, Secretaría de la Contraloría General Sitio web: http://www3.contraloriadf.gob.mx/prontuario/index.php/normativas/Template/ver_mas/65838/39/1/1
- Zavala, G. (2015). Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado. *Informe final de investigación. Escuela especializada en ingeniería itca-fepade dirección de investigación y proyección social*.
- Zea, J, Alonso, F. A., Mandujano, J. E. (2017). “*Diseño y elaboración de adoquines no convencionales destinados al tránsito ligero mediante la reutilización de desechos plásticos*”. Congreso Mesoamericano de Investigación UNACH, 1472-1476.
- Zúñiga, A. (2015). Evaluación del tereftalato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto. 7, 8.

ANÁLISE DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE GETÚLIO VARGAS NA ILHA DE ITAMARACÁ

B. Liberal¹, S. Marques², F. Maranhão³, J. Moura^{4*}, H. Batista⁵, B. Almeida⁶

*José Maria de Moura Júnior: jmmj@poli.br

¹ Graduada em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

² Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

³ Graduada em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

⁴ Mestrando em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

⁵ Graduada em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

⁶ Graduada em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

RESUMO

A ponte Getúlio Vargas possui um histórico recorrente de manifestações patológicas e ausência de manutenções por parte do poder público e, por esse motivo, deve ser inspecionada periodicamente. Atualmente, a ponte encontra-se em processo de recuperação estrutural. Assim, objetivou-se acompanhar as etapas de execução do processo de recuperação estrutural e avaliar as medidas adotadas de acordo com o projeto executivo e a bibliografia existente. A metodologia baseou-se no acompanhamento da recuperação estrutural da ponte mediante visitas em campo, na qual foram realizadas inspeções visuais para registro do processo. Todos os elementos que foram recuperados tiveram sua condição de estabilidade melhorada, com exceção da laje do tabuleiro. Pode-se concluir que a estrutura da ponte não se comportou de forma monolítica ao longo dos anos. É possível afirmar que, com a finalização das obras, a durabilidade da Ponte Getúlio Vargas será estendida e, para que não volte a apresentar estados sofríveis de deterioração, é necessário que haja manutenções preventivas no futuro.

Palavras chave: Pontes; Recuperação Estrutural; Manifestações Patológicas; Obras de Arte.

ABSTRACT

The Getúlio Vargas Bridge has a recurrent history of pathological manifestations and lack of maintenance by the government and, for this reason, it must be inspected periodically. Currently,

the bridge is in the process of structural recovery. Thus, the objective was to follow the stages of execution of the structural recovery process and evaluate the measures adopted in accordance with the executive project and the existing bibliography. The methodology was based on monitoring the structural recovery of the bridge through field visits, in which visual inspections were carried out to record the process. All the elements that were recovered had their stability condition improved, with the exception of the deck slab. It can be concluded that the bridge structure did not behave in a monolithic way over the years. It is possible to affirm that, with the completion of the works, the durability of the Getúlio Vargas Bridge will be extended and, so that it does not return to sufferable deterioration, it is necessary to have preventive maintenance in the future.

Keywords: Bridges; Structural recovery; Pathological manifestations; Special Engineering Structures.

RESUMEN

El Puente Getúlio Vargas tiene una historia recurrente de manifestaciones patológicas y falta de mantenimiento por parte del gobierno y, por ello, debe ser inspeccionada periódicamente. Actualmente, el puente se encuentra en proceso de recuperación estructural. Así, el objetivo fue seguir las etapas de ejecución del proceso de recuperación estructural y evaluar las medidas adoptadas de acuerdo con el proyecto ejecutivo y la bibliografía existente. La metodología se basó en el seguimiento de la recuperación estructural del puente mediante visitas de campo, en las que se realizaron inspecciones visuales para registrar el proceso. Todos los elementos recuperados mejoraron su estado de estabilidad, a excepción de la losa de tablero. Se puede concluir que la estructura del puente no se comportó de forma monolítica a lo largo de los años. Cabe afirmar que, con la finalización de las obras, se ampliará la durabilidad del Puente Getúlio Vargas y, para que no vuelva a sufrir estados de deterioro, es necesario contar con mantenimientos preventivos en el futuro.

Palabras clave: Pontes; Recuperação Estrutural; Manifestações Patológicas; Obras de Arte.

1. INTRODUÇÃO

O sistema construtivo de concreto armado passou a ser utilizado no Brasil na primeira década do século XX, inicialmente em obras de arte especiais (OAEs), como pontes e viadutos e, posteriormente, devido às mudanças políticas e ao crescimento da industrialização, passou também a ser utilizado em edificações (Santos, 2008).

Em relação ao processo construtivo, Mattje (2003) observa que, no passado, as estruturas de concreto armado eram projetadas de forma que a robustez das peças eram maiores, fazendo com que elas pudessem resistir durante anos sem comprometer sua integridade. Essa robustez se dava pelo superdimensionamento pelos seus altos índices de fator de segurança, a fim de evitar colapso progressivo ou danos maiores a estruturas. Porém, por mais robusta que seja a estrutura, ela ainda está sujeita a processos de deterioração, fazendo-se necessária a realização de manutenções preventivas ou corretivas nos elementos estruturais.

Por muito tempo, acreditou-se que as estruturas feitas desse material não sofriam deterioração com o tempo, mas Banduk (2008) aponta que essa ideia foi colocada à prova quando começaram a ser observados casos de estruturas com necessidade de reabilitação e recuperação estrutural, quando ainda não havia conhecimento de técnicas e materiais adequados para execução dessas operações.

A maior parte das pontes que constituem a malha rodoviária federal brasileira é feita de concreto armado e possui idade superior a 30 anos, fator que torna escassas as informações acerca de seus projetos estruturais originais (Mendes et al., 2012). Essas estruturas, por serem antigas, foram executadas em desacordo com os padrões normativos vigentes e, por este motivo, é de suma importância considerar medidas mitigadoras dos efeitos negativos resultantes da deterioração nos elementos estruturais.

Com idade superior a 80 anos, a Ponte Getúlio Vargas foi construída em concreto armado e está localizada em região litorânea, com um fator de elevado risco de deterioração da estrutura. Como consequência, apresenta diversas manifestações patológicas e tornou-se motivo de preocupação para a população itamaracaense, tendo em vista que é a única estrutura que dá acesso ao município.

No ano de 2017, foi emitido um laudo técnico indicando que a estrutura havia atingido o estado limite de serviço (ELS), um indicador definido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) relacionado à aparência e durabilidade da estrutura, atestando a necessidade imediata de serem realizadas intervenções a fim de garantir a segurança e bem estar dos usuários.

Marques et al. (2018) observam que a Ponte Getúlio Vargas possui grande valor social e cultural e, por esse motivo, deve ser inspecionada de forma periódica por possuir um histórico recorrente de manifestações patológicas e ausência de manutenções por parte do poder público.

É visível a importância da recuperação estrutural da ponte, que é o único meio de acesso viário ao município de Ilha de Itamaracá, fazendo-se essencial para a população de mais de 25 mil habitantes (IBGE, 2020). Por este motivo, é necessário garantir soluções adequadas de reforço e recuperação estrutural para a ponte, com o objetivo de estender sua durabilidade. Assim, objetiva-se acompanhar as etapas de execução do processo de recuperação estrutural e avaliar as medidas adotadas de acordo com o projeto executivo e a bibliografia existente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Sendo o concreto armado o principal sistema utilizado na construção civil, a falta de conhecimento em relação aos materiais utilizados, bem como a sua concepção, projeto, construção e manutenção podem resultar em grandes perdas diretas ou indiretas para a sociedade (Grochoski; Helene, 2008).

Aliada a essa ideia, Tomazelli (2019) assinala que, desde que sejam projetadas e construídas seguindo os padrões de qualidade presente nas normas técnicas e em concordância com o meio em que se encontram, as estruturas de concreto armado são capazes de se manter duráveis ao longo dos anos.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define a vida útil do concreto como o período em que as características das estruturas são mantidas, de forma a atender os requisitos determinados em projeto. No entanto, nem sempre é possível ter acesso aos projetos estruturais originais de construções antigas, fator que dificulta o processo de análise dos critérios adotados na construção. Branco et al. (2013) discorrem sobre o conceito de vida útil estrutural, que está associado a questões de segurança e utilização da estrutura e que depende essencialmente da evolução das ações atuantes sobre a estrutura e dos materiais utilizados. Ao se projetar uma estrutura para sua vida útil estrutural, garante-se que, dentro desse período, não haverá situações de colapso e nem comprometimento da estrutura.

A vida útil de uma estrutura está diretamente ligada com a durabilidade, que é definida pelo ACI Committee 201 (2001) como a capacidade que o concreto tem de suportar à ação de intempéries, ataque químico ou outros tipos de deterioração.

Grochoski e Helene (2008) apontam que as estruturas de concreto armado têm potencial para apresentarem uma vida útil muito superior a 50 anos, porém estão se deteriorando de forma precoce mesmo antes de atingir essa idade.

O valor adotado para a vida útil em estruturas de concreto gira em torno de 50 anos, podendo ser maior no caso das pontes, chegando a 100 anos (Andrade, 1997). Ao atingir a idade prevista em projeto para sua vida útil, a probabilidade de ocorrência de colapso na estrutura aumenta, pois os valores característicos das ações que atuam sobre ela tendem a aumentar com o tempo (Branco; Paulo, 2012).

2.1 Recuperação Estrutural

O conhecimento dos mecanismos responsáveis pela formação das manifestações patológicas possibilitou estudar as técnicas adequadas para solucionar esses problemas. De acordo com Reis (2001), a recuperação de estruturas surgiu como um forte mercado da indústria da construção civil. A recuperação de estruturas atende a necessidade de reestabelecer as condições originais de estruturas danificadas, enquanto o reforço de estruturas promove a adequabilidade da capacidade resistente delas.

Existem diversos métodos de recuperação e reforço de estruturas. A escolha desses métodos e dos materiais a serem empregados na recuperação estrutural dependem do diagnóstico do problema, das características da região a ser recuperada e das exigências do funcionamento do elemento a ser recuperado (Helene, 1992).

Os critérios de seleção para a técnica a ser adotada nos reparos se dão por diversos fatores, sendo eles: a característica dos danos, a urgência do reparo, a acessibilidade da área a ser reparada, o material a ser utilizado, a confiabilidade na empresa que irá realizar o reparo e os aspectos econômicos (Aguado et al., 2003).

3. ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento do trabalho, o objeto de estudo foi a Ponte Getúlio Vargas, localizada no estado de Pernambuco. No período de fevereiro a abril do ano de 2021, foram realizadas visitas em campo para acompanhar seu processo de recuperação estrutural.

Além da utilização das normas técnicas, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de modo a reunir estudos desenvolvidos anteriormente na Ponte Getúlio Vargas. Nesta seção, serão apresentadas as características da área de estudo, bem como seu contexto histórico e as manutenções anteriormente realizadas na estrutura.

3.1 Contexto histórico

A ponte foi inaugurada no ano de 1939 sobre o Canal de Santa Cruz, sob o contexto da construção de uma Penitenciária Agrícola na Ilha de Itamaracá. Mota (1985) aponta que a construção da obra de arte marcou uma nova era de progresso para Itamaracá, facilitando a locomoção de seus habitantes, que não compreendiam a ilha isolada do resto do continente.

Apesar de ter melhorado completamente o contexto da região, também havia algumas dificuldades enfrentadas em relação à largura da ponte, que não permitia o tráfego de dois veículos em sentidos contrários.

Construída pela Secretaria de Viação de Obras Públicas, sob a responsabilidade do engenheiro Manuel César de Moraes Rêgo, a ponte Getúlio Vargas, com apenas 5,50m de largura, quarenta e cinco anos depois de inaugurada, acha-se obsoleta para o tráfego de veículos pesados, ônibus e caminhões, principalmente. Com essa largura, não permite a passagem de dois ônibus, em sentido contrário, e qualquer movimento maior de automóveis. Nos fins de semana, por exemplo, causa

incríveis engarrafamentos, com intermináveis filas de carros entre Itapissuma e Itamaracá. (Mota, 1985, p.70)

3.2 Caracterização da área de estudo

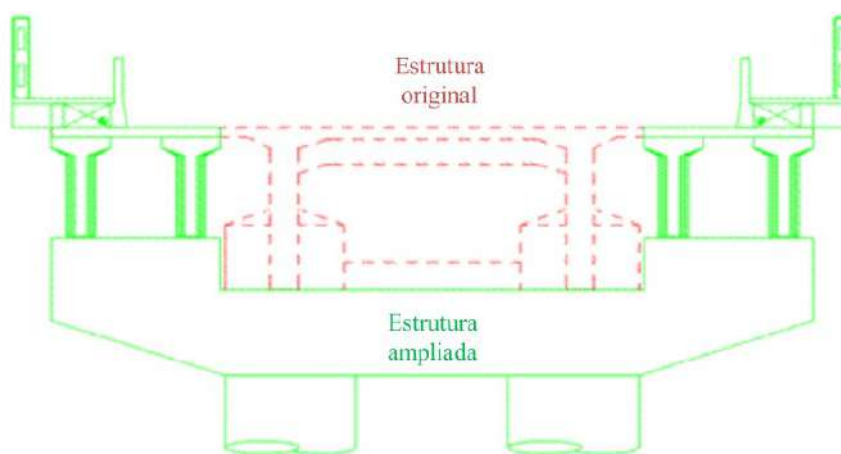
A Ponte Getúlio Vargas, popularmente conhecida como “Ponte de Itamaracá”, está inserida na Região Metropolitana do Recife, no litoral norte do estado, a cerca de 50km da capital. Foi inaugurada no ano de 1939 sobre o Canal Santa Cruz, sendo a única estrutura responsável por ligar os municípios de Itapissuma e Ilha de Itamaracá.

A Ponte Getúlio Vargas possui 19 vãos e um comprimento total de 372,38 metros. Os vãos centrais da estrutura têm, em média, cerca de 20 metros de comprimento, enquanto os vãos de extremidade são menores, com 16,40 metros. A estrutura original da ponte foi construída com as longarinas engastadas nos pilares, de modo que a estrutura é hiperestática.

3.3 Histórico de manutenções e manifestações patológicas

Em 1995, foram realizadas pelo Departamento de Estradas e Rodagem (DER) intervenções de reforço na ponte, atribuindo à estrutura um alargamento do tabuleiro, aumentando a largura da faixa de rolamento para 7,20 metros, com dois passeios medindo 1,15 metros cada (Fragoso; Vitorio, 2016).

Na Figura 1, é possível observar a inclusão da estrutura anteriormente mencionada, sendo a estrutura antiga representada em vermelho e a estrutura ampliada em verde. Para a execução da ampliação da faixa de rolamento e inclusão dos passeios, foram executadas quatro longarinas em concreto protendido e vigas travessas para o apoio delas (Matos, 2017).



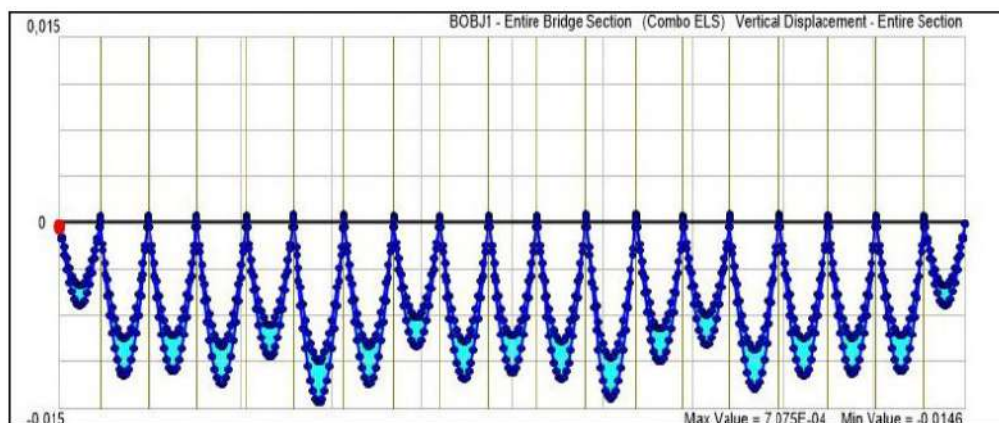
Fonte: Matos et al., 2018.

Figura 1. Ampliação da seção transversal da Ponte Getúlio Vargas

Com essa ampliação, a ponte passou a permitir a passagem de dois veículos em sentidos contrários, até então não sendo possível devido à pequena largura. Além disso, também foram incluídos elementos de segurança como as defensas para os veículos e os guarda-corpos para os pedestres.

Por ser antiga, não há informações disponíveis acerca do projeto estrutural original da ponte, o que torna difícil analisar se houve erros em fase de projeto. Visando avaliar o desempenho da ponte a nível estrutural, Marques et al. (2018) observaram por meio do software CSI Bridge que o dimensionamento original da ponte atendia satisfatoriamente às ações e carregamentos atuantes. A Figura 2 apresenta o análise dos deslocamentos verticais (eixo vertical) para o

carregamento atuante em relação ao tabuleiro da ponte (eixo horizontal), tendo sido verificado que estes deslocamentos encontram-se dentro dos limites aceitáveis para a estrutura.



Fonte: Marques et al., 2018.

Figura 2. Deslocamentos verticais da estrutura original

Os deslocamentos foram obtidos utilizando a combinação frequente de ações especificadas na NBR 6118 (ABNT, 2014), para o estado limite de serviço (ELS).

Em um estudo realizado por Fragoso e Vitória (2016), foram mapeadas as manifestações patológicas encontradas na Ponte Getúlio Vargas por meio de inspeções visuais em campo, bem como suas possíveis causas. As informações obtidas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Manifestações patológicas encontradas na Ponte Getúlio Vargas e suas prováveis causas

Elemento estrutural	Manifestações Patológicas	Principais causas
Blocos de fundação	Incrustação biológica	Oscilação da maré
Pilares	Incrustação biológica	Oscilação da maré; penetração de íons cloreto; alta porosidade do concreto; cobrimento insuficiente de armaduras
Vigas travessas	Corrosão de armaduras; fissuração; destacamento do cobrimento; manchas de oxidação	Respingos de maré; penetração de agentes agressivos; infiltrações pela junta de dilatação; cobrimento insuficiente; alta porosidade do concreto
Transversinas	Mofo; bolor; eflorescência; corrosão de armaduras	Fissuras no pavimento. Infiltração no tabuleiro; falhas no sistema de drenagem
Longarinas	Corrosão de armaduras; e florescência; mofo; bolor	Infiltrações no tabuleiro; falhas no sistema de drenagem
Tabuleiro	Infiltrações; eflorescência; mofo; bolor; corrosão de armaduras	Fissuras no pavimento; deformação devido à variação da temperatura e cargas móveis; entrada de umidade
Juntas de dilatação	Desgaste e ausência dos lábios poliméricos; infiltrações	Deterioração por abrasão pelo fluxo de carros; movimentação estrutural pela variação térmica e cargas móveis
Passeios	Corrosão de armaduras; manchas de	Penetração de íons cloreto;

	oxidação; destacamento do cobrimento; colapso dos elementos	cobrimento insuficiente; elevada porosidade do concreto
--	----------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------

Fonte: Adaptado de Fragoso e Vitório (2016).

Os passeios e o guarda-corpo, além de apresentarem os problemas listados anteriormente, haviam atingido o estado limite último (ELU). Por esse motivo, foi necessário realizar a demolição total desses elementos, que passaram por um processo de reconstrução no ano de 2017. Com exceção dos passeios e guarda-corpo, não foram realizadas manutenções em outros elementos estruturais até o ano de 2020, desde a última ampliação.

4. METODOLOGIA

O estudo teve início em fevereiro de 2021, por meio de pesquisas na literatura existente sobre os aspectos que englobam este trabalho. Inicialmente, foi realizada uma visita à Ponte Getúlio Vargas acompanhada pelo responsável técnico do projeto de recuperação estrutural, em que foram registradas as fotografias que abordam as etapas de execução do projeto que serão apresentadas.

Por meio do responsável técnico, foi obtido um relatório técnico emitido no ano de 2017 sobre o diagnóstico da ponte àquela altura. Além disso, também foi obtido o projeto executivo de recuperação estrutural que estava sob responsabilidade do Departamento de Estradas e Rodagem (DER).

Em contato com o engenheiro responsável pela execução do projeto, foi possível obter os ensaios de resistência à compressão do concreto a ser utilizado nos elementos que foram recuperados até o momento de conclusão do trabalho, em abril de 2021, do primeiro ao quinto vão da ponte. Além disso, foram disponibilizadas várias imagens que serviram para a criação desse artigo (todas foram creditadas aos devidos autores).

Mediante visitas em campo, foram realizadas inspeções visuais para classificar os elementos estruturais da ponte de acordo com as recomendações presentes na norma DNIT 010 (DNIT, 2004), relativa à inspeção de pontes e viadutos de concreto armado e protendido.

4.1 Ensaio de resistência à compressão.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão no concreto aplicado nas estruturas a serem reforçadas, para garantir que o valor do f_{ck} estava de acordo com o valor previsto em projeto, que era de 50MPa. Para isso, foram coletadas amostras do concreto moldadas in loco, em corpos de prova cilíndricos de 10x20cm, que foram rompidos nas idades de 7 e 28 dias.

A empresa de consultoria contratada pela empresa executora do projeto para realizar os ensaios utilizou como equipamento a Prensa Hidráulica Contenco. Neste ensaio, foram indicadas as cargas máximas de ruptura do corpo de prova em toneladas, bem como a resistência característica do concreto em MPa.

4.2 Recuperação estrutural

O projeto executivo, de responsabilidade do DER, foi elaborado para toda a extensão da ponte, exceto passeios e guarda-corpo, que já haviam sido recuperados anteriormente. Para todos os elementos estruturais, foi especificado um concreto com f_{ck} igual a 50MPa. Inicialmente, foi realizado o isolamento com tapumes laterais por toda extensão da ponte e construídos andaimes suspensos. A locação dos andaimes pode ser observada nas Figuras 3 (a) e (b).



Fonte: Tiago Cobra (2020)

Figura 3. a) Locação dos andaimes tubulares b) Andaimes suspensos

Também foi necessária a utilização de uma balsa para o preparo do concreto projetado a ser utilizado nos elementos estruturais, bem como a utilização de uma embarcação de apoio. A balsa e a embarcação podem ser observadas nas Figura 4 (a) e (b).



Fonte: Tiago Cobra (2020)

Figura 4. a) Balsa b) Embarcação de apoio

5. RESULTADOS

5.1 Avaliação dos elementos estruturais.

Com base nas visitas de inspeção realizadas acompanhadas pelo responsável técnico do projeto de recuperação estrutural, em conjunto com os estudos anteriormente realizados na ponte, chegou-se às análises apresentadas na apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Avaliação do estado da ponte antes e após o processo de recuperação estrutural.

Elemento estrutural	Nota antes do processo de recuperação	Condição de estabilidade inicial	Nota após o processo de recuperação	Condição de estabilidade final
Blocos de fundação	2	Sofrível	5	Boa
Pilares	2	Sofrível	5	Boa
Transversinas	2	Sofrível	5	Boa
Longarinas centrais	2	Sofrível	5	Boa
Longarinas de periferia	4	Boa	5	Boa

Todos os elementos que foram recuperados tiveram sua condição de estabilidade melhorada, com exceção da laje do tabuleiro, tendo em vista que as medidas tomadas interferiram no estado do elemento apenas de maneira superficial.

Os blocos de fundação, pilares, transversinas e longarinas centrais apresentavam as situações mais críticas, podendo ser justificado por serem elementos estruturais originais, que não haviam passado por manutenções.

Os aparelhos de apoio não puderam ser avaliados, pois até o momento de conclusão do estudo ainda não haviam sido recuperados. Espera-se, baseado nas medidas adotadas em projeto que foram apresentadas anteriormente, que a condição de estabilidade final seja classificada como boa, pois os aparelhos de apoio serão totalmente renovados.

Os passeios e guarda-corpo haviam sido recuperados no ano de 2017 e não apresentaram sinais de comprometimento estrutural no momento da análise. Era esperado que estivessem em melhores condições que os demais elementos da ponte, que não haviam passado por manutenções anteriormente.

5.2 Ensaio de resistência a compressão.

Os valores de resistência característica obtidos aos 28 dias foram organizados no gráfico presente na Figura 5. Pode-se observar que, das dezoito amostras rompidas com idade de 28 dias, apenas uma não alcançou o valor de f_{ck} especificado em projeto, que foi de 50MPa.

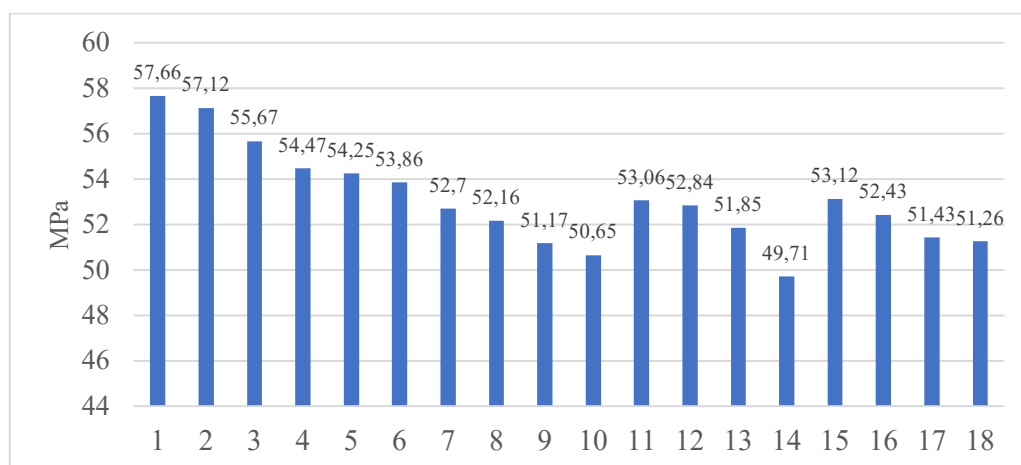


Figura 5. Valores característicos de resistência dos corpos de prova aos 28 dias.

O corpo de prova que apresentou f_{ck} inferior ao esperado pertence ao terceiro vão da viga, sentido Itapissuma-Itamaracá. O valor foi apenas 0,58% menor do que o valor especificado em projeto, podendo ser desconsiderado.

5.3 Recuperação estrutural.

Nesta seção, serão apresentados os registros fotográficos das etapas de recuperação que foram acompanhadas. Estão descritos os procedimentos realizados nos blocos de fundação, vigas, pilares, laje e as medidas previstas para a troca dos aparelhos de apoio, que não puderam ser acompanhados.

5.3.1 Blocos de Fundação

Inicialmente, foi realizada a limpeza do material incrustado nos blocos de fundação de forma manual. Após a retirada da bioincrustação marinha, foi realizada uma escarificação mecânica nos blocos, com profundidade de três a seis centímetros, indicada na Figura 6 (a).



Fonte: Tiago Cobra (2020)

Figura 6. a) Bloco de fundação escarificado b) Tratamento de fissuras e trincas

Após a limpeza da superfície, foi realizado um tratamento de trincas e fissuras por injeção de resina epóxi, que pode ser observado na Figura 6 (b). Em seguida, os blocos de fundação foram encamisados (Figura 7 (a)) com as armaduras de reforço especificadas no projeto executivo, uma malha nervurada do tipo Telcon Q92, que têm como objetivo dar aderência ao graute a ser jateado e evitar possíveis fissuras (Figura 7 (b)).



Fonte: Tiago Cobra (2020)

Figura 7. a) Armadura de reforço no bloco de fundação b) Graute jateado

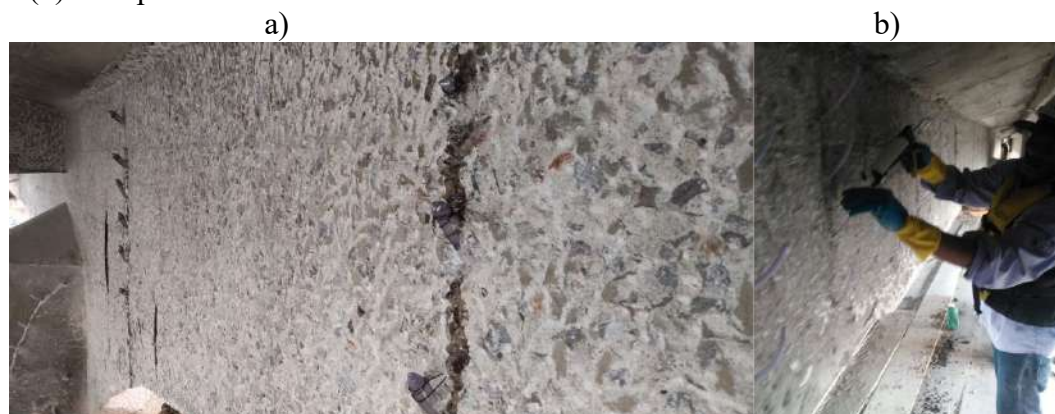
5.3.2 Vigas

Para a execução da recuperação nas vigas, inicialmente foi realizado um preparo da superfície a ser tratada, que teve início com a realização de inspeção à percussão em toda a estrutura. Em seguida, foram realizadas as etapas relativas ao preparo do substrato, com a escarificação mecânica com profundidade de três a seis centímetros, como indicado nas Figuras 8 (a) e (b).



Figura 8. a) Vigas principais e transversina escarificadas b) Viga principal escarificada

Por fim, foi feita uma limpeza na superfície com remoção de resíduos por meio de jateamento de água e areia. Para o tratamento de trincas e fissuras, foram realizados furos de oito a doze centímetros de profundidade (Figura 9 (a)), onde foram introduzidos tubos plásticos, conforme Figura 9 (b) com pontas salientes.



Fonte: Tiago Cobra (2021)

Figura 9. a) Viga principal com furos e tubos plásticos b) Injeção de tubos

Os tubos plásticos foram espaçados verticalmente e fixados com material selante. A resina epóxi foi injetada para o tratamento de trincas e fissuras, sendo aplicada em um tubo de cada vez, iniciando pelo inferior. Após a finalização, as pontas dos tubos foram cortadas e o material excedente foi lixado e a superfície foi limpa.

Após a limpeza da superfície do concreto e das armaduras, foi realizado um tratamento prévio nas armaduras expostas por meio de pintura de proteção específica, conforme Figura 10 (a).



Figura 10. a) Aplicação de resina no encontro das armaduras b) Viga principal armada

A proteção é composta por um primer rico em cromato de zinco, que age como elemento passivador e neutraliza as reações eletroquímicas que possam ocorrer nas armaduras. Também é possível observar na Figura 10 (b) as formas a serem utilizadas nas vigas para aplicação do graute. O detalhamento genérico dessas formas está descrito na Figura 11, em verde.

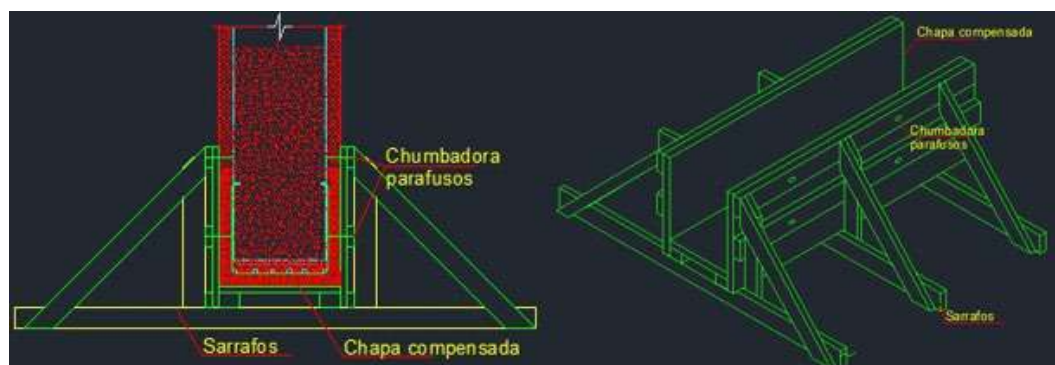


Figura 11. Detalhamento genérico das formas

As formas utilizadas foram feitas em chapa compensada e são presas por sarrafos, para garantir que a forma fique imobilizada e que não haja vazamento do graute cimentício a ser aplicado. O graute utilizado na parte inferior das vigas foi do tipo convencional, que é mais fluido, indicado na Figura 11 por uma cor avermelhada mais intensa. Esse tipo de graute dispensa o uso de vibradores devido à sua plasticidade e garante que não haverá ninhos de concretagem entre as armaduras.

Nas demais áreas da viga, foi aplicado graute do tipo tixotrópico, que possui menor fluidez e excelente aderência em bases verticais. Por esse motivo, não foi necessário utilizar formas nas áreas em que esse tipo de graute foi aplicado.

5.3.3 Pilares

Inicialmente, foi realizada limpeza de forma manual das superfícies dos pilares em que havia bioincrustação marinha. Após o procedimento de limpeza, os pilares foram escarificados e envolvidos com uma malha nervurada do tipo Telcon Q92, que garante melhor ancoragem e controla possíveis fissurações no concreto.

A malha foi incorporada ao pilar por meio de perfuração no concreto existente e injeção de resina epoxídica para garantir a fixação das barras. Os furos para recebimento das armaduras possuem profundidade de 20cm. A malha nervurada pode ser observada na Figura 12 (a), bem como o jateamento do concreto aplicado ao redor dos pilares.



Fonte: Tiago Cobra (2021)

Figura 12. a) Projecção de concreto nos pilares b) Pintura inibidora de corrosão no pilar

O concreto foi projetado nos pilares até que fosse alcançado o cobrimento de cinco centímetros especificado em projeto. Após a finalização do reforço no pilar, foi aplicada uma pintura inibidora de corrosão, indicada na Figura 12 (b).

Para o jateamento, foi aproximada ao pilar uma estrutura flutuante indicada na Figura 13 (a), composta por um equipamento de mistura do graute que conduz o material a um mangote com um bico projetor. O material então é aplicado sob pressão, não necessitando de compactação devido à alta velocidade com que é aplicado. A Figura 13 (b) mostra a vista superior do jateamento de graute nos pilares.

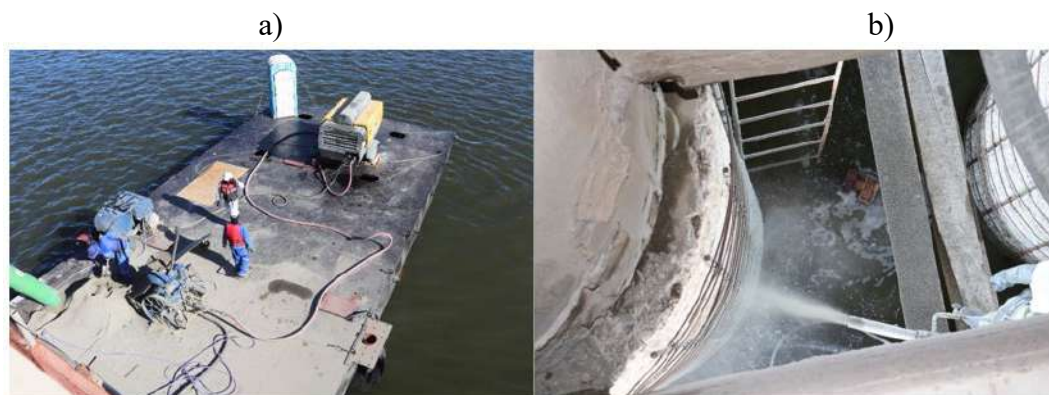


Figura 13. a) Balsa para preparo do graute b) Vista superior do jateamento de graute nos pilares

5.3.4 Lajes

As lajes apresentavam corrosão em alguns pontos em que as armaduras estavam expostas, mas apesar das corrosões e das manchas superficiais causadas pelas infiltrações, ocasionando mofo e bolor, as lajes não apresentavam necessidade de grandes reparos.

A solução adotada consistiu apenas em aplicar o mesmo tratamento dado à armadura das vigas, em que foi aplicada uma camada de proteção composta por um primer rico em cromato de zinco, neutralizando as reações eletroquímicas que possam ocorrer nas armaduras. As armaduras expostas e a aplicação do tratamento podem ser observadas nas Figura 14 (a) e (b).



Figura 14. a) Corrosão nas armaduras da laje b) Tratamento aplicado à armadura da laje

6. CONCLUSÕES

Com este estudo, pode-se constatar que a estrutura da ponte não se comportou de forma monolítica ao longo dos anos. A análise individual dos elementos estruturais possibilitou verificar que cada um deles está em uma fase diferente do processo de deterioração, mesmo que estejam inseridos no mesmo ambiente.

O estado de alguns pontos da estrutura tornava necessária a intervenção estrutural por ter se tornado desconfortável para os usuários, ao atingir o ELS. Não há como afirmar para quanto tempo de vida útil a ponte foi projetada, tendo em vista que não há registros de seu projeto

estrutural original. Da mesma forma, não há como responsabilizar erros conceituais no projeto pelo atual estado da ponte.

Os ensaios realizados no graute utilizado nas vigas do primeiro ao quinto vão mostraram-se satisfatórios. Os corpos de prova apresentaram resistência igual ou superior à especificada em projeto, de 50MPa, que é o valor de resistência indicado para ambientes agressivos.

Como não foram realizados ensaios de resistência à compressão no concreto da estrutura original, não há como afirmar que o concreto utilizado no reforço foi inferior a 20% do concreto existente, como indicado na norma DNIT 084 (DNIT, 2006). Uma vez que a metodologia utilizada para avaliar o estado dos elementos estruturais baseia-se em inspeções visuais, é necessário que haja acompanhamento de como a estrutura irá se comportar em longo prazo.

As medidas de recuperação e reforço executadas de acordo com o projeto executivo se mostraram adequadas, baseadas na literatura técnica existente. É possível afirmar que, com a conclusão das obras, a durabilidade da Ponte Getúlio Vargas será estendida e, para que não volte a apresentar estados sofríveis de deterioração, é necessário que haja manutenções preventivas no futuro. Dessa forma, será possível garantir aos usuários a segurança estrutural adequada da ponte, bem como a preservação dela, que possui grande importância histórica e econômica.

7. REFERÊNCIAS

ACI Committee 201, 2001, “Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-01),” American Concrete Institute, Farmington, Hills, Mich. 41p.

AGUADO, A. et al. (2003), Orientación para la selección de la intervención. In: HELENE, P.; PEREIRA, F. “*Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón: reparación, refuerzo y protección*”, São Paulo, Cyted, cap. 3, pp. 1-45.

Andrade, J. J. de O. (1997), “*Durabilidade Das Estruturas De Concreto Armado: Análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco*”, Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 151.

Assis, L. F. (2001), “*A difusão do turismo de segunda residência das paisagens isulares: um estudo sobre o litoral Sul da Ilha de Itamaracá – PE*”, Dissertação, Universidade Federal de Pernambuco, p. 183.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Banduk, R. C. (2008), Ensino das técnicas de recuperação. *Concreto & construções*. 35(49):49-52.

Branco, F.; Paulo, P.; Garrido, M. (2013), *Vida útil en la construcción civil*. Boletim Técnico Vida Útil na Construção Civil, Mérida, n. 4, p. 20.

Branco, F.; Paulo, P. V. (2012), *O projecto de pontes para vidas superiores a 100 anos*. Revista ALCONPAT. 2(1):1-9. <https://doi.org/10.21041/ra.v2i1.20>.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2004). *DNIT 010: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento*. Rio de Janeiro.

- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006). *DNIT 084: Tratamento da corrosão – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro.
- Fragoso, V. S.; Vitória, J. A. P. (2016), *Análise das Atuais Condições Funcionais e Estruturais da Ponte Getúlio Vargas, na Rodovia PE-35*. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, 3(1). <https://doi.org/10.25286/repa.v3i1.539>.
- Grochoski, M.; Helene, P. *Sistemas de reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/5, São Paulo, p. 21, 2008.
- Helene, P. (1992), “*Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*”. Pini, São Paulo, Brasil, p. 216.
- IBGE, “*Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de Julho de 2020*”. Disponível em: <https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020/POP2020_20210204.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- Marques, S. J. P. J. et al. (2018). “*Recuperação Estrutural da Ponte Getúlio Vargas – PE*” in: Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, v. X, p. 10.
- Matos, C. B. M. et al. (2018). “*Avaliação da degradação dos passeios da ponte Getúlio Vargas-PE*” in: Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto Armado, São Carlos: v. 3, p. 11.
- Matos, C. B. M. (2017), “*Ponte de Itamaracá: Patologias e recuperação estrutural*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, p. 94.
- Mattje, A. (2003), “*Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Pontes em Concreto do Sistema Rodoviário de Santa Catarina (Litoral e Vale do Itajaí)*”, Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 188.
- Mendes, P. T. C.; Moreira, M. L. T.; Pimenta, P. M. (2012), Reinforced concrete bridges: effects due to corrosion and concrete young modulus variation. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 5(3):405–419. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952012000300008>.
- Mota, A. da. (1985), “*Itamaracá: análise socio-econômica da histórica ilha pernambucana*”. Companhia Editora de Pernambuco, Recife, Brasil, p. 104.
- Reis, L. S. N. (2001), “*Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado*”, Dissertação, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, p. 112.
- Santos, R. E. dos. (2008), “*A armação do concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado*”, Tese, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 338.
- Tomazeli, A. (2019), “*Estruturas paralisadas de concreto armado de edifícios: inspeção, análise e aceitação*”. Editora Leud, São Paulo, Brasil, p. 248.

Análisis del comportamiento mecánico de concreto tradicional y concreto con materiales reciclados.

E. Sánchez Murillo², F. J. Olguin Coca^{1,2*}, L. D. López León¹, I Castañeda Robles¹, L. Lizárraga Mendiola¹, F. Almeraya Calderon³, J.A. Cabral Miramontes³, M. A. Baltazar Zamora⁴, J. J. Mejía Briseño², E. Hernández Perez²

*olguinc@uaeh.edu.mx

¹ CA Construcción Sostenible y Desarrollo de Materiales, AAI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, México

² Ciencias de la Tierra, Instituto Tecnológico de Pachuca, Pachuca, México

³ CIIIA, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México

⁴ Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Xalapa, México

RESUMEN

El concreto es un material 100% reciclable, siempre que no esté contaminado, y puede utilizarse en muchas obras y estructuras diferentes cumpliendo con las especificaciones para los materiales necesarias. El concreto reciclado tiene su principal fuente de recursos en los residuos de construcción y demolición que proceden en su mayor parte de la demolición de edificios, pavimentos, excedentes en plantas concreteras, y como resultado urbanizaciones. Esto representa una pérdida de las materias primas que componen el concreto, principalmente del Agregado Natural (AN), ya que este es un recurso natural no renovable. Además, este desperdicio también implica la necesidad de un sitio para su disposición final. El concepto de construcción sostenible engloba la reducción, reutilización, y reciclaje de los residuos que genera la gran actividad de construcción. En este trabajo, se evalúa el desempeño de concretos fabricados con agregado reciclado (AR), a partir de cilindros de concreto con una resistencia especificada de 300 kg/cm². Las mezclas fueron elaboradas con 100% de reemplazo del Agregado Grueso Natural (AGN), por Agregado Grueso Reciclado (AGR). Los resultados muestran una variación considerable en la prueba de absorción de agua ya que las mezclas fabricadas con el AR requieren mayor inclusión de agua, esto evidencia que las mezclas elaboradas con AGR propician un concreto más poroso y por ende más susceptible desde el punto de vista de la durabilidad; aun cuando los niveles de resistencia son similares a los del concreto tradicional.

Palabras clave: concreto, comportamiento mecánico, reciclados.

ABSTRACT

Concrete is a 100% recyclable material, as long as it is not contaminated, and can be used in many different works and structures meeting the specifications for the necessary materials. Recycled concrete has its main source of resources in construction and demolition waste that comes mostly from the demolition of buildings, pavements, surpluses in concrete plants, and as a result urbanizations. This represents a loss of raw materials that make up concrete, mainly Natural Aggregate (AN), since this is a non-renewable natural resource. In addition, this waste also implies the need for a site for its final disposal. The concept of sustainable construction encompasses the reduction, reuse, and recycling of waste generated by large construction activity. In this work, the performance of concretes manufactured with recycled aggregate (AR) is evaluated, from concrete cylinders with a specified resistance of 300 kg / cm². The mixtures were made with 100% replacement of Natural Coarse Aggregate (AGN), by Recycled Coarse Aggregate (AGR). The results show a considerable variation in the water absorption test since the mixtures manufactured with AR require greater inclusion of water, this shows that the mixtures made with AGR favor a more porous concrete and therefore more susceptible from the point of view of durability; even though the resistance levels are similar to those of traditional concrete.

Keywords: concrete, mechanical behavior, recycled.

1. INTRODUCCIÓN

El concreto hidráulico es un compuesto que resulta de la mezcla de material cementante, arena, grava, agua y en algunos casos aditivos, que al fraguar y endurecer adquieren propiedades similares a las de las rocas naturales más resistentes. Cuando se utiliza concreto hidráulico en las construcciones, éste tiene que ser diseñado y elaborado bajo un estricto control de calidad, conforme a parámetros de las normas aplicables en el país, como lo es las normas NMX, ASTM y en su caso los Comités ACI.

Es por esto que en este apartado, se abordan los principales temas sobre el concreto, como son: cada uno de los componentes de la mezcla y sus características, el comportamiento en estado fresco del concreto, las etapas de fraguado, las propiedades del concreto en estado endurecido y finalmente se hace una descripción breve de los métodos más comunes para el diseño de mezclas de concreto[1].

El concreto es un material 100% reciclable, siempre que no esté contaminado, y puede utilizarse en muchas obras y estructuras diferentes cumpliendo con las especificaciones para los materiales necesarias. El concreto reciclado tiene su principal fuente de recursos en los residuos de construcción y demolición que proceden en su mayor parte de la demolición de edificios, pavimentos, excedentes en plantas concretoras, y como resultado de urbanizaciones. Esto representa una pérdida de las materias primas que componen el concreto, principalmente del Agregado Natural (AN), ya que este es un recurso natural no renovable. Además, este desperdicio también implica la necesidad de un sitio para su disposición final. El concepto de construcción sostenible engloba la reducción, reutilización, y reciclaje de los residuos que genera la gran actividad de construcción. El empleo del concreto reciclado data de tiempos posteriores a la segunda guerra mundial, donde europeos enfrentaban la problemática de la gran acumulación de escombros en sus ciudades destruidas, motivo por el cual se abocaron a reciclar dichos desperdicios y utilizarlos como material de construcción, dándoles muy buenos resultados. Una investigación experimental en Estados Unidos, emprendida por [5] consistió en probar la resistencia a la fatiga de un material utilizado para base de pavimento, compuesto por agregados reciclados, pequeñas cantidades de cemento Portland y cenizas volantes, reforzado con fibra de acero. Las muestras preparadas alcanzaron límites de resistencia comparables con los materiales típicos utilizados en pavimentos para autopistas. En este mismo campo de la construcción, [7], de la Universidad Griffith en Australia, presentaron resultados de su trabajo con agregados reciclados de concreto (RCA) obtenidos por trituración. Los especímenes fueron sometidos a la prueba triaxial con repetición de carga un día después de su compactación.

Se determinó que la resistencia puede verse afectada significativamente debido al contenido de finos (10%) en las muestras por lo que su utilización en bases y sub bases de carreteras queda sujeta a un control efectivo de estándares de calidad del producto.

Por su parte, Chini et al (2001) reportan desde la Universidad de Florida, una valuación de materiales reciclados de concreto para base de pavimento con mezclas asfálticas en caliente y como agregado de cemento Portland en pavimentos rígidos. Comprobaron que en la medida que aumenta el porcentaje de RCA en las muestras disminuye la resistencia a esfuerzos de flexión y compresión. Sin embargo los valores alcanzados, del orden de 35 Mpa, se consideran aceptables. Similares resultados se hallaron en Corea, presentados por Park [3] al experimentar con material reciclado seco y húmedo para bases de pavimento rígido, y en [6] quienes estudiaron las características de

esfuerzo deformación de los agregados reciclados de concreto sometidos a compresión triaxial.

La fabricación de elementos de concreto con material reciclado de residuos de la construcción, puede tener el inconveniente de valores altos de porosidad redundando en problemas de durabilidad, principalmente por la penetración de cargas ambientales como son los cloruros y carbonatos.

El ACI 318-02 define la durabilidad del concreto como la “capacidad para resistir a la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro; es decir, que el concreto durable debe retener su forma original, su calidad y sus condiciones de servicio, cuando se exponga a su medio ambiente”. Las condiciones de exposición que acarrear los daños más comunes en el concreto provienen de los líquidos y gases que lo penetran, originando acciones químicas que derivan en la corrosión del acero de refuerzo.

2. PROCEDIMIENTO

1. Identificación, de distintos laboratorios de construcción en la ciudad de Pachuca, Hidalgo, y sus áreas circundantes; La selección será de acuerdo a la ubicación y aceptación de los propietarios donde se encuentren los residuos.
2. Acopio de material (especímenes de concreto) en forma selectiva.
3. Obtención por cuarteo y secado de muestras de materiales pétreos heterogéneos y trituración de estos en una planta industrial de producción de agregados de la localidad.
4. Caracterización física del material triturado de acuerdo a la normatividad oficial para muestreo y pruebas de materiales, como son:

- a) Peso volumétrico seco suelto para obtener el peso de las partículas sólidas por unidad de volumen, expresado en Kg. por metro cúbico.
- b) Análisis granulométrico para clasificar por tamaño las partículas del material pasándolo por una sucesión de mallas, obteniendo el peso de los retenidos como porcentaje de la muestra total.
- c) Densidad relativa, a obtener como la relación de la densidad absoluta, incluyendo sus vacíos.
- d) Porcentaje de absorción, para determinar la cantidad de agua absorbida por el material pétreo previamente saturado en agua a una temperatura entre 15° a 25° C durante 24 horas.
- e) Equivalente de arena, cuyo objeto será determinar en lo que pasa la malla número 4.75, bajo condiciones de pruebas establecidas, la proporción volumétrica de partículas de tamaño mayor que el de las arcillas, con respecto al volumen de las partículas finas de tamaño similar al de las citadas arcillas.
- f) Porcentaje de desgaste, a fin de conocer la calidad del material pétreo en cuanto al grado de alteración y presencia de planos de debilitamiento que pudieran provocar una desintegración de las partículas.

Los resultados mostraron poca diferencia entre ambos, tal y como se observa en la tabla 1 siguiente:

Tabla 1 Características de los materiales

Característica	Unidades	Material	
		Natural	Reciclado

Peso Suelto	Vol. Seco	Kg/m³	1060	1126
Peso Comp	Vol. Seco	Kg/m³	1152	1181.5
Densidad		Kg/Lt	2.01	1.98
Absorción		%	12.54	14.14

5. Diseño de mezclas con el pétreo obtenido haciendo variar la relación agua- cemento para obtener especímenes con distintos valores de resistencia a la compresión, lo mas cercanos posibles a 300 kg/cm². con una nomenclatura como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Siglas de nomenclatura de especímenes

NOMENCLATURA

R	Reciclado
N	Natural
AG	Agregado Grueso
AF	Agregado Fino
20	Porcentaje

6. Pruebas de Resistencia a la compresión. Se efectuará en forma tradicional de acuerdo a la norma ASTM C 39-03 a 14 y 28.

7. Integración del informe final y conclusiones

En la figura 1 se muestra el cribado del material en base a la norma ASTM para la elaboración de los especímenes de concreto empleando los residuos de concreto después del triturado del material.

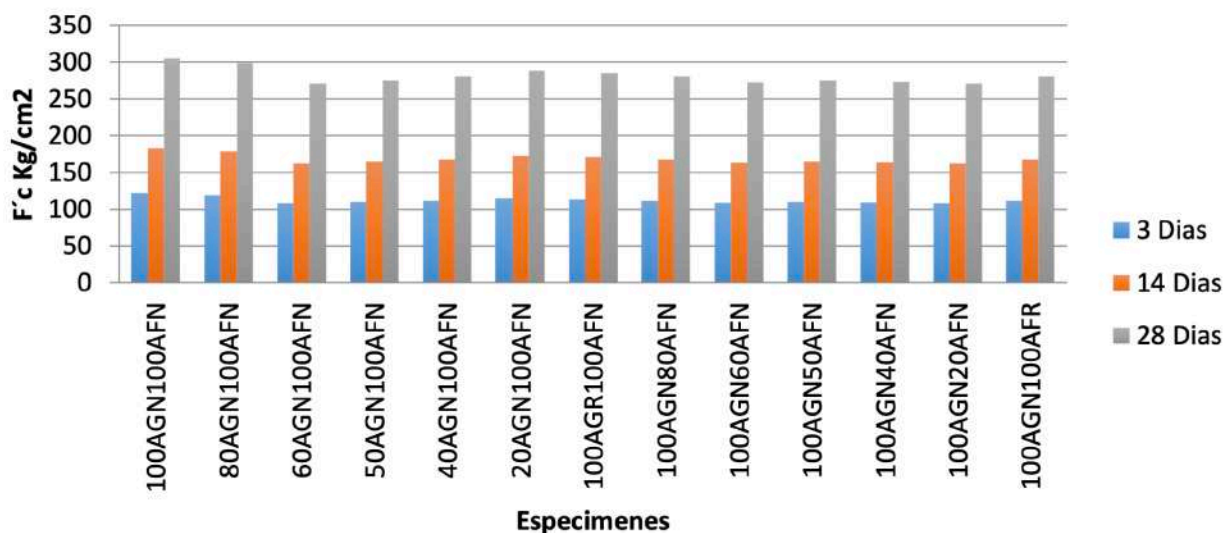


Figura 1 Cribado de materiales

3. RESULTADOS

En la Grafica 1 se muestran los resultados de compresion de todas las mezclas realizadas de los especimenes experimentados a los 3, 14 y 28 dias de curado donde se muestra que el comportamiento de materiales con agregado grueso reciclado presentan resistencias a la compresión con valores cercanos a la resistencia de diseño, qlos que se realizaron con agregado fino reciclado presentaron un comportamiento mecanico con un 71% de la resistencia de diseño y donde los datos con agregado natural presenta la mejor resistencia a la compresión debido a que el agregado grueso tiene un mejor desempeño como agregado mineral grueso presentando una la resistencia de diseño al igual una mejor mezcla con los materiales.

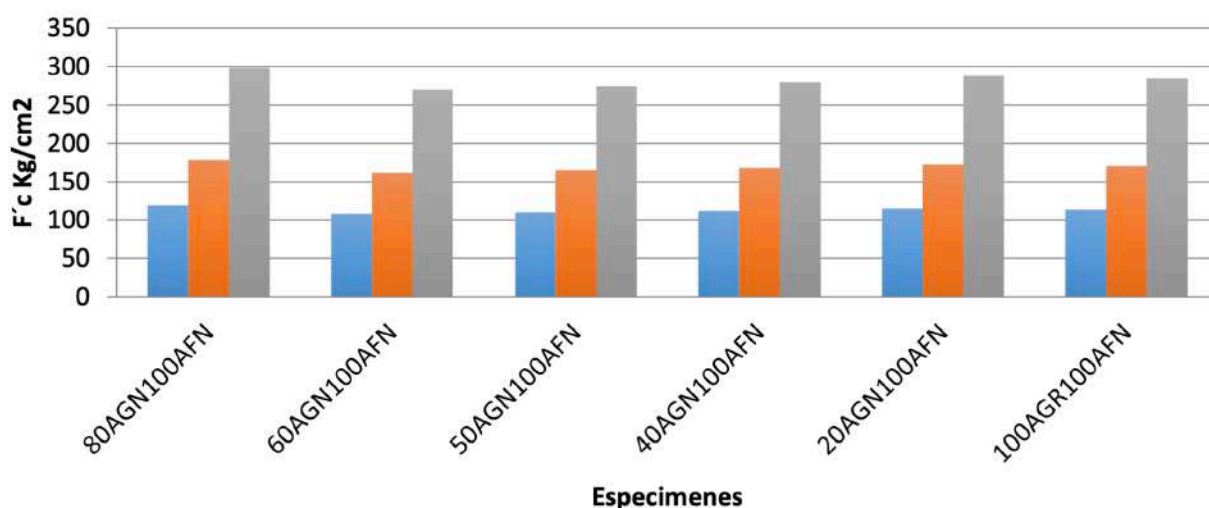
Resistencia a la Compresión



Grafica 1 Resistencia a la compresión

En la grafica 2 se muestra el comportamiento de los especimenes con agregado grueso reciclado donde se observa que el 20 % de AGR presenta una resistencia del 85% de la resistencia de diseño y conforme aumenta el AGR en porcentaje la resistencia decrece por lo que de manera preliminar la resistencia tiene un optimo con el 20%de AGR, las resistencias presentadas con los porcentajes superiores al 20% sus resistencias esntan en un promedio del 75% de la resistencia de diseño.

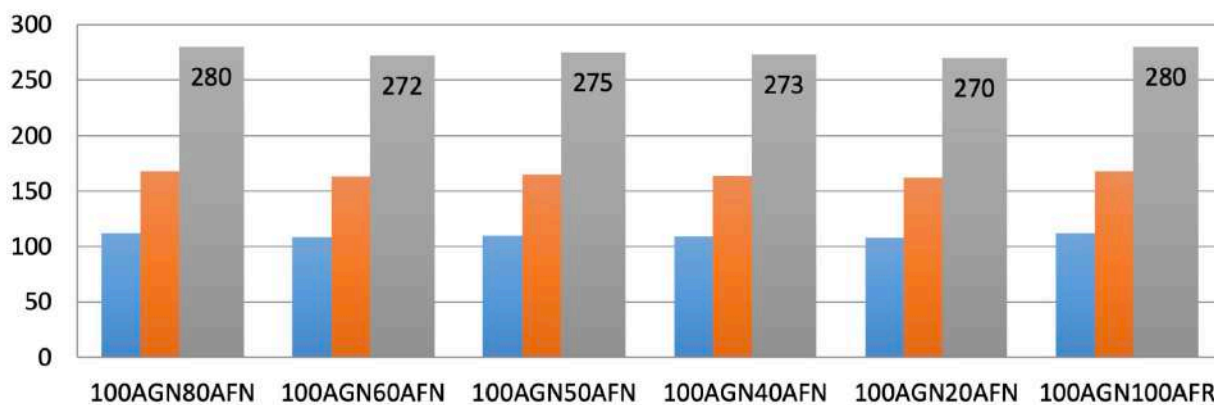
Resistencia a la compresión AG reciclado



Grafica 2 Resistencia a la compresión de agregado grueso reciclado

Los resultados del AFR en sus diferentes porcentajes muestran un promedio de 78% del f'c de diseño los resultados en mínima proporción que mejoran su comportamiento mecánico son con 20% y 100 % de AFR el cambio no es tan significativo debido a que el AFR no aporta la resistencia mecánica del concreto, mejora su comportamiento pero no es el que aporta ese comportamiento mecánico.

Resistencia a la compresión AF reciclado



Grafica 3 Resistencia a la compresión de agregado fino reciclado

4. CONCLUSIONES

La resistencia a la compresión de materiales reciclados no muestran una gran pérdida de la resistencia en comparación con los agregados naturales, también se observa un mejor comportamiento con agregados reciclados gruesos en comparación con los finos.

Los agregados reciclados gruesos presentan un comportamiento mecánico semejante a los agregados naturales el agregado reciclado grueso como tal es muy resistente y debido a su forma genera una buena cohesión con los materiales al realizar la mezcla originando una mejor resistencia a la compresión.

Los agregados finos no presentaron resultados hipotéticos donde se pensaba que el fino reaccionaría con el cemento y generaría una mayor dosificación de cemento lo cual no se presentó así, sino que no aumenta la resistencia y presentan resultados de compresión menores que un agregado fino natural.

Los materiales reciclados de concreto pueden emplearse en elementos estructurales siendo que los resultados muestran que no existen gran variación con agregados naturales.

5. AGRADECIMIENTOS

Éstos deberán citar a los individuos, organizaciones o instituciones que prestaron algún apoyo especial en el desarrollo del trabajo

6. REFERENCIAS

- [1] Michel , A., Solgaard , A., & Pease , B. J. (2013). Experimental investigation of the relation between damage at the concrete-steel interface and initiation of reinforcement corrosion in plain and fibre reinforced concrete. *Corrosion Science* , 77, 308–321.
- [2] Krykowskia , T., & Zybura, A. (2013). Modelling of Reinforced Concrete Element Damage as a Result of Reinforcement Corrosion. *Procedia Engineering* , 57, 614 – 623. México, I. d. (2006).
- [3] Retama V.J. y Ayala M.G., C. 2. (2013). Reinforced concrete modelling using enriched finite elements. CFRAC 2013 The third international conference on computational modelling of fracture and failure of materials and structures.
- [4] Yuxi Zhao, J. D. (2014). Steel corrosion and corrosion-induced cracking in recycled aggregate concrete. *Corrosion Science* , 85, 241–250.
- [5] DURAR, O. T. (1998.). Manual de inspección, Evaluación y Diagnostico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado. Maracaibo, Venezuela: CYTED.
- [6] Anuario estadístico de la minería en el Estado de México, 2005. Mexico, Mexico, Mexico: Gobierno del Estado de México.

[7] Baltazar-Zamora, M. A. (2005). Comportamiento de la corrosión en acero al carbono e inoxidable embebido en concreto en presencia de NaCl y Na₂SO₄. Chihuahua, Chih, México: CIMAV.

Nuevos cementos eco-eficientes elaborados con la fracción fina de hormigón reciclado para futuras aplicaciones ingenieriles

M. Monasterio^{1*}, M. Frías¹, R. García², R. Vigil de la Villa², S. Martínez³, L. Fernández⁴, E. Lahoz¹, I. Vegas⁵, J. Moreno⁵

*Autor de Contacto: manuel.monasterio@ietcc.csic.es

¹ Eduardo Torroja Institute for Construction Science (IETcc-CSIC), 28033 Madrid, Spain

² Dept. of Geology and Geochemistry, 'Geomateriales', CSIC-UAM Associated Research Unit, Autonomous University of Madrid, Madrid, Spain

³ Institute for the Structure of Matter (IEM-CSIC), 28006 Madrid, Spain

⁴ Department of Civil and Environmental Engineering, Barcelona TECH, 08034 Barcelona, Spain

⁵ Tecnalia, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Astondo Bidea, Edificio 700, Parque Tecnológico de Bizkaia, 48160, Derio, Spain

RESUMEN

Los residuos de la construcción son un gran problema medioambiental. Europa ha priorizado su reciclaje para nuevas construcciones ingenieriles. Sin embargo, la fracción fina de los residuos de hormigón, no presenta aplicaciones y son almacenados en las plantas de tratamiento. Este trabajo investiga el comportamiento de pastas de cemento elaboradas con un 7% de la fracción fina de hormigón de diferente naturaleza. Los resultados muestran que estos residuos presentan poca actividad puzolánica y sus propiedades físicas y mecánicas son muy similares a la pasta de cemento. A pesar de ello, los cementos mezcla cumplirían con la normativa para cementos comunes. Esto abre una vía para reutilizar estos residuos en nuevas tecnologías de construcción como puede ser impresión 3D.

Palabras clave: Fracciones finas de hormigón reciclado; caracterización; propiedades de las pastas de cemento mezcla; nuevas aplicaciones ingenieriles.

RESUMO

Resíduos de construção são um grande problema ambiental. A Europa priorizou sua reciclagem para novas construções de engenharia. No entanto, a fração fina dos resíduos de concreto não tem aplicação e é armazenada em estações de tratamento. Este trabalho investiga o comportamento de pastas de cimento feitas com 7% da fração fina de concreto de diferentes naturezas. Os resultados mostram que esses resíduos apresentam pouca atividade pozzolânica e suas propriedades físicas e mecânicas são muito semelhantes às da pasta de cimento. Apesar disso, os cimentos mistos estariam em conformidade com os regulamentos para cimentos comuns. Isso abre uma maneira de reaproveitar esses resíduos em novas tecnologias de construção, como a impressão 3D.

Palavras-chave: Frações finas de concreto reciclado; caracterização; propriedades de pastas de cimento; novas aplicações de engenharia.

ABSTRACT

The construction wastes are a big environmental problem. Europe has prioritized its recycling for new engineering constructions. However, the fine fraction of concrete waste has no applications and is stored in treatment plants. This work researches the behavior of cement pastes made with 7% of the concrete fine fraction from different nature. The results show that these residues have little pozzolanic activity and their physical and mechanical properties are very similar to cement paste. Despite this, the mixed cements would fulfill the regulations for common cements. This opens a way to reuse this waste in new construction technologies such as 3D printing.

Keywords: Recycled concrete fine fraction; characterization; mixed paste cement properties; new engineering applications

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es uno de los mayores motores del desarrollo socio-económico de un país. Sin embargo, está directamente relacionada con impactos negativos tanto en el medioambiente, en el cambio climático o en el consumo de energía[1]. Además de ello, una gran cantidad de residuos de construcción y demolición (RCDs), son generados al final de la vida útil de las estructuras ingenieriles, edificación, etc., acumulándose, en la mayoría de los casos en vertederos e incluso en vertidos ilegales, provocando importantes problemas técnicos, económicos, medioambientales y de salud[2]. En el 2016, solo en Europa se generó alrededor de 374 Mt/año de RCDs[3], de los cuales, únicamente se recicló el 50%, la mayor parte en aplicaciones de bajo valor añadido, como relleno en carreteras[4]. Partiendo de esta base, hay un gran espacio de mejora en cuanto al aprovechamiento de estos RCDs como materiales de alto valor añadido, campo que Europa ha identificado como una prioridad[5]. Parte de esta prioridad es el enorme potencial que presentan estos RCDs para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible(ODS) y de la economía circular, recuperando estos residuos como materias primas secundarias para el propio sector de la construcción[6,7].

Con este objetivo, el aprovechamiento de estos residuos, por su heterogeneidad, pasa por las plantas de tratamientos de RCDs para la selección de los diferentes materiales presentes: hormigón reciclado, cerámico, mixto, papel, plásticos, madera, hierro, etc,[8–12]. Uno de estos residuos RCDs que están centrando especial interés en la comunidad científica son los residuos de hormigón reciclado, por estar recogidos en diferentes instrucciones y recomendaciones como árido grueso

reciclado en la fabricación de nuevos hormigones ecológicos[13]. Sin embargo, la preparación de estas fracciones granulométricas de árido grueso reciclado genera una fracción fina (< 5 mm), que se acumula en las propias instalaciones de las plantas de tratamiento, bajo la influencia de las condiciones atmosféricas, con propiedades adversas (alta absorción de agua, impurezas, etc) que hacen difícil su reutilización en la industria de la construcción[14].

Los estudios previos han puesto de manifiesto la viabilidad de utilizarse como nuevos materiales cementantes suplementarios[15,16] con los consiguientes impactos en la producción de matrices de cemento con menor contenido en clinker e influir en el cumplimiento de la neutralidad de CO₂ para el 2050[17].

Por este motivo, en el presente trabajo se profundiza en esta línea de investigación, analizando dos tipos de residuos de hormigón reciclado (calcáreo y silíceo), como sustitución parcial del cemento OPC. Para ello, se analiza las propiedades químicas, físicas, mineralógicas y puzolánicas de estos residuos industriales, así como su comportamiento en las nuevos cementos eco-eficientes y sostenibles con las políticas medioambientales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Dos tipos de residuos de fracción fina de hormigón (<5 mm) procedentes de RCDs fueron analizados en la presente investigación: Un residuo de hormigón de naturaleza silíceo (HsT), procede de hormigones fabricados con árido silíceo, el cual fue suministrado por la planta de tratamiento TECREC, Ubicada en la Comunidad de Madrid (España) localizada en el centro de España (Tecrec, Madrid, España) y un segundo residuo de hormigón de naturaleza calcáreo (HcG) procedentes de hormigones elaborados con árido calcáreo, suministrado por la planta de tratamiento GUTRAM, ubicada en la comunidad Vasca (España).

El residuo de fracción fina se obtiene después del proceso de trituración y tamizado del hormigón reciclado en las plantas de tratamiento para la obtención de fracciones granulométricas gruesas para distintos usos industriales (árido reciclado para hormigones, árido para carreteras, etc.).

Estos residuos finos presentan un inconvenientes técnico y medioambiental ya que son acumulados en las propias plantas de tratamiento sin ninguna utilidad industrial en la actualidad. Sin embargo, por su naturaleza pueden ser viables para la fabricación de eco-cementos. Estos residuos finos, una vez secados en una estufa a 105°C durante 1 hora, se sometieron a un proceso de trituración y tamizado hasta conseguir tamaños de partícula inferiores a 63 µm, para obtener finuras similares a los del cemento OPC comercial. En la Figura 1 se pueden observar los dos residuos, una vez finalizado este proceso previo a su empleo como sustituto del cemento.



Figura 1. Imagen de los dos residuos empleados en este trabajo, HsT y HcG de origen silíceo y calcáreo, respectivamente, después del proceso de triturado y tamizado.

El cemento portland comercial utilizado (OPC) es del tipo CEM I 52.5 R, suministrado por Cementos Leona, S.A. (Bilbao, España). Su composición mineralógica obtenida por Rietveld mostró una composición mineralógica de 52% de C_3S , 20% de C_2S , 9% de C_3A , 6% de C_4AF , 4% de calcita y finalmente, un 9% de fase amorfa.

2.2 Métodos

1. Preparación de las matrices de cemento

Las pastas y los morteros fueron elaborados por la sustitución parcial del cemento OPC por un 7% de cada una de cada una de las fracciones finas de hormigón, porcentaje óptimo según trabajos previos [15,18].

Las pastas de cemento mezcla fueron preparadas de acuerdo a la norma europea EN 196-1[19], empleando 500 g de mezcla de cemento con una relación agua/mezcla de 0.5. Después, las probetas fueron fabricadas en moldes prismáticos de 1 x 1 x 6 cm y compactadas de acuerdo a la normativa vigente [20]. Posteriormente, las probetas de pasta de cemento fueron desmoldadas después de 24 horas y curadas en agua durante 2, 28 y 90 días.

2. Actividad puzolánica

La evaluación de la actividad puzolánica fue llevada a cabo mediante un método químico acelerado, consistente en añadir 1 g de residuo a 75 mL de solución saturada de cal ($Ca(OH)_2$) y mantenerlo a 40 °C hasta finalización del ensayo [21]. Al final de cada edad, la disolución fue filtrada y la concentración de calcio en la solución fue determinada por volumetría con EDTA. El porcentaje de cal fijada por el residuo era calculado por diferencia con la disolución control realizada en las mismas condiciones de ensayo.

3. Demandas de agua, expansión y tiempo de fraguado

Las medidas de ensayo de consistencia normal, estabilidad de volumen y tiempos de fraguado se realizaron tal y como se describe en la norma europea EN-196-3[22].

4. Comportamiento mecánico

La resistencia a la flexión de las pastas fue medida en un NETZSCH (Netzsch, Selb, Alemania). Seis muestras prismáticas de 1 x 1 x 6 cm fueron ensayadas para cada tipo de cemento y edad de curado. Para la resistencia a la compresión se empleó un IBERTEST AUTOTEST 200/20-SW (Ibertest, Madrid, España), de acuerdo a la normativa EN 196-1 2018[23].

2.2 Técnicas Instrumentales

La composición química de los materiales de partida fue realizada por fluorescencia de rayos X, en un Philips PW-1404 spectrometer (Phillips, Madrid, España), ajustado con un tubo de rayos X Sc-Mo.

La distribución de tamaño de particular fue analizada por la técnica de difracción de rayos laser[24] con un equipo Malvern Mastersizer 3000 analyser (Malvern Panalytical, Madrid, España) equipado con fuentes de luz roja y azul (He-Ne y LED) en modo de dispersión seca. El rango de medida fue entre 0.01 y 3500 μm .

El análisis mineralógico fue llevado a cabo por difracción de rayos X en un PAN Analytical X'Pert Pro X-ray diffractometer (Malvern Panalytical, Davis, CA, USA), ajustado con un ánodo de Cu, operando a 40 mA, 45 kV, usando una ranura de divergencia de 0.50 y una ranura de recepción de 0.5 mm. Las muestras se escanearon en un rango de 2θ entre 50 y 600, con saltos de ángulo de 0.0167 (2θ) a 150 ms/paso. El Rutilo fue usado como patrón interno. La cuantificación por Rietveld fue evaluada usando Match v.3 y FullProf suite (Crystal Impact, Bonn, Alemania) y las fases mineralógicas se identificaron usando la Crystallography Open Database (COD).

La microporosidad de las pastas endurecidas fue determinada por intrusión de mercurio en un Micromeritics Autopore IV porosimeter (Micromeritics, Norcross, GA, USA). Este dispositivo opera a presiones que alcanzan los 33,000 psi (227.5 MPa), llegando a medir diámetros de poro entre 0.006 y 175 μm .

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización química de las muestras de partida

En la Tabla 1 se recoge las composiciones químicas obtenidas por FRX, expresadas en óxidos. Se observa, como era de esperar, que cuantitativamente las fracciones finas HsT y HcG presenten composiciones químicas diferentes, pero que cualitativamente ambas son similares entre si y similares a la del cemento portland comercial (OPC), ya que los óxidos mayoritarios son SiO_2 , Al_2O_3 y CaO . El residuo HsT presenta una gran cantidad de SiO_2 y bajo contenido en CaO , mientras que el HcG está formado mayoritariamente por CaO y bajo contenido en SiO_2 . Las composiciones químicas obtenidas están de acuerdo con trabajos previos realizados por otros autores, con materiales de partida de origen similar[25]. Además, la pérdida al fuego muestra unos valores muy altos, probablemente por la descomposición de carbonatos y fases hidratadas en los hormigones originales.

Tabla 1. Composición química de los materiales de partida

Oxido	OPC	HsT	HcG
SiO_2	41.22	49.97	9.34
Al_2O_3	2.89	8.98	2.88
CaO	69.81	18.65	50.32
Fe_2O_3	3.70	2.30	1.20
MgO	0.93	1.37	1.12
SO_3	3.36	2.53	0.85
Na_2O	0.33	0.80	0.18
K_2O	0.76	3.35	0.47
P_2O_5	0.14	0.11	0.03
TiO_2	0.20	0.28	0.14
MnO	0.10	0.04	0.09
PPC	3.22	11.50	33.20

En cuanto a la composición mineralógica obtenida por DRX-Rietveld, como se puede observar en la Tabla 2, los dos residuos de hormigón presentan las mismas fases mineralógicas, pero en distintas proporciones cristalinas. En la muestra HsT, el cuarzo es la fase cristalina dominante, como de era de esperar por su origen, mientras que en HcG, la fase dominante es la calcita, igualmente debido a su origen.

Tabla 2. Composición mineralógica por DRX- Rietveld de los residuos HsT y HcG. R_b representa el factor R de Bragg y X^2 la finura del ajuste.

Material	Mica (%)	Cuarzo (%)	Feldespato (%)	Calcita (%)	Fase amorfa (%)	R_B	X^2
HsT	4	48	8	24	16	17.6	7.3
HcG	10	10	11	52	17	23.9	6.9

Las curvas de densidad de distribución para los 3 materiales de partida, se muestran en la Figura 2. Los residuos de hormigón HsT y HcG, muestran una distribución bimodal con máximos entre 32 – 38 μm y 6 – 7 μm , con diferentes intensidades de bandas, debido a su diferente contenido de fases mineralógicas cristalinas (calcita y cuarzo) cuya resistencia a la molienda es diferente. El OPC muestra un comportamiento más próximo a una curva molal, cuyo máximo se localiza a 20 μm y un ligero hombro solapado a la banda principal, localizándose a 8 μm y que correspondería a la presencia de yeso como regulador de fraguado y algo de calcita en el cemento comercial. Los valores de Dx correspondientes a los diámetros por los que pasa el 10, 50 y 90% de las partículas analizadas en cada caso, se recogen en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores Dx de las medidas laser de finura en los materiales de partida

MICRAS	HST	HCG	OPC
D(10)	1.04	0.82	1.99
D(50)	8.42	5.77	11.6
D(90)	44.9	31.9	34.2

En ella se destaca la similitud de las finuras para los tres materiales de partida, propiedad física importante para el comportamiento posterior de las matrices de cemento

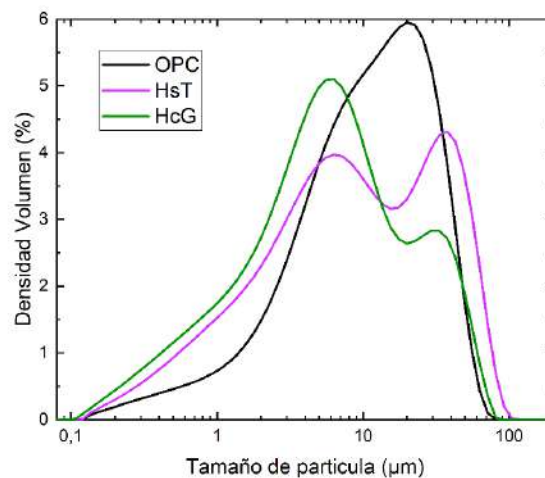


Figura 2. Distribución del tamaño de partícula para los materiales de partida obtenido por difracción laser

3.2 Comportamiento puzolánico de las fracciones finas de hormigón reciclado

En la Figura 3 se representa los valores de la cal fijada por los residuos HsT y HcG en el sistema puzolana. El residuo calizo HcG muestra una baja capacidad para fijar la cal del medio, debido a la presencia mayoritaria de caliza, bien conocida por su nula reactividad puzolánica y bajo contenido en sílice y alúmina. Durante los primeros 90 días de reacción, el HcG solo consume entre el 10-20% de la cal disponible y aumenta ligeramente hasta el 32% a los 360 días.

Por otro lado, el residuo de hormigón silíceo, con altos contenidos en óxidos ácidos (sílice y alúmina) alcanza a fijar un 35% de cal en las primeras 24 horas de reacción, elevando este valor hasta 73% a los 180 días. A pesar de ser un valor razonablemente medio-bajo, según el tipo de residuo, hay que tener en cuenta que no se equipara con puzolanas convencionales, como el humo

de sílice o la ceniza volante, que pueden llegar a alcanzar valores de 80% a los 90 días [26]. La moderada reactividad del residuo HsT a pesar de su contenido en SiO_2 , es debido a que esta se encuentra en la muestra en forma de cuarzo, estado cristalino sin propiedades puzolánicas.

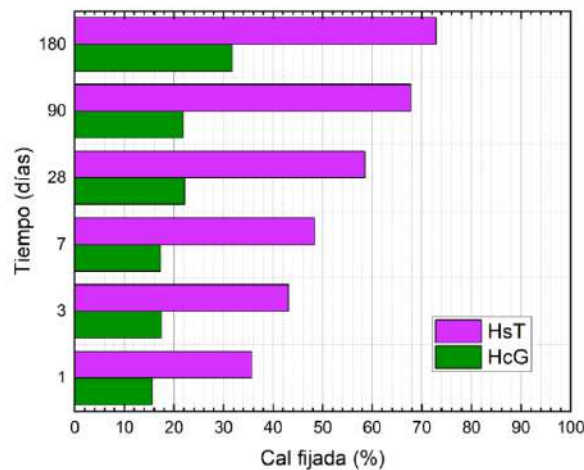


Figura 3. Actividad puzolánica de las fracciones finas de hormigón en un sistema puzolana/cal.

Un análisis cinético de la reacción puzolánica, aplicando el modelo cinético difusivo como lo describe Villar-Cociña et al. [6,7], permite la determinación de la constante de reacción K basándose en la evolución del consumo de cal con el tiempo, se obtuvieron valores de K de $1.18 \cdot 10^{-4}$ y $6.58 \cdot 10^{-4}$ para HcG y HsT, respectivamente. Estos valores están alejados cuando se comparan con puzolanas altamente reactivas como cenizas de hoja de bambú ($8.41 \cdot 10^{-1}$) y cenizas de cascar de arroz ($1.73 \cdot 10^{-2}$) [27], pero se asemejan a otros RCDs estudiados, como RCDs de naturaleza cerámica ($6.19 \cdot 10^{-4}$) [28].

3.3 productos de hidratación de las pastas de cemento

Las pastas de cementos curadas a 90 días fueron analizadas por XRD para determinar los cambios mineralógicos cristalinos originados durante la reacción puzolánica en el sistema puzolana/cal. Los correspondientes difractogramas se muestran en la Figura 4. A través de ella, se identifican las principales fases cristalinas:

- La aparición de un pico muy pronunciado debido al cuarzo (Q), en la pasta 7% HsT, localizado los picos de reflexión a 20.9, 26.6, 36.5 y 39.4 2θ , debido a la presencia de árido silíceo en el hormigón reciclado.
- Un incremento en la señal de la calcita (C) en la muestra con HcG, debido a la presencia de esta fase en el árido original en el hormigón de origen, identificando claramente a 29.4 2θ .

El resto de las fases mineralógicas, procedentes de las reacciones de hidratación del cemento y puzolánica, identificadas a 90 días de reacción son: portlandita (P), etringita (Et) o monocarboaluminato (Mc) están presentes en todos los cementos analizados. Por otro lado, todavía se identifican la presencia de fases anhidras del propio cemento después de 90 días de hidratación como silicato tricálcico (C_3S) y silicato dicálcico (C_2S) y algo de ferrito aluminato tetracálcico (C_4AF) [16].

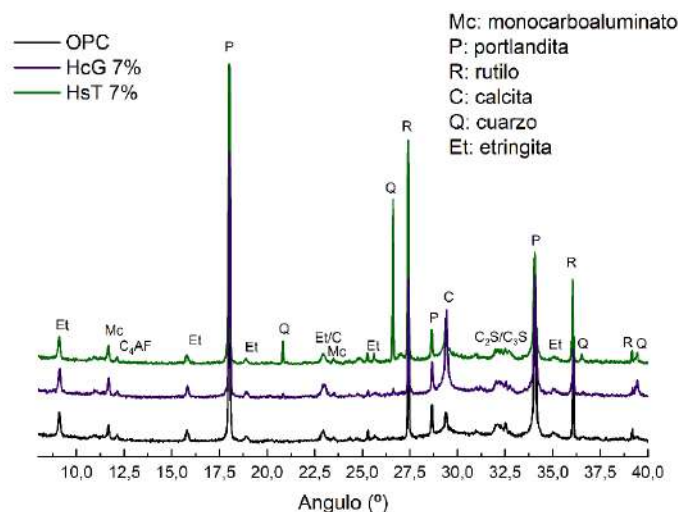


Figura 4. Difractogramas de DRX de las pastas de cemento a 90 días de hidratación. R. patrón interno.

3.4 Propiedades físicas

Para analizar el comportamiento reológico de las pastas de cemento seleccionadas en estado fresco, los estudios se centraron en la demanda de agua para obtener una consistencia normal, fraguados y expansión de volumen, de acuerdo a la normativa vigente sobre ensayos y especificaciones físicas para los cementos comunes[29]. Los valores obtenidos en las diferentes pruebas pueden verse en la Tabla 4.

Con respecto a las demandas de agua, una ligera disminución del agua requerida se observa para las muestras con sustitución del 7% para cada una de las fracciones finas de hormigón procedentes de los RCDs. Esta disminución es inferior al 3% con respecto al valor de la pasta OPC de referencia, por lo que se puede considerar despreciable si se tiene en cuenta el error del ensayo ($\pm 1g$).

Tabla 4. Valores de los resultados del comportamiento reológico en estado fresco de las pastas de cemento con un 7% de sustitución.

	OPC	HsT 7%	HcG 7%
<i>Demanda de agua (g)</i>	154	152	152
<i>Expansión (mm)</i>	0.5	0.5	0.0
<i>Fraguado inicial (min)</i>	180	165	175
<i>Fraguado final (min)</i>	269	226	231

De forma similar, el estudio del ensayo de expansión de las diferentes pastas de cemento es prácticamente despreciable y muy similar al del OPC. Este hecho indica que la adición del 7% de este tipo de residuo de hormigón no aporta posibles compuestos expansivos como cal y magnesia libre. Estos valores encontrados son muy pequeños comparados con el valor máximo recogido en la norma ($\leq 10\text{ mm}$)[29].

Finalmente, Los valores para los fraguados, inicial y final, son muy parecidos a la de la pasta de cemento OPC, si se tiene en cuenta el error del ensayo ($\pm 10\text{ min}$). En cualquier caso, la norma europea solo establece limitación para el fraguado inicial mayor a 45- 60 min[29], por lo que cumplirían con este requerimiento físico normativo.

Con respecto a los valores de fraguado final, se puede apreciar un efecto acelerador en este parámetro cuando se adiciona las diferentes fracciones finas de hormigón reciclado, del orden de 43 y 38 minutos para HsT 7% y HcG 7%, respectivamente. Esto hecho, podría estar relacionado con la presencia de calcita en los residuos [30].

3.5 Distribución de tamaño de poro

Los resultados de la distribución de tamaño de poro para las pastas de cemento curadas a 90 días se pueden ver en la Figura 5. Se observa como la mayor parte de los tamaños de poro en los 3 cementos están por debajo de $0.1 \mu\text{m}$, aunque ligeramente desplazadas hacia microporos más grandes las pastas de cemento elaboradas con 7% de residuos de hormigón reciclado. Las pastas de cementos binarios se localizan el máximo de distribución en torno a $0.05 \mu\text{m}$, mientras que la pasta OPC de referencia a $0.04 \mu\text{m}$. A pesar de ello la diferencia es mínima, si se tiene en cuenta los valores de porosidad total recogidos en la Tabla 5.

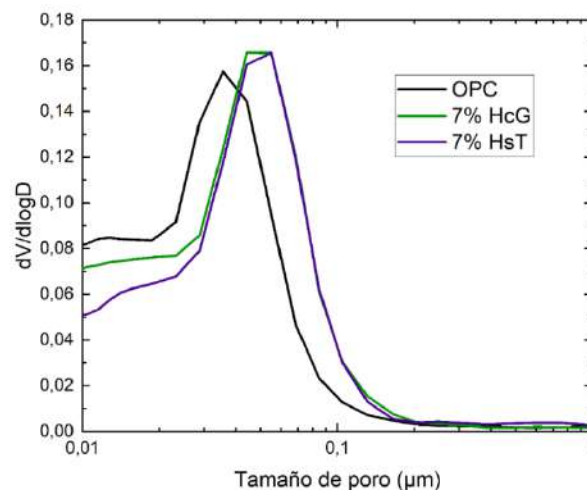


Figura 5. Distribución de tamaño de poro de las pastas de cemento estudiadas después de 90 días de curado.

Tabla 5. Valores de porosidad total de las muestras analizadas, obtenidas por intrusión de mercurio.

	OPC	HsT 7%	HcG 7%
Porosidad total (%)	18.46	18.86	18.83

3.6 Propiedades mecánicas de las pastas de cemento

En las Figuras 6 y 7 están representados los resultados obtenidos para los ensayos de resistencia a compresión y a flexión a 2, 28 y 90 días de curador. En general, se observa que los cementos binarios presentan un comportamiento similar a todas las edades de hidratación, con una ligera disminución con respecto a la pasta OPC de referencia. A 2 días de curado, los valores mecánicos a compresión y flexotracción son más próximos al apasta de referencia, motivado por la presencia de mayor cantidad de calcita, la cual acelera la hidratación de las partículas de cemento para dar mono y/o hemi-carboaluminatos cálcicos rápidamente, aparte del efecto filler en ambos cementos [31].

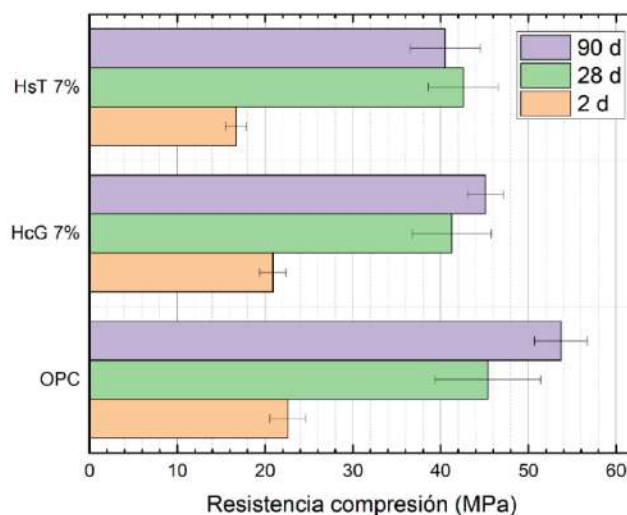


Figura 6. Resistencia a la compresión de todas las pastas de cemento a 2, 28 y 90 días de curado.

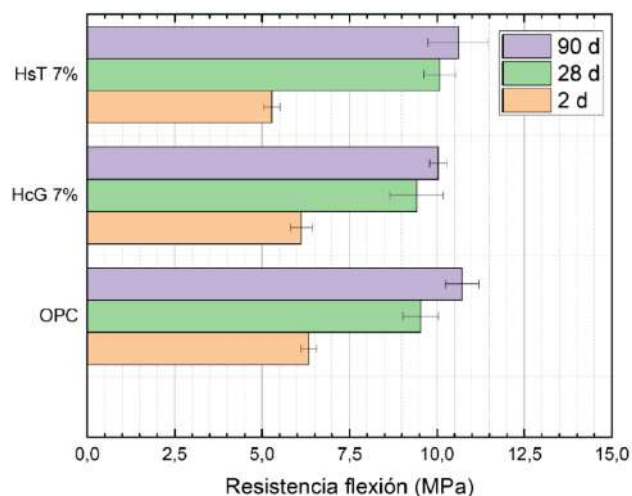


Figura 7. Resistencia a la flexión de todas las pastas de cemento a 2, 28 y 90 días de curado.

A partir de 28 días de curado, la ganancia de resistencia es menor que la experimentada por la pasta OPC mínima, lo que corrobora la baja actividad puzolánica de este tipo de residuos industriales (Fig. 3), por lo que predomina el efecto dilución del cemento OPC sobre la reacción puzolánica. Esta evolución encontrada en las resistencias mecánicas está en consonancia con los valores de microporosidad comentados anteriormente y están en línea con otras puzolanas de baja o media actividad puzolánica, como las escorias SiMn[32] y residuos de granito[33].

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes de la presente son las siguientes:

- Los residuos finos del hormigón reciclado (HsT y HcG) procedentes de RCDs, evidencian grandes diferencias químicas y mineralógicas en función de la naturaleza del árido empleado previamente en el elemento constructivo (calcáreo o silíceo).
- El residuo HsT, por su naturaleza ácida presenta una mayor reacción puzolánica que la mostrada por el residuo de naturaleza caliza. Atendiendo a los valores de la constante de

reacción (K), el residuo HsT muestra una reactividad 6 veces mayor que el de naturaleza calcárea.

- Las propiedades físicas de las pastas de cemento adicionadas con este tipo de residuos con un 7% de sustitución son similares al del OPC, cumpliendo con los requerimientos normalizados, en cuanto al inicio de fraguado y expansión de volumen.
- La microporosidad de las pastas binarias es similar de referencia con poros mayoritariamente inferiores a 100 nanómetros, presentando en todos los casos el mismo porcentaje de porosidad total.
- Las propiedades mecánicas a compresión y flexotracción de las pastas de cemento binarias son ligeramente inferiores a la de la pasta de referencia, motivado más por el efecto dilución que por el de reactividad puzolánica. A pesar de ello, las diferencias son mínimas cumpliendo con los requerimientos mecánicos normalizados y manteniendo en todos los casos la misma categoría resistente que el cemento de partida, teniendo en cuenta las desviaciones obtenidas para probetas de 1x1x6 cm.

A la vista de la presente investigación se puede resaltar que las fracciones finas del hormigón reciclado acumuladas en las plantas de gestión pueden ser viables como adiciones mineralógicas para la fabricación de futuros cementos eco-eficientes y sostenibles. Estos resultados obtenidos forman parte de un proyecto nacional vigente, cuyo objetivo final es la búsqueda de nuevas aplicaciones industriales de estos residuos, dirigidas fundamentalmente a la impresión 3D como futura tecnología de construcción.

5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU), por la Agencia Nacional de Investigación Española (AEI) y por la European Regional Development Fund (ERDF), bajo el proyecto RTI2018-097074-B-C21/22. Gracias también a la Asociación de RCDs Española (RCDA), Sika (Madrid, España) y al Instituto Español de Cementos y sus Aplicaciones (IECA).

6. REFERENCIAS

- [1] I.F. Häfliger, V. John, A. Passer, S. Lasvaux, E. Hoxha, M.R.M. Saade, G. Habert, Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials, *J. Clean. Prod.* 156 (2017) 805–816. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.052>.
- [2] T. Chinda, Investigation of factors affecting a construction waste recycling decision, *Civ. Eng. Environ. Syst.* 33 (2016) 214–226. <https://doi.org/10.1080/10286608.2016.1161030>.
- [3] European Environment Agency, Construction and Demolition Waste : challenges and opportunities in a circular economy, Brief. No. 14/2019. (2020) 8. https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolition-waste-challenges/at_download/file.
- [4] E.C.D.-G. Environment, EU Construction & Demolition Waste Management Protocol, *Off. J. Eur. Union.* (2016) 1–22.
- [5] European Commission, Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council on waste., (2008).
- [6] F. Colangelo, T.G. Navarro, I. Farina, A. Petrillo, Comparative LCA of concrete with recycled aggregates: a circular economy mindset in Europe, *Int. J. Life Cycle Assess.* 25 (2020) 1790–1804. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01798-6>.

- [7] E. Moreno-Pérez, J. Hernández-Ávila, Y. Rangel-Martínez, E. Cerecedo-Sáenz, A. Arenas-Flores, M.I. Reyes-Valderrama, E. Salinas-Rodríguez, Chemical and mineralogical characterization of recycled aggregates from construction and demolition waste from Mexico city, *Minerals*. 8 (2018). <https://doi.org/10.3390/min8060237>.
- [8] E. Asensio, C. Medina, M. Frías, M.I. Sánchez de Rojas, Fired clay-based construction and demolition waste as pozzolanic addition in cements. Design of new eco-efficient cements, *J. Clean. Prod.* 265 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121610>.
- [9] H. Krour, R. Trauchessec, A. Lecomte, C. Diliberto, L. Barnes-Davin, B. Bolze, A. Delhay, Incorporation rate of recycled aggregates in cement raw meals, *Constr. Build. Mater.* 248 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118217>.
- [10] M. Contreras, S.R. Teixeira, M.C. Lucas, L.C.N. Lima, D.S.L. Cardoso, G.A.C. da Silva, G.C. Gregório, A.E. de Souza, A. dos Santos, Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study), *Constr. Build. Mater.* 123 (2016) 594–600. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.044>.
- [11] C. Medina, W. Zhu, T. Howind, M.I. Sánchez De Rojas, M. Frías, Influence of mixed recycled aggregate on the physical-mechanical properties of recycled concrete, *J. Clean. Prod.* 68 (2014) 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.002>.
- [12] P. Plaza, I.F. Sáez del Bosque, M. Frías, M.I. Sánchez de Rojas, C. Medina, Use of recycled coarse and fine aggregates in structural eco-concretes. Physical and mechanical properties and CO₂ emissions, *Constr. Build. Mater.* 285 (2021) 122926. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122926>.
- [13] Instrucción Española de Hormigón Estructural, 2021.
- [14] I. Vegas, I. Azkarate, A. Juarrero, M. Frías, Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates, *Mater. Constr.* 59 (2009) 5–18. <https://doi.org/10.3989/mc.2009.44207>.
- [15] J. Moreno-Juez, I.J. Vegas, M. Frías Rojas, R. Vigil de la Villa, E. Guede-vázquez, Laboratory-scale study and semi-industrial validation of viability of inorganic CDW fine fractions as SCMs in blended cements, *Constr. Build. Mater.* 271 (2021) 121823. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121823>.
- [16] M. Frías, R.V. de la Villa, S. Martínez-Ramírez, L. Fernández-Carrasco, E. Villar-Cociña, R. García-Giménez, Multi-Technique Characterization of a Fine Fraction of CDW and Assessment of Reactivity in a CDW/Lime System, *Minerals*. 10 (2020) 590. <https://doi.org/10.3390/min10070590>.
- [17] European Commission, Circular economy action plan, *Eur. Comm.* (2020) 28. <https://doi.org/10.2775/855540>.
- [18] M. Frías, R. García-Giménez, S. Martínez-Ramírez, J. Moreno-juez, M. Monasterio, L. Caneda-Martínez, Behaviour and Properties of Eco-Cement Pastes Elaborated with Recycled Concrete Powder from Construction and Demolition Wastes, *Materials (Basel)*. 14 (2021) 1299. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma14051299>.
- [19] EN 196-1:2016 - Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength, n.d. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/37b8816e-4085-4dcc-a642-a383d9bdd6c/en-196-1-2016> (accessed August 3, 2021).
- [20] A. Koch, U. Steinegger, A rapid test for cements for their behaviour under sulphate attack., *Zem-Kalk-Gips*. 7 (1960) 317–324.
- [21] M. Frías, R. García, R. Vigil, S. Ferreiro, Calcination of art paper sludge waste for the use as a supplementary cementing material, *Appl. Clay Sci.* 42 (2008) 189–193. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.01.013>.
- [22] CEN-CENELEC, European Standard EN 196-3:2016. Methods of testing cement-Part 3: determination of setting times and soundness, Brussels, Belgium, 2016.

- [23] UNE-EN 196-1 Parte 1 : Determinación de resistencias, 2018.
- [24] M. Frías, M.I. Sánchez de Rojas, M.P. Luxán, N. García, Determination of specific surface area by the laser diffraction technique. Comparison with the blaine permeability method, *Cem. Concr. Res.* 21 (1991) 709–717. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(91\)90165-E](https://doi.org/10.1016/0008-8846(91)90165-E).
- [25] C. Ulsen, H. Kahn, G. Hawlitschek, E.A. Masini, S.C. Angulo, V.M. John, Production of recycled sand from construction and demolition waste, *Constr. Build. Mater.* 40 (2013) 1168–1173. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.004>.
- [26] M. Frías, O. Rodríguez, I. Vegas, R. Vigil, Properties of calcined clay waste and its influence on blended cement behavior, *J. Am. Ceram. Soc.* 91 (2008) 1226–1230. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2008.02289.x>.
- [27] E. Villar-Cociña, E.V. Morales, S.F. Santos, H. Savastano, M. Frías, Pozzolanic behavior of bamboo leaf ash: Characterization and determination of the kinetic parameters, *Cem. Concr. Compos.* 33 (2011) 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.09.003>.
- [28] M. Frías-Rojas, M.I. Sánchez-de-Rojas-Gómez, C. Medina-Martínez, E. Villar-Cociña, New trends for nonconventional cement-based materials: Industrial and agricultural waste, 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102001-2.00007-3>.
- [29] CEN-CENELEC, European Standard EN 197-1:2011. Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements, Brussels, Belgium, 2011.
- [30] T. Vuk, V. Tinta, R. Gabrovšek, V. Kaučič, The effects of limestone addition, clinker type and fineness on properties of Portland cement, *Cem. Concr. Res.* 31 (2001) 135–139. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00427-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00427-0).
- [31] T. Oey, A. Kumar, J.W. Bullard, N. Neithalath, G. Sant, † † Member, The Filler Effect: The Influence of Filler Content and Surface Area on Cementitious Reaction Rates, n.d. <https://www.nist.gov/publications/filler-effect-influence-filler-content-and-surface-area-cementitious-reaction-rates> (accessed February 12, 2021).
- [32] M. Frías, C. Rodríguez, Effect of incorporating ferroalloy industry wastes as complementary cementing materials on the properties of blended cement matrices, *Cem. Concr. Compos.* 30 (2008) 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.05.004>.
- [33] G. Medina, I. Saez del Bosque, M. Frías, M.I. Sanchez de Rojas, C. Medina, Effect of granite waste on binary cement hydration and paste performance: statistical analysis, *Mater. J.* 116 (2019) 63–72.

Eficacia de Inhibidores Comerciales de Corrosión en Probetas de Mortero con 2% de Cl⁻ con Relación al Peso de Cemento en Agua de Amasado.

A. Bonilla^{1*}, A. Moragues², J. Gálvez³

*Autor de Contacto: af.bonilla@alumnos.upm.es

¹ Materiales de Construcción, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

² Química, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

³ Materiales de Construcción, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

RESUMEN

Se investiga la eficacia de tres inhibidores aplicados como tratamientos superficiales de rehabilitación en probetas de mortero con 2% Cl⁻ con relación al peso de cemento en agua de amasado. Se han elegido inhibidores formulados en base a diferentes principios activos: Alcoxi Silano, mezcla de Alquilsilanos y el Órgano Mineral en base acuosa. El comportamiento electroquímico del acero fue investigado por la técnica de resistencia a la polarización lineal (LPR) e impedancia de espectroscopía electroquímica (EIS). Se confirma que, transcurridos 544 días, todos los inhibidores reducen la I_{corr} . Sin embargo existen diferencias significativas. El Alcoxi Silano resulta ser a la edad estudiada el más eficaz, siendo el Alquilsilano y órgano Mineral los que más rápido comienzan a mostrar su efecto.

ABSTRACT

This investigation is about the efficacy of three inhibitors applied as rehabilitation surface treatments in mortar specimens with 2% Cl⁻ in relation to the weight of cement in mixing water. Inhibitors formulated based on different active principles have been chosen: Alkoxy Silane, mixture of Alkylsilanes and the Mineral Organ based on water. The electrochemical behavior of steel was investigated by the linear polarization resistance (LPR) and electrochemical spectroscopy (EIS) impedance technique. It is confirmed that after 544 days, all inhibitors reduce I_{corr} . However, there are significant differences. The Alkoxy Silane turns out to be the most effective at the studied age. Alkylsilane and Mineral Organ are the fastest to show's better result's.

Palabras clave: Corrosión; Inhibidores; Intensidad de Corrosión; Impedancia; Circuitos Equivalentes;

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es el medio protector en el que se encuentra embebido el acero de las armaduras. En general, es un material heterogéneo con estructura porosa. Tiene la propiedad de proteger el acero contra la corrosión de una manera estable y duradera (Calleja & Andrade, 1973). Esta protección

es de doble naturaleza: En primer lugar, es una barrera física entre el acero y el medio externo. En segundo lugar, el agua que rellena los poros del hormigón debido a las reacciones de hidratación está saturado en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y contiene iones como Na^+ , K^+ y SO_4^- , que sitúan su pH entre 12.5 y 13.5, dependiendo del tipo de cemento utilizado (Andrade, 1982; Bertolini et al., 2004). Este elevado pH y en presencia del oxígeno atmosférico, favorece la formación de una película de óxidos muy estable, llevando a la pasivación de las armaduras (Calleja & Andrade, 1973; Andrade, 1982; Bertolini et al., 2004; Elsener & Angst, 2016). Sin embargo, cuando una cantidad suficiente de iones cloruro (de las sales de deshielo o del agua de mar) penetra a través de la superficie del hormigón y alcanza el refuerzo, o cuando el pH de la solución de los poros disminuye a valores bajos debido a la carbonatación, la película protectora se destruye y el acero de refuerzo se despasiva (Tuuti, 1982; Feliú & Andrade, 1989; Saricimen et al., 2002; Bertolini et al., 2004; Elsener & Angst, 2016;). La rotura de la película pasiva como consecuencia de la llegada de estos agresivos hasta el nivel de la armadura produce corrosión y provoca la reducción de las propiedades del hormigón armado, por lo que puede llevar asociada una disminución en el tiempo de la vida útil de las estructuras (Tuuti, 1982). La reducción del tiempo en servicio de la estructura lleva asociado costes económicos derivados de la pérdida temporal o total de uso, costo de reparaciones y monitoreo, así como un aumento en la huella de carbono del material (CC Technologies Laboratories, International, & Administration, 2002). La aparición de la corrosión en el acero conlleva a una mayor incidencia de desprendimiento, deslaminación y, como consecuencia fallos en elementos estructurales (Calleja & Andrade, 1973; Koch et al., 2016; Jones, 1996).

La forma más común en el hormigón armado es la corrosión por picadura del refuerzo debido a la ruptura localizada de la película pasiva en la superficie del acero causada por los iones cloruro (Garcés et al., 2008; Garcés et al., 2011). Para evitar o reducir el impacto de este problema, varios métodos han sido investigados. Algunos ejemplos son: los revestimientos protectores tipo epoxy para el acero (Sagüés et al., 2001), inhibidores de corrosión de diferente naturaleza, orgánicos e inorgánicos (Elsener & Angst, 2016; Söylev & Richardson, 2008; Qian & Cusson, 2004; Mäder, 1994; Jamil et al., 2003), protección electroquímica: corriente impresa, ánodos de sacrificio, etc (Koleva et al., 2007). Actualmente, los inhibidores en el hormigón armado son utilizados porque son fáciles de aplicar y tienen bajo coste económico (Elsener & Angst, 2016; Söylev & Richardson, 2008; Tritthart, 2003). Se consideran como tales, sustancias químicas que retrasan el inicio de la corrosión o disminuyen su velocidad de propagación sin efectos adversos sobre las propiedades mecánicas del hormigón (International Standards Organisation, 1989; Elsener et al., 2003; Etteyeb et al., 2007; Jones, 1996). El inhibidor puede ser añadido generalmente durante la preparación del hormigón en el agua de la mezcla (Tuuti, 1982). También, puede ser aplicado como impregnación superficial de forma previa a la aparición del daño como prevención o con posterioridad al inicio de la corrosión como tratamiento de rehabilitación estructural para aumentar el tiempo en servicio de la estructura (Jamil et al., 2007; Liu et al., 2018). Los inhibidores impregnados deben ser capaces de penetrar a través de los poros capilares y difundir hasta alcanzar el acero de refuerzo en un tiempo corto y con una concentración suficientemente alta para protegerle de la corrosión. Son llamados inhibidores de corrosión migratorios (MCI) y han aumentado su uso en los últimos años (Söylev & Richardson, 2008; Tritthart, 2003; Wombacher et al., 2004; Bolzoni et al., 2007; Welle et al., 1997).

En este artículo se estudiará la eficacia de tres inhibidores aplicados como tratamientos superficiales de rehabilitación. Se han elegido inhibidores formulados en base a diferentes principios activos: base química Alcoxi Silano, mezcla de Alquilsilanos y, por último, un inhibidor Órgano Mineral en base acuosa. El comportamiento electroquímico del acero fue

evaluado por la técnica de resistencia a la polarización lineal (LPR) e impedancia de espectroscopía electroquímica (EIS).

2. PROCEDIMIENTO

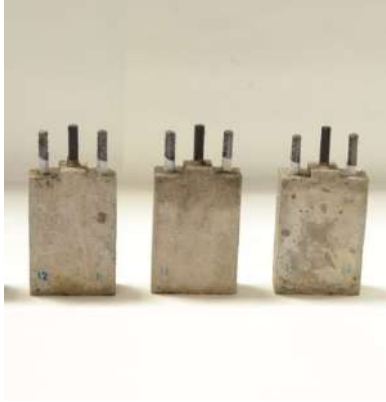
2.1 Materiales y Preparación de Probetas

El material utilizado como electrodo de trabajo fueron armaduras de acero al carbono con un diámetro nominal de 6 mm (Composición Química del acero se observa en la Tabla 1). El acero paso previamente un proceso de limpieza y decapado en un baño de ultrasonidos. Se utilizó una disolución 1:1 de ácido clorhídrico a la que se añadieron 3,5g de hexametilentetramina (urotropina). Las barras fueron sumergidas durante 3 minutos en esta disolución a una temperatura entre 20-25°C.

Tabla 1. Composición química de barras de acero al carbono.

C Max (%)	S Max (%)	P Max (%)	N Max (%)	Ceq Max (%)
0.220	0.050	0,050	0.120	0.500

Después del decapado, la armadura se lavó con agua destilada y se sumergió en acetona durante un minuto y medio. Finalmente se utilizó un secador de aire para eliminar cualquier resto de humedad. Se encintaron los aceros con cinta aislante eléctrica en dos zonas para delimitar el área de ataque expuesta a los cloruros. Esta zona efectiva fue de 3cm, y corresponde al área de 5.65 cm². El procedimiento y dimensiones de las probetas utilizadas para la preparación de un mortero normalizado para ensayos electroquímicos se encuentran establecidos por la norma (UNE 112072, 2011; UNE EN 196-1, 2018). En este caso, se utilizó una dosificación de arena/cemento 3/1 y una relación agua/cemento (a/c) igual a 0.5. Para la fabricación de todas las probetas se utiliza cemento Portland CEM I 52,5R (Composición del cemento Tabla 2). Las dimensiones utilizadas de las probetas fueron: 2x5.5x8cm (Figura 1).

Tabla 2. Composición química CEM I 52,5R				Figura 1. Probeta tipo	
CEM 52.5R					
CaO	62.7	TiO₂	0.25		
Fe₂O₃	3.10	Al₂O₃	4.80		
K₂O	1.03	P₂O₅	0.17		
MgO	2.08	MnO	0.030		
Na₂O	0.10	ZnO	0.078		
SiO₂	19.2	SO₃	2.93		
P.Calcinación			3.51		

Debido a que los inhibidores de impregnación superficial se estudian como tratamiento de reparación, fue necesario implementar un método para iniciar el proceso de corrosión de las barras de acero en el mortero. Se añadió al agua de amasado un 2% de Cl⁻ en peso de cemento. En cada probeta, se insertaron en los laterales dos electrodos de trabajo y en el centro un

electrodo auxiliar o contraelectrodo de grafito. Finalizada su fabricación, las probetas se almacenaron en la cámara húmeda para su correcto curado (temperatura 20°C y 85% humedad relativa). Los productos comerciales objeto de estudio fueron: Impregnación hidrofóbica de base química Alcoxi Silano (Densidad 0.9 g/cm³, impregnación hidrofóbica basado en una mezcla de Alquilsilanos de baja polaridad (Densidad 0.9 g/cm³, e impregnación inhibidora de base química Órgano-Mineral en base acuosa (Densidad 1 ± 0.10 g/cm³). Las probetas se mantuvieron en la cámara de curado para llevar a cabo la medida con el material saturado. Una vez que mediante medidas de la intensidad de corrosión se confirmó la activación del proceso de corrosión, se impregnaron las probetas con los productos objeto de estudio. El criterio que se siguió fue obtener intensidad de corrosión mayor que 0,1µA/cm² durante tres días consecutivos. A los 14 días de curado se obtuvo dicha intensidad de corrosión, y se inició la aplicación de inhibidores sobre la superficie de la probeta con brocha una sola vez, de abajo hacia arriba, evitando escurrimientos (Según ficha técnica). Una vez las probetas fueron impregnadas, se introdujeron en la cámara húmeda.

2.2 Montaje y Medidas Electroquímicas

Los ensayos se realizaron por medio de un potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT 204 de Metrohm Autolab B.V[®]. Se utilizó un electrodo referencia (RE) de Ag/AgCl con KCl = 3 mol/L. Se utiliza como electrodo de trabajo el acero al carbono embebido en la probeta. Para cerrar el circuito se utiliza un tercer electrodo, por lo general de un material que no se ve afectado por el medio en que se realiza la experiencia. Para este fin se utilizó la barra de grafito. Este dispositivo se introduce dentro de una Jaula de Faraday para eliminar el ruido o posibles desviaciones que pueden producir en las medidas, las señales exteriores de otros equipos o sistemas. Una vez listo el montaje del potenciostato con las respectivas conexiones, se procedió a configurar los métodos electroquímicos para poder ejecutar el ensayo.

El método de la resistencia a la polarización lineal (LPR) se utilizó para determinar la velocidad de corrosión instantánea, así como para estudiar la capacidad protectora de los inhibidores de corrosión (UNE 112072, 2011; Jones D. A., Polarization Methods to Measure Corrosion Rate, 1996; Hinds, 1996; ASTM). La medida se realizó aplicando velocidades de polarización de 0.1667 mV/s desde -20mV a 20mV alrededor del potencial de circuito abierto (OCP). Posteriormente, el método de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS) se utilizó para distinguir entre distintos procesos dentro de un mismo sistema. La técnica consiste en la medida de la corrosión a través de una pequeña señal de voltaje (o corriente) alterna y constante a un electrodo de trabajo, haciendo barridos de frecuencia de la señal aplicada (Jones D. A., Polarization Methods to Measure Corrosion Rate, 1996; Andrade & Alonso, 1996; Andrade et al., 1986; Hladky et al., 1980; Macdonald, 1987). Embeber el grafito (CE) es práctico porque hace el sistema más compacto. No obstante, a partir de la experiencia en las medidas, se logró identificar que complica la distribución del campo eléctrico y hace que los resultados sean válidos en EIS sólo a frecuencias muy bajas. La corriente va a circular con mayor proporción entre las superficies del acero y el grafito que están próximas. En este caso, la parte de atrás de la barra de acero no es sensible a la polarización que se induce desde el contra electrodo. Por lo que se decidió utilizar una malla de Titanio MMO como CE externo para envolver la probeta y mejorar la accesibilidad de esta superficie. Así, tanto la parte superior e inferior del acero está trabajando. Las medidas de impedancia se realizaron mediante control potenciostático y midiendo la respuesta en corriente. El rango de frecuencias en el que se ha realizado el registro de datos se ha situado entre 10⁵ Hz y 0.01 Hz, tomando 10 puntos por década. La amplitud de la señal de voltaje AC de entrada ha sido ±10mV rms respecto al potencial de corrosión de la armadura.

3. RESULTADOS

3.1 Resistencia a la Polarización Lineal (LPR)

Las curvas de polarización resultantes del ensayo de LPR de probetas impregnadas respecto a la probeta de referencia transcurridos 544 días de su fabricación se muestran en la Figura 2. Las curvas muestran la rama catódica y anódica, y por tanto el potencial de corrosión. Todas las ramas de los aceros embebidos en las probetas a las cuales se aplicaron los productos de estudio, a excepción del acero Órgano Mineral 1, ubican sus potenciales en valores menos electronegativos que la referencia ($E_{\text{corr}} > -580\text{mV}$). No obstante, la probabilidad de que existan procesos activos de corrosión se considera alta en todos los aceros ($E_{\text{corr}} < -350\text{mV}$) (UNE 112072, 2011). La razón de los valores altamente electronegativos obtenidos de potencial de corrosión (E_{corr}), se atribuye a que las probetas han estado bajo las condiciones de la cámara húmeda durante el estudio, por lo cual se encuentran saturadas de agua, reduciendo así el oxígeno. Como consecuencia, esto eleva la resistencia del cátodo a un valor tan alto que, a través de una corriente anódica muy pequeña, produce un potencial muy electronegativo.

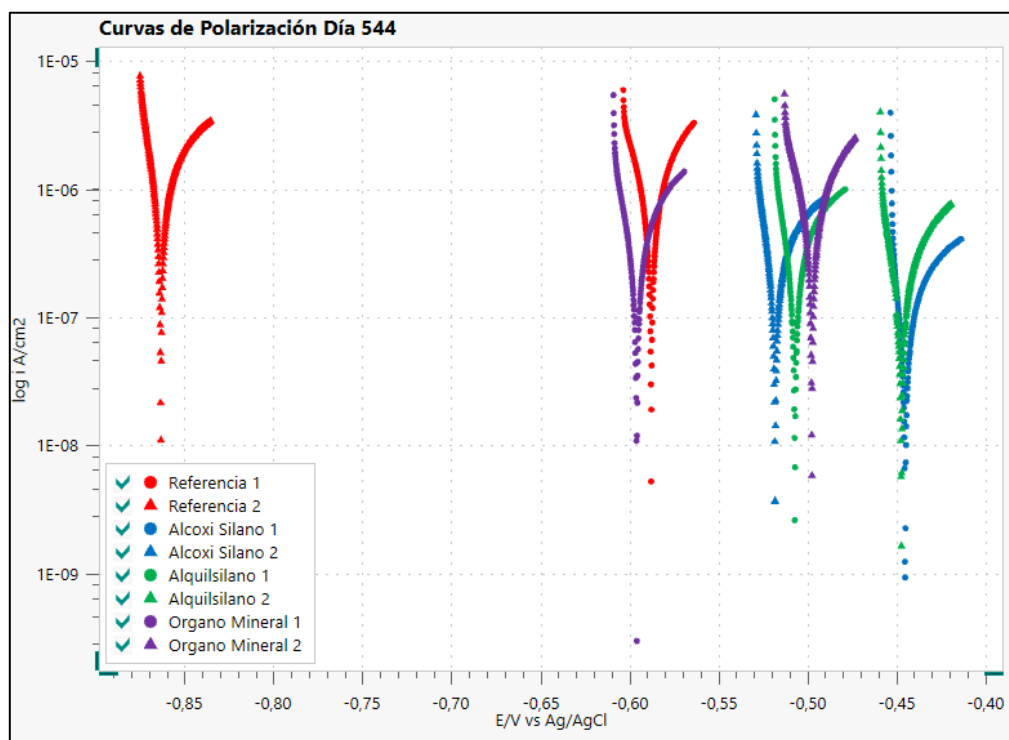


Figura 2. Curvas de polarización de aceros embebidos en probetas de mortero con productos de impregnación superficial transcurridos 544 días de fabricación.

A partir de las curvas se puede cuantificar los valores de: Intensidad de Corrosión (I_{corr}) y Potencial de Corrosión (E_{corr}). Para calcular la I_{corr} se sigue el procedimiento propuesto en la norma (UNE 112072, 2011). A partir de la gráfica I/E se obtiene la pendiente en el punto de potencial de corrosión que corresponde a la resistencia de polarización. A esta resistencia total de la probeta se resta la caída óhmica (R_{Ω}) del mortero que recubre el acero para poder obtener la R_p (1) de la transferencia de carga entre la superficie del acero y el mortero. Para el cálculo de esta caída óhmica se realiza una medida de impedancia de espectroscopía electroquímica (EIS). Una vez obtenida la R_p , se utilizó la relación directa entre la intensidad de corrosión y la resistencia a la polarización propuesta por Stern y Geary (2) (Stern, M; Geary, A, L., 1957) para

determinar la intensidad de corrosión, I_{corr} (con $B=26$ (Andrade & Alonso, 1996; Andrade., 1986)). Una vez calculados todos los parámetros para cada caso de estudio, se resumen los resultados en la Tabla 3.

$$R_p = R_p (\text{LPR}) - R_\Omega (\text{EIS}) \quad (1)$$

$$I_{\text{corr}} = B \cdot \frac{1}{R_p \cdot A} \quad (2)$$

Tabla 3. Parámetros electroquímicos obtenidos transcurridos 544 días de fabricación.

Grupo	Muestra	E_{corr} (mV)	R_p ($k\Omega \cdot \text{cm}^2$)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
Referencia	1	-583	26,25	0,99
	2	-855	29,16	0,89
Alcoxi Silano	1	-433	394,79	0,07
	2	-508	149,59	0,17
Alquilsilanos	1	-498	109,11	0,24
	2	-438	145,43	0,18
Órgano mineral	1	-589	98,19	0,26
	2	-492	38,52	0,68

La Tabla 3 muestra los resultados de los dos aceros de la misma probeta. Se ha mantenido el orden de medida para evaluar en su caso el efecto del campo eléctrico aplicado sobre el otro acero. Los resultados obtenidos de intensidad de corrosión I_{corr} reflejan que todos los aceros, con excepción del Alcoxi Silano 1, se encuentran en estado activo ($I_{\text{corr}} > 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) como consecuencia del agresivo añadido en la mezcla del mortero (iones Cl). Sin embargo, los aceros de probetas impregnadas con los inhibidores objeto de estudio se corroen a una menor velocidad que la referencia. En un caso el inhibidor Órgano Mineral presenta resultados similares al de referencia. En el caso de los aceros de probetas con impregnación de base química Alcoxi Silano e inhibidor Alquilsilano, los resultados de I_{corr} obtenidos se encuentran dentro de los límites que representan un estado de corrosión baja ($0.1 > I_{\text{corr}} < 0.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). Parece ser que el inhibidor Alcoxi Silano logra tener un mejor comportamiento porque sitúa la intensidad de un acero en los valores límites de corrosión despreciable ($I_{\text{corr}} < 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). No obstante, la diferencia de I_{corr} entre ambos productos no es significativa. Por otro lado, los resultados del inhibidor con base química Órgano Mineral muestran valores opuestos. La intensidad de corrosión de un acero es similar a la obtenida con los otros inhibidores ensayados ($I_{\text{corr}} < 0.26 \mu\text{A}/\text{cm}^2$), mientras que el otro acero resultó ser más activo como un acero de referencia ($I_{\text{corr}} = 0.68 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). Es posible que la concentración de iones cloruro sea mayor en alguna zona del acero y que, por lo tanto, el producto de estudio no generó una capa homogénea de protección. La Figura 3(a) y 3(b) exponen la tendencia de la evolución de I_{corr} referente al área de ataque, y E_{corr} transcurridos 544 días de medidas. La línea vertical representa el momento de impregnación realizado durante el ensayo. Se ha seleccionado en todos los casos el primer acero medido.

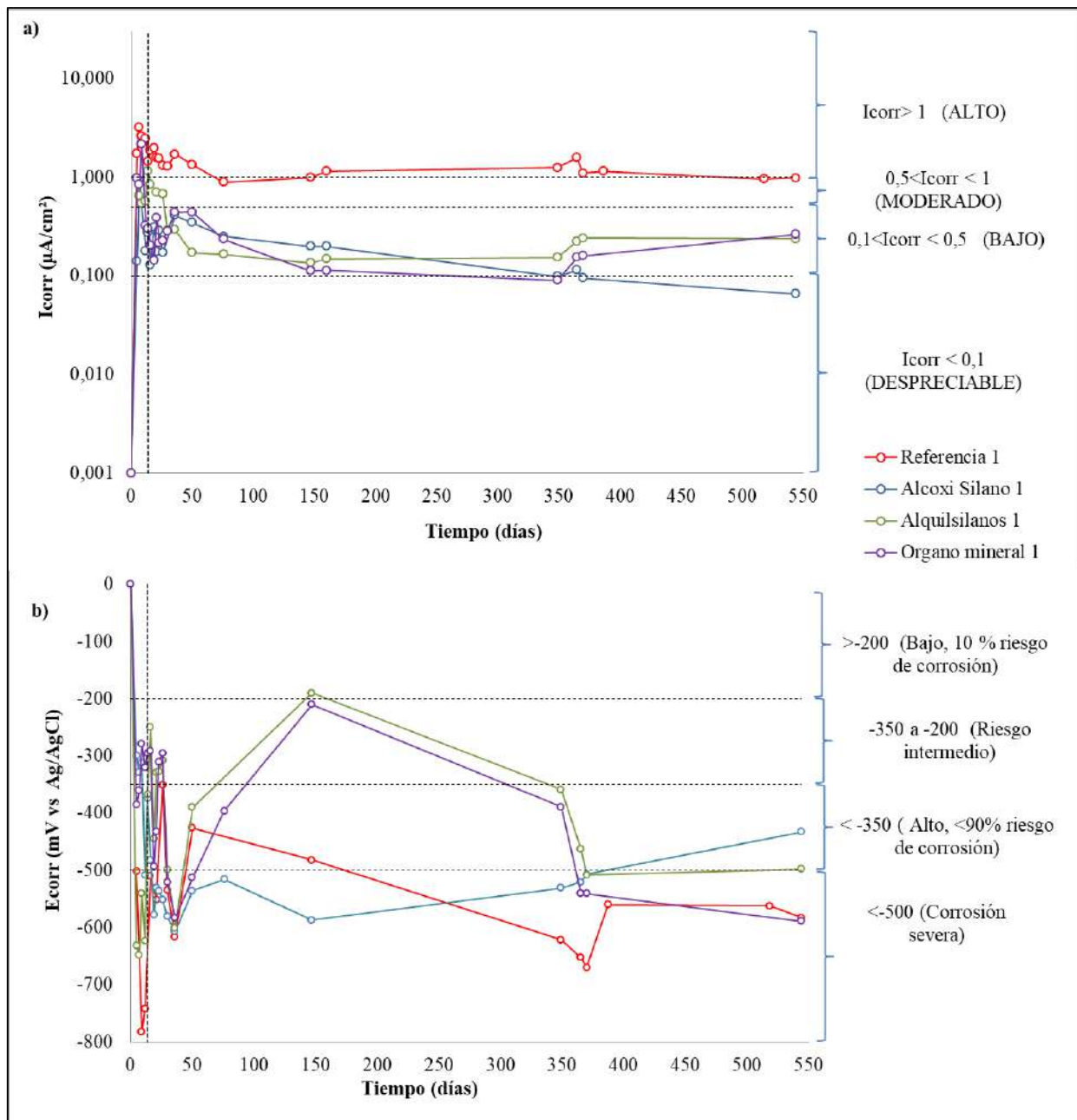


Figura 3. a) Evolución de I_{corr} y b) Evolución de E_{corr} con el tiempo de probetas contaminadas con iones Cl sin inhibidor vs probetas con producto.

Los resultados muestran que, después de aplicar los inhibidores, el comportamiento del material es mejor. El Alquilsilano y Órgano Mineral mantienen la intensidad casi estable desde el momento en el que se aplicó el producto. Sin embargo, el inhibidor Órgano Mineral tiende a incrementar I_{corr} transcurridos 350 días. Esto puede estar asociado a la pérdida de efectividad del producto transcurrido este tiempo (Elsener et al., 1999; Tritthart, 2003; Nmai, 2004) y, por lo tanto, la falta de concentración de inhibidor. Como consecuencia, esto puede producir corrosión localizada por picaduras (Söylev & Richardson, 2008; Calleja & Andrade, 1973). El Alcoxi Silano se ha tomado más tiempo en lograr mejorar el comportamiento del material ya que, sólo a partir de 150 días el producto tiende a disminuir la I_{corr} . Finalmente, transcurridos 544 días, el comportamiento del material con Alcoxi Silano es más efectivo. Esto parece indicar que los

productos tienen mecanismos de interacción con la matriz diferenciados que modifican tanto los plazos de actuación como los resultados finales. No obstante, sólo uno de los productos logra condiciones despreciables de corrosión en al menos un acero ($I_{\text{corr}} < 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$).

3.2 Impedancia de Espectroscopía Electroquímica (EIS)

Como se observó anteriormente, la medida de impedancia es útil para poder completar el cálculo de la R_p en el método de la resistencia a la polarización lineal (LPR). A partir de este método se determina la caída óhmica del mortero (R_Ω) y así se descuenta a la resistencia total ($R_{p(LPR)}$), para obtener la R_p del acero. Los procesos electroquímicos en materiales tales como el mortero reforzado están asociados con alteraciones que tienen lugar en diferentes interfaces, como la que existe entre el mortero y los medios agresivos, entre la pasta de cemento y el agregado, y la existente entre la pasta de cemento y el refuerzo de acero. La impedancia permite determinar la resistencia de las diferentes partes que componen un sistema. El método más común de interpretación es utilizar el diagrama de Nyquist y Bode resultante de EIS. Uno de los aspectos más importantes de la técnica como herramienta para investigar las propiedades eléctricas y electroquímicas de los sistemas, es la relación directa que, en muchos casos, se da entre el comportamiento real de un sistema y el de un circuito constituido por un conjunto discreto de componentes eléctricos, denominado circuito equivalente. El circuito más preciso será el que tenga el menor número posible de constantes de tiempo, lo que proporcionaría un significado físico claro (Hu et al., 2012). Basado en estos conceptos se obtienen los diagramas de Nyquist y Bode con su respectivo ajuste a través del circuito equivalente para determinar los valores de cada parámetro que componen al sistema.

La Figura 4 muestra el diagrama de Nyquist y Bode obtenido junto con el ajuste a través del circuito equivalente para el caso del acero referencia 1. El circuito equivalente utilizado en este estudio previamente estudiado por otros autores para mortero reforzado (Liu et al., 2018; Hu et al., 2012; Koleva et al., 2008; Koleva & van Breugel et al., 2008). Consiste en dos constantes conectadas en serie con la resistencia del electrolito (Figura 5). Los elementos del circuito presentan los siguientes significados físicos: R_s está relacionada con la resistencia del electrolito; La primera constante de tiempo, R_c y C_c , se atribuye a la resistencia de la solución de poros y su capacitancia (mortero). La segunda constante de tiempo R_{ct} y C_{ct} , está relacionada con las reacciones electroquímicas que ocurren en la superficie del acero, por lo cual representan el proceso de transferencia de carga entre la superficie del refuerzo y el mortero. Se utilizó un elemento de fase constante (Q) en lugar de una capacitancia pura en el ajuste para tener en cuenta la heterogeneidad de la capa en la superficie del acero (Hu et al., 2012; Garcés et al., 2005). A partir del diagrama de Nyquist se puede observar que los valores correspondientes a la zona de alta frecuencia ($1 \times 10^5 \text{Hz}$), dados por el diámetro del primer semicírculo, describen la resistencia de la solución (mortero). La resistencia de transferencia de carga está dada por el diámetro del segundo semicírculo en la zona de bajas frecuencias (0.01 Hz).

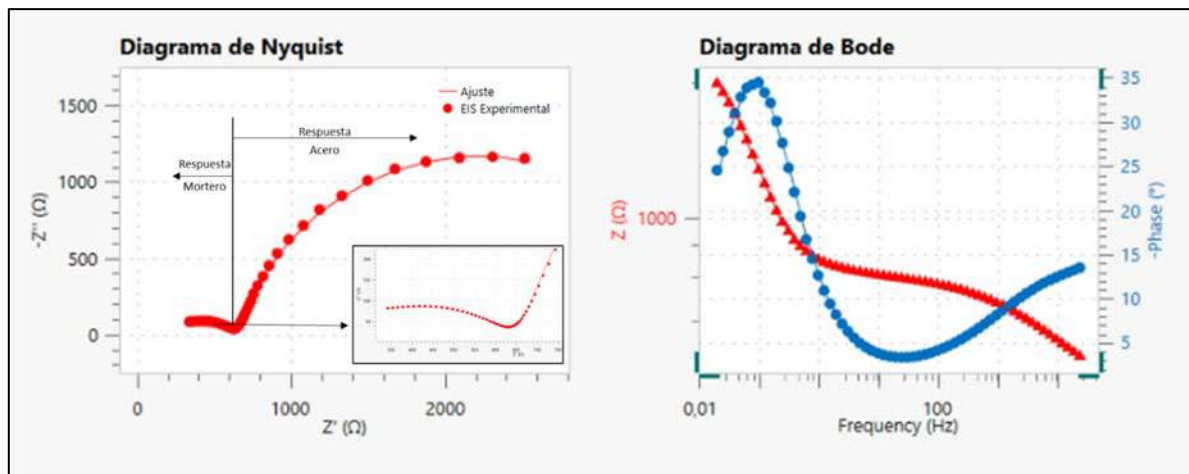


Figura 4. Respuesta experimental de EIS con su respectivo ajuste a través del circuito equivalente. Diagrama de Nyquist y Bode del acero referencia 1.

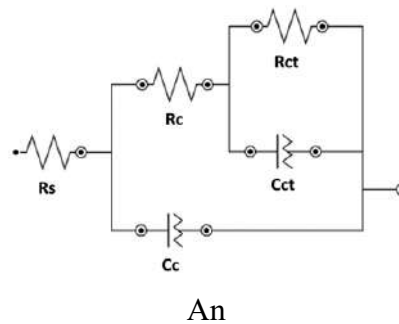


Figura 5. Circuito equivalente.

En la Figura 6 se observa el diagrama de Nyquist junto con la línea de ajuste realizada por el circuito equivalente resultante de impregnar con los diferentes tipos de inhibidor en comparación con la referencia. Los parámetros obtenidos a partir del ajuste con el circuito equivalente se observan en la Tabla 4. Se ha realizado el cálculo de la eficacia con que actúa el inhibidor, $\eta\%$, que se expresa mediante un valor numérico que se define según la expresión (3), donde I_o representa la intensidad de corriente del acero referencia, mientras que I_1 se determina por la intensidad del acero embebido en probeta con inhibidor (Liu et al., 2018; Yangyang et al., 2017).

$$\eta\% = \frac{I_o - I_1}{I_o} \times 100 \quad (3)$$

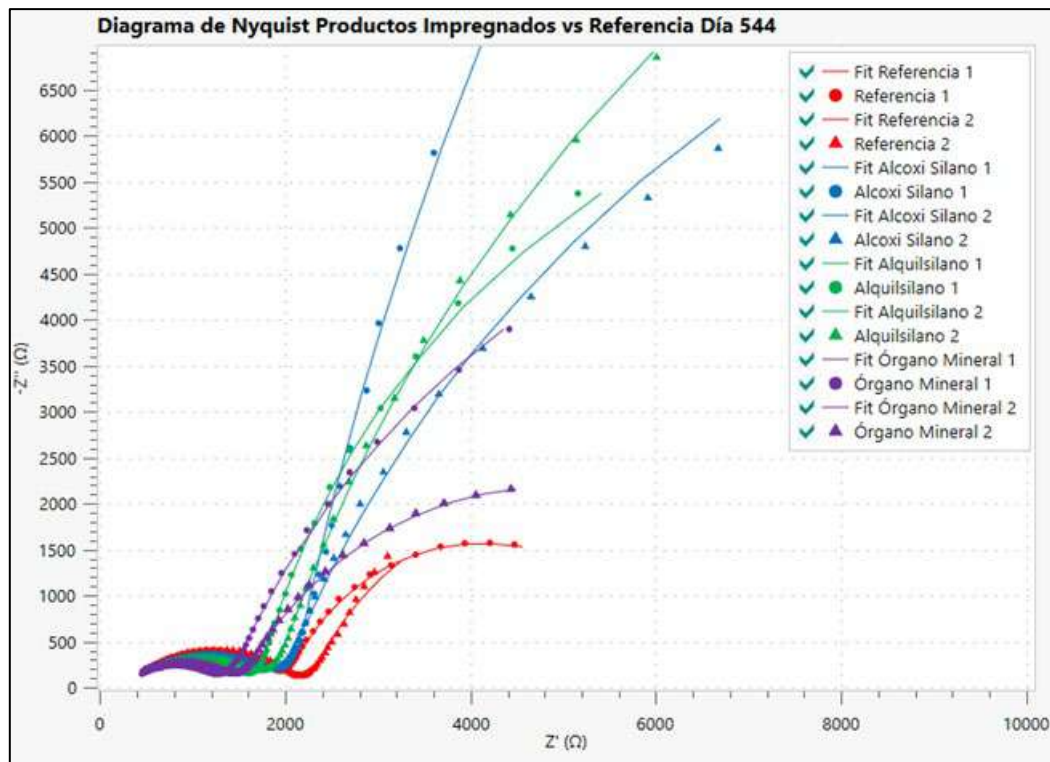


Figura 6. Diagrama de Nyquist ajustado a través de circuito equivalente de productos vs referencia.

Tabla 4. Parámetros obtenidos a través de ajuste por circuito equivalente del diagrama de Nyquist.

Grupo	Muestra	R_s ($k\Omega \cdot cm^2$)	R_c ($k\Omega \cdot cm^2$)	C_c ($\mu F \cdot cm^2$)	R_{ct} ($k\Omega \cdot cm^2$)	$CPE-Y_0$ ($\mu F \cdot cm^2$)	χ^2	η
Referencia	1	1,55	10,17	17,49	23,83	1734,87	0,003	-
	2	2,21	10,57	18,21	36,16	7432,04	0,008	
Alcoxy Silano	1	1,30	10,92	25,25	486,92	1139,10	0,013	93%
	2	1,87	9,61	21,07	144,74	925,96	0,007	82%
Alquilsilanos	1	1,40	8,58	25,28	98,82	1328,41	0,004	76%
	2	1,38	9,55	21,95	190,74	1033,01	0,003	82%
Órgano mineral	1	1,29	6,74	28,39	98,04	1206,16	0,005	73%
	2	1,27	7,55	18,76	38,27	1177,98	0,001	32%

Según el diagrama de Nyquist de la Figura 6 se observa que el comportamiento del material impregnado con Alcoxi Silano mejora transcurridos 544 días. La resistencia de la transferencia de carga entre el acero y el mortero representada por la pendiente de inicio del segundo semicírculo es mayor que la referencia en ambos casos. En la Tabla 4, los valores confirman la presencia de una capa protectora sobre el acero ya que la R_{ct} aumentó como consecuencia de la llegada del Alcoxi Silano a la superficie del acero ($R_{ct} = 486,92$ y $144,74 k\Omega cm^2$). Así mismo, los valores de su respectiva capacitancia son menores que la referencia (CPE), demostrando que disminuye las reacciones electroquímicas de corrosión que ocurren en la superficie del acero. La evolución del componente resistivo del sistema incrementa y los procesos de corrosión se hacen cada vez más difíciles. Según los parámetros obtenidos su efectividad (η) comparada frente a la referencia es

mayor o igual al 82%. Sin embargo, la resistencia de la solución de poros (mortero), R_c , es casi la misma que la del referencia ($R_c = 10,92$ y $9,61\text{k}\Omega\text{cm}^2$). Todo parece indicar que el mecanismo de actuación del inhibidor base Alcoxi Silano se atribuye únicamente a su efecto sobre la transferencia de carga entre el acero y la matriz.

El diagrama de Nyquist también muestra que el comportamiento del material impregnado con Alquilsilano mejora la resistencia de la transferencia de carga. La pendiente del segundo semicírculo es mayor en ambos aceros (Tabla 4) ($R_{ct} = 98,82$ y $190,74\text{k}\Omega\text{cm}^2$). No obstante, los valores de capacitancia, en al menos un caso ($1328,41\mu\text{mcm}^{-2}$), son parecidos a la referencia ($1734,87\mu\text{mcm}^{-2}$). Esto parece indicar que la capa protectora formada sobre el acero no es completamente homogénea y que existen reacciones electroquímicas de corrosión activas. Su efectividad (η) comparada frente a la referencia, se encuentra por encima del 76%. Sin embargo, la resistencia de la solución de poros (mortero), R_c , es casi la misma que la del referencia ($R_c = 6,74$ y $7,55\text{k}\Omega\text{cm}^2$). Todo parece indicar que el mecanismo de actuación del inhibidor base Alquilsilano se atribuye únicamente a su efecto sobre la transferencia de carga entre el acero y la matriz.

Por último, se confirma que el inhibidor Órgano Mineral sólo ha logrado llegar a la superficie de un acero. Se observa que la pendiente del segundo semicírculo es mayor en el acero 1 ($R_{ct} = 98,04\text{k}\Omega\text{cm}^2$), mientras que el acero 2 se comporta casi igual que el de referencia ($R_{ct} = 38,27\text{k}\Omega\text{cm}^2$). Una vez el inhibidor entra en contacto con el acero se observa que su porcentaje de efectividad (η) es 73%. El mecanismo de actuación de este inhibidor sólo se atribuye al efecto sobre la transferencia de carga ya que la resistencia de la solución de poros (mortero), R_c , es casi la misma que la del referencia ($R_c = 3,67$ y $3,81\text{k}\Omega\text{cm}^2$). Los resultados de la R_{ct} en la Tabla 4 muestran que en todos los aceros con inhibidor este parámetro es mayor que el que presenta el acero de la referencia. Lo que parece indicar que el inhibidor favorece la resistencia a la corrosión de la película protectora en la superficie del acero. Sin embargo, las magnitudes de las capacitancias del inhibidor Alquilsilano y Órgano Mineral indican posibles procesos de corrosión que aún se están desarrollando en la superficie del acero que pueden atribuirse a la falta de concentración de producto.

3.3 Análisis Superficial

Una vez realizado el análisis a través de las técnicas electroquímicas, se procede a romper las probetas y extraer los aceros. Se realizan fotografías de los aceros una vez extraídos y después de decapar. El método de limpieza de los aceros es el mismo indicado en el apartado 2.1. A partir de la Figura 7 se puede observar que todos los aceros tienen manchas de óxido producidas por la corrosión como consecuencia del ion Cl añadido en el amasado de las probetas. Esto refleja que la probabilidad de que estos aceros estuvieran dentro de los límites de alto riesgo a la corrosión definida por las técnicas electroquímicas es correcta. El tamaño de las manchas de óxido presenta diferencias significativas entre los distintos aceros. Estas diferencias pueden estar originadas por la no homogeneidad que tienen las superficies de exposición del acero.






















	ACERO SIN DECAPAR	ACERO DECAPADO	
REFERENCIA 1			
REFERENCIA 2			
ALCOXI SILANO 1			
ALCOXI SILANO 2			
ALQUILSILANO 1			
ALQUILSILANO 2			
ÓRG. MINERAL 1			

Figura 7. Comparativa imágenes superficiales de aceros embebidos en probetas con 2% de Cl⁻ en peso de cemento en agua de amasado con inhibidores impregnados.

Con respecto a los aceros referencia después de realizar el decapado, es posible observar que en un caso se ha producido picadura. En el otro acero se observa deterioro en forma de escamado. Es posible observar que las manchas de óxido son más pequeñas en los aceros sin decapar con producto Alcoxi Silano. Una vez realizado el decapado, en este caso no se observa picadura, lo que confirma la presencia de la capa homogénea de protección creada sobre la superficie del acero. Con respecto a los aceros con inhibidor Alquilsilano u Órgano Mineral es posible ver, una vez decapados los aceros, pequeñas picaduras. Esto es coherente con la corrosión activa que se ha medido electroquímicamente. A pesar de tener picaduras, los inhibidores logran estabilizar la corrosión en valores de corrosión baja.

4. CONCLUSIONES

Se puede confirmar experimentalmente que después de aplicar los productos, todos los inhibidores reducen la I_{corr} . Existen diferencias entre los inhibidores estudiados: Transcurridos 544 días, el Alcoxi Silano presenta una I_{corr} despreciable. Los otros dos inhibidores han reducido la velocidad de corrosión hasta el límite bajo. Todos los inhibidores aumentan la resistencia de la interface acero matriz.

La velocidad de acción de los tres inhibidores de este estudio es diferente: El Alquilsilano y Órgano Mineral mantienen la intensidad casi estable desde el momento en el que se aplicó el producto. El Alcoxi Silano no muestra su efecto hasta transcurridos 150 días.

La aplicación de estos inhibidores en las condiciones propuestas por el fabricante no siempre asegura la llegada del producto sobre la superficie del acero en las concentraciones adecuadas. Todos los aceros presentan manchas de óxido. Una vez decapados, los protegidos con inhibidor de base Alcoxi Silano no presentan picaduras.

5. REFERENCIAS

- Andrade, C. (1982). Corrosión Y Protección de Armaduras. *Informes de la Construcción*, 33(339).
- Andrade, C., & Alonso, C. (1996). Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site. *Construction and Building Materials*, 10(5), 315-328.
- Andrade, C; Castelo, V; Alonso, C; Gonzalez, J. A. (1986). The Determination of the Corrosion Rate of Steel Embedded in Concrete by the Polarization Resistance and AC Impedance Methods. En *Corrosion Effect of Stray Currents and the Techniques for Evaluating Corrosion of Rebars in Concrete* (págs. 43-63). Philadelphia: ASTM STP 906, V. Chaker, American Society for Testing and Materials.
- ASTM, I. (s.f.). *G3.4304 Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing*. ASTM International.
- Bertolini, Luca; Elsener, Bernhard; Pedferri, Pietro; Polder, Rob. (2004). *Corrosion For Steel In Concrete*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Bolzoni, F., Fumagalli, G., Lazzari, L., Ormellese, M., & Pedferri, M. (2007). Mixed-in inhibitors for concrete structures. En *Corrosion of Reinforcement in Concrete* (págs. 185-202).
- Broomfield, J. P. (2003). *Corrosion of Steel in Concrete, Understanding, Investigation and Repair, Second Edition*. London: Taylor & Francis Group.

- Calleja, J., & Andrade, M. C. (1973). Prevención de la corrosión de armaduras en el hormigón armado mediante aditivos inhibidores. En *Materiales de construcción* (págs. 175-189).
- CC Technologies Laboratories, I., International, N., & Administration, F. H. (2002). *Corrosion costs and preventive strategies in the United States*.
- Elsener, B., & Angst, U. (2016). Corrosion inhibitors for reinforced concrete. En *Science and Technology of Concrete Admixtures* (págs. 321-339). Pierre-Claude Aïtcin and Robert J Flatt.
- Elsener, B., Cigna, R., Andrade, C., Weydert, R., Seitz, E., & Nurnberger, U. (2003). *Mixed-in inhibitors, Corrosion of Steel in reinforced concrete structures*. Final Report of COST Action 521, ISBN 92-894-4827-X.
- Elsener, B; Büchler, M; Stadler, F; Böhni, H. (1999). Migrating Corrosion Inhibitor Blend for Reinforced Concrete: Part 1- Prevention of Corrosion. *Corrosion*, 55(12), 1155-63.
- Etteyeb, N; Dhouibi, L; Takenouti, H; Alonso, M.C; Triki, E. (2007). Corrosion inhibition of carbon steel in alkaline chloride media by Na₃PO₄. *Electrochimica Acta*, 52, 7506-7512.
- Feliú, S., & Andrade, C. (1989). *Manual Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (CSIC).
- Garcés, P., Saura, P., Méndez, A., Zornoza, E., & Andrade, C. (2008). Effect of nitrite in corrosion of reinforcing steel in neutral and acid solutions simulating the electrolytic environments of micropores of concrete in the propagation period. *Corrosion Science*, 50, 498–509.
- Garcés, P., Saura, P., Zornoza, E., & Andrade, C. (2011). Influence of pH on the nitrite corrosion inhibition of reinforcing steel in simulated concrete pore solution. *Corrosion Science*, 53, 3991-4000.
- Garcés, P; Andrade, M,C; Saez, A; Alonso, M,C. (2005). Corrosion of reinforcing steel in neutral and acid solutions simulating the electrolytic environments in the micropores of concrete in the propagation period. *Corrosion Science*, 47, 289–306.
- Hinds, G. (1996). *The Electrochemistry of Corrosion*.
- Hladky, K; Callow, L, M; Dawson, J, L. (1980). Corrosion Rates from Impedance Measurements: An Introduction. *British Corrosion Journal*, 15(1), 20-25.
- Hu, J; Koleva, D, A; Petrov, P; van Breugel, K. (2012). Polymeric vesicles for corrosion control in reinforced mortar: Electrochemical behavior steel surface analysis and bulk matrix properties. *Corrosion Science*, 65, 414-430.
- International Standards Organisation. (1989). *Corrosion of metals and alloys-basic terms and definitions*. ISO 8044.
- Jamil, H., Montemor, M., Boulif, R., Shhiri, A., & Ferreira, M. (2003). An electrochemical and analytical approach to the inhibition mechanism of an amino-alcohol-based corrosion inhibitor for reinforced concrete. *Electrochimica Acta*, 48, 3509-3518.
- Jones, D. A. (1996). Coatings and Inhibitors. En *Principles and prevention of corrosion 2nd Edition* (págs. 477-512).
- Jones, D. A. (1996). Polarization Methods to Measure Corrosion Rate. En *Principles and prevention of corrosion 2nd Edition* (págs. 143-167).
- Jones, D. A. (1996). The Technology and Evaluation of Corrosion. En *Principles and Prevention of Corrosion 2nd Edition* (págs. 1-20).
- Koch, G., Varney, J., Thompson, N., Moghissi, O., Gould, M., & Payer, J. (2016). *International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study*. Houston, Texas, USA: Gretchen Jacobson, NACE International.
- Koleva, D, A; van Breugel, K; de Wit, J, H, W; van Westing, E; Copuroglu, O; Veleva, L; Fraaij, A, L, A. (2008). Correlation of microstructure, electrical properties and electrochemical phenomena in reinforced mortar. Breakdown to multi-phase interface structures. Part I:

- Microstructural observations and electrical properties. *Materials Characterization*, 59, 290-300.
- Koleva, D, A; van Breugel, K; de Wit, J, H, W; van Westing, E; Copuroglu, O; Veleva, L; Fraaij, A, L, A. (2008). Correlation of microstructure, electrical properties and electrochemical phenomena in reinforced mortar. Breakdown to multi-phase interface structures. Part II: Pore network, electrical properties and electrochemical response. *Materials Characterization*, 59, 801-815.
- Koleva, D., de Wit, J., van Breugel, K., Lodhi, Z., & van Westing, E. (2007). Investigation of corrosion and cathodic protection in reinforced concrete. *J. Electrochemical Society*, 154, 52-61.
- Liu, Jiaping; Cai, Jingshun; Shi, Liang; Liu, Jianzhong; Zhou, Xiaocheng; Mu, Song; Hong, Jinxiang. (2018). The inhibition behavior of a water-soluble silane for reinforcing steel in 3.5%NaCl saturated Ca(OH)₂ solution. *Construction and Building Materials*, 189, 95-101.
- Macdonald, J. (1987). *Impedance Spectroscopy. Emphasizing solid materials and systems*. J.R. Macdonald, John Wiley & Sons.
- Mäder, U. (1994). A New Class of Corrosion Inhibitors. En *Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete* (Vol. 2, pág. 851). N. Swamy, Sheffield Academic Press.
- Nmai, C. K. (2004). Multi-functional organic corrosion inhibitor. *Cement & Concrete Composites*, 26, 199-207.
- Qian, S., & Cusson, D. (2004). Electrochemical evaluation of the performance of corrosion-inhibiting systems in concrete bridges. *Cement & Concrete Composites*, 26, 217–233.
- Sagüés, A., Powers, R., & Kessler, R. (2001). *Corrosion Performance of Epoxy-Coated Rebar in Florida Keys Bridges*. Houston: NACE International.
- Saricimen, H., Mohammad, M., Quddus, A., Shameem, M., & Barry, M. (2002). Effectiveness of concrete inhibitors in retarding rebar corrosion. *Cement & Concrete Composites*, 24, 89-100.
- Söylev, T., & Richardson, M. (2008). Corrosion inhibitors for steel in concrete: State-of-the-art report. *Construction and Building Materials*, 22, 609-622.
- Stern, M; Geary, A, L. (1957). Electrochemical Polarization. I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves. *Electrochemical Society*, 104, 56-63.
- Tritthart, J. (2003). Transport of a surface-applied corrosion inhibitor in cement. *Cement and Concrete Research*, 33, 829–834.
- Tuuti, K. (1982). Corrosion of steel in concrete. *Cement and Concrete Research Institute*.
- UNE 112072. (2011). *Determinación de la velocidad de corrosión de armaduras en laboratorio mediante medida de la resistencia a la polarización*. Madrid: AENOR.
- UNE EN 196-1. (2018). *Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias*. Madrid: AENOR.
- Welle, A; Liaos, J,D; Kaiser, K; Grunze, M; Mäder, U; Blank, N. (1997). Interactions of N-N'-dimethylaminoethanol with steel surfaces in alkaline and chlorine containing solutions. *Applied Surface Science*, 119, 185-190.
- Wombacher, F., Maeder, U., & B., M. (2004). Aminoalcohol based mixed corrosion inhibitors. *Cement & Concrete Composites*, 26, 209-216.
- Yangyang, Guo; Xu, Bin; Liu, Ying; Yang, Wenzhong; Yin, Xiaoshuang; Chen, Yin; Le, Jinxun; Chen, Zhihao. (2017). Corrosion inhibition properties of two imidazolium ionic liquids with hydrophilic tetrafluoroborate and hydrophobic hexafluorophosphate anions in acid medium. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*(56), 234-247.

Justificación teórica de la reparación de un edificio de concreto con valor histórico

J. A. Briceño-Mena¹, P. Castro-Borges^{1*}

*Autor de Contacto: pcastro@cinvestav.mx; pcb1963@gmail.com

¹ Departamento de Física Aplicada, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida. Km 6 Antigua Carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, México

RESUMEN

Se justificó teóricamente, y se llevó a cabo, la reparación de un edificio de concreto reforzado con valor histórico (casi 70 años), para rescatarlo ante un cambio de uso. La evaluación por durabilidad arrojó información para que el edificio pudiese ser rescatado en un 80%. Para lograrlo, se utilizaron estrategias que permitieron una mejor utilización de los recursos materiales, equipamiento y mano de obra en la reparación de muros, columnas, losas y trabes. Una de las estrategias fue usar el factor de seguridad teórico para calcular la profundidad de reparación sin consecuencias estructurales, pero cumpliendo la finalidad de controlar la carbonatación del concreto, y manteniendo la predicción deseada de vida de servicio. Como ejemplo se ilustra el caso de las columnas.

Palabras clave: Restauración; reparación; concreto reforzado; durabilidad; factor de seguridad

RESUMO

Teoricamente justificou e realizou a reparaco de um edifício de beto armado com valor histórico (quase 70 anos), para o resgatar de uma mudança de uso. A avaliao da durabilidade rendeu informaoes para que o prédio pudesse ser resgatado em 80%. Para tal, foram utilizadas estratégias que permitiram um melhor aproveitamento dos recursos materiais, equipamentos e mão-de-obra na reparaco de paredes, pilares, lajes e vigas. Uma das estratégias foi utilizar o fator de segurança teórico para calcular a profundidade de reparo sem consequências estruturais, mas cumprindo o propósito de controlar a carbonatao do concreto, e manter a previsão de vida útil desejada. Como exemplo, o caso das colunas  ilustrado.

Palavras-chave: Restaurao; reparar; concreto reforçado; durabilidade; fator de segurança

ABSTRACT

Theoretically justified, and carried out, the repair of a reinforced concrete building with historical value (almost 70 years), to rescue it from a change of use. The durability evaluation yielded information so that the building could be rescued by 80%. To achieve this, strategies were used

that allowed a better use of material resources, equipment, and labor in the repair of walls, columns, slabs, and beams. One of the strategies was to use the theoretical safety factor to calculate the repair depth without structural consequences but fulfilling the purpose of controlling the carbonation of the concrete and maintaining the desired prediction of service life. As an example, the case of columns is illustrated.

Keywords: Restoration; repair; reinforced concrete; durability; security factor

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas comunes en las reparaciones del concreto estriba en el uso erróneo de las especificaciones estructurales para conocer la profundidad a la que deben realizarse, cuando se enfrentan problemas por cloruros o carbonatación. Ello trae como consecuencia un uso poco optimizado de la mano de obra, equipamiento y materiales que conlleva, no sólo a reparaciones equivocadas y el retorno del problema, sino también una falta de sustentabilidad en todo el proceso. En el presente trabajo se ilustra, para el caso de las columnas, como fue utilizado el factor de seguridad (FS) para la reparación y rehabilitación de un edificio de concreto reforzado en estado de abandono, ubicado en el centro histórico de Campeche (Figura 1). Este edificio con un espacio interno de más de 600 m² y una altura aproximada de 20 m, y una estructura a base de marcos, suponía una demolición y posterior construcción de uno nuevo de 4 niveles. Sin embargo, este plan fue reconsiderado debido a que el edificio en cuestión tenía una edad aproximada de 70 años y se encontraba en el centro histórico de la ciudad de Campeche, Campeche, México, declarado patrimonio de la humanidad en el año 1999 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Dicho lugar se encuentra protegido por autoridades federales como el Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura (INBAL) y el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Por lo tanto, más que un proceso de demolición se tenía que considerar una estrategia de reparación y rehabilitación que cumpliera con las condiciones establecidas por las autoridades federales, donde se preservara lo más posible de la estructura (80%). Por tal motivo, se realizó un estudio extenso sobre la durabilidad del inmueble. Como consecuencia, se definieron las partes que se mantendrían en pie previo a una intervención que implicaría reparación, rehabilitación y/o refuerzo de los distintos elementos estructurales, evitando los procesos de demolición iniciales y acoplándose a las condiciones requeridas. Se planteó adosar una estructura nueva de manera interna al edificio ya reparado y rehabilitado, manteniendo así su arquitectura exterior y rescatando zonas interiores.

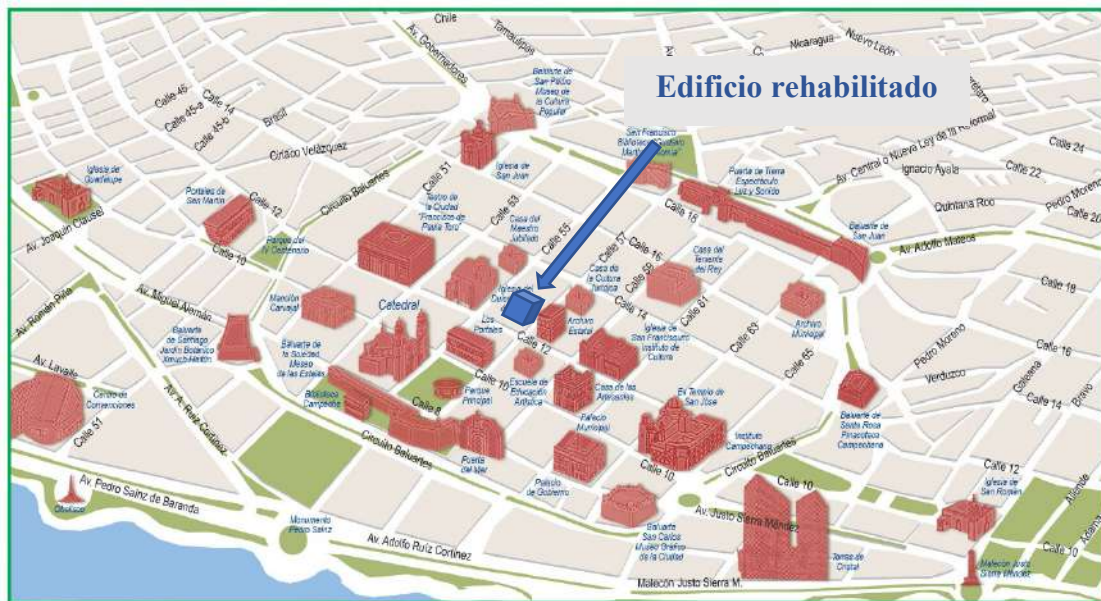


Figura. 1. Ubicación de la estructura dentro de la zona protegida de Campeche¹

La estructura en cuestión tuvo como función primaria la de ser un cine, posteriormente funcionó como un estacionamiento y finalmente fue abandonada. Estos cambios de uso y el abandono fueron factores que potencializaron los daños, como se observa parcialmente en las fotos de la Figura 2.



Figura. 2. Estado en que se encontraba la estructura antes de ser intervenida

¹ <https://programadestinosmexico.com/descubre-mexico/mapas/mapas-de-ciudad-de-campeche.html>

2. INSPECCIÓN DE DAÑOS

Antes de realizar cualquier intervención en la estructura, fue necesario realizar una inspección de los daños, basada en la normativa mexicana [1], [2], para poder establecer las estrategias de reparación. Dichas inspecciones ya han sido publicadas [3] y pueden consultarse en la literatura para más detalle. Estas inspecciones tuvieron 3 ejes principales:

- Visual, para poder identificar las zonas con daños que requirieran una intervención mayor y posibles causantes de problemas patológicos como son zonas de humedad, así como desprendimientos, agrietamientos, etc.
- Mecánica, para conocer el estado del concreto como es su resistencia mecánica y poder establecer la resistencia del nuevo concreto a usar.
- Electroquímica, para conocer el estado del acero, que tan dañado podría estar por los problemas patológicos.

3. ESTRATEGIAS DE REPARACIÓN

Después de la inspección realizada, se pudo constatar que los elementos estructurales y arquitectónicos podrían ser intervenidos para su consolidación con la nueva estructura a construirse al interior del edificio como parte de su cambio de uso. Todas las estrategias de reparación fueron establecidas para poder brindar a la estructura una nueva vida de servicio y una durabilidad contra los problemas patológicos actuales y futuros a los que pueda verse sometida, tal como lo establece la normativa mexicana [4]. A su vez, estas estrategias se basaron en experiencias previas y en la literatura como es el manual Rehabilitar [5]. El fin de estas reparaciones/rehabilitaciones fue el de retirar el concreto dañado o que presentara algún problema patológico como carbonatación, así como asegurar la estabilidad estructural con el recálculo y reestructuración de la cantidad de acero necesaria en los elementos, además de asegurar el recubrimiento adecuado según los requerimientos estructurales. La Figura 3 muestra procesos de deterioro de la estructura. Para delimitar las estrategias de reparación era necesario establecer los tipos de reparación a utilizar:



Figura. 3. Carbonatación y desprendimiento del concreto

3.1 Reparación superficial localizada

Esta reparación se refiere a aquellos elementos que presentaran daños en el concreto con poca profundidad y extensión en relación con las dimensiones del elemento estructural. Por lo anterior se estableció una reparación en zonas puntuales donde se aprecien agrietamientos a una profundidad no mayor de los 3 cm o antes de llegar al acero de refuerzo.

3.2 Reparación superficial uniforme

Esta estrategia de reparación es parecida a la reparación superficial localizada ya que se realizará a una profundidad no mayor de los 2 cm, o antes de llegar al acero de refuerzo, pero contemplando la reparación en una extensión relativamente grande de acuerdo con las dimensiones del elemento estructural, delimitando para los trabajos una extensión máxima sobre el elemento de 1.5 m.

3.3 Reparación profunda localizada

Esta reparación se llevará a cabo en los elementos estructurales donde se hayan identificado daños con extensión grande en relación con las dimensiones del elemento estructural, siendo su profundidad mayor que 3 cm, afectando el concreto detrás de las armaduras.

3.4 Reparación profunda uniforme

Al igual que en el apartado de reparación profunda localizada, la reparación se realiza a una profundidad más allá del acero. Sin embargo, al ser uniforme, se estableció la realización de la reparación por secciones máximas de 1.5 m, debido a cuestiones estructurales.

4. Planteamiento y uso del Factor de Seguridad en las reparaciones

Las técnicas de reparación planteadas se realizaron con el fin de aplicar en los procesos constructivos herramientas que permitan evitar procesos innecesarios como la demolición, que traerían consigo la generación de escombros y basura y más aún en zonas importantes como lo es un patrimonio de la humanidad.

Como punto de partida inicial para realizar la reparación, fue importante analizar cada elemento individualmente, su comportamiento, su carga portante máxima, su estado, y posteriormente proyectarlo a un nivel general relacionándolo con todos los elementos estructurales, obteniendo así un comportamiento global. De esta forma, fue posible realizar la intervención considerando todos los factores de afectación posibles y minimizando daños colaterales del proceso de reparación. Esto a su vez conlleva a realizar una capacitación del personal a elaborar las reparaciones ya que, en la actualidad, tanto los obreros como los ingenieros, desconocen de estos temas lo que provoca un uso incorrecto de herramientas, materiales y equipo.

Si bien, una estrategia de reparación puede ser realizada por gente capacitada, siempre es importante tener en cuenta los factores de seguridad y riesgo a la hora de trabajar. En la literatura podemos encontrar información acerca de la Teoría de Seguridad [6] que, en general, consiste en relacionar el nivel de seguridad (H) (1), definido como $H = 1 - pf$, donde pf es la probabilidad de falla. Este nivel de seguridad depende de todas las variables que intervienen en el diseño de la estructura y de cómo pueden variar los mismos. La ecuación general que rige la teoría de seguridad es:

$$H \geq H^n \quad (1)$$

Donde: H^n es el nivel de seguridad del diseño
H es el nivel de seguridad de obra.

En Ingeniería Civil, se puede entender como seguridad el evitar que la estructura sobrepase el estado límite permisible el cual es donde se considera que el comportamiento estructural es aceptable[7]. El factor de seguridad (FS) es aquel que relaciona la carga o sollicitación (C) a

aplicarse en la estructura con la capacidad máxima (R) que esta puede soportar, es decir, su resistencia máxima.

$$FS = \frac{C}{R} \quad (2)$$

Poniendo un ejemplo práctico fuera de la realidad, se puede entender el factor de seguridad de la siguiente manera: Supongamos que se tiene una columna, la cual fue diseñada para aguantar 6 toneladas de carga y en ella descansaran 2 vigas, y cada una de estas transferirá una carga de 2 toneladas a la columna. Por lo tanto, podemos apreciar que nuestro FS es de 1.5 ($FS = 6/4 = 1.5$). Aunque en este ejemplo se trató como un tema simple, en la realidad es algo mucho más complejo. Se deben considerar diversos criterios como son las cargas vivas (las personas que utilizarán el edificio), las cargas muertas (mobiliario, por ejemplo), las cargas accidentales, así como factores ambientales.

Dicha teoría, fue llevada a la práctica en el proceso de reparación de la estructura descrita en este trabajo. Para ello se requirió el apoyo de manuales, normativa, literatura y experiencia propia para establecer con el mejor criterio la estrategia idónea por elemento. Como se comentó anteriormente, gracias a la inspección previa se pudo establecer el grado de daño y con ello la estrategia de reparación. Si bien se establecieron 4 posibles, en este trabajo solo discutiremos lo relacionado a la reparación profunda uniforme (véase Figura 4)

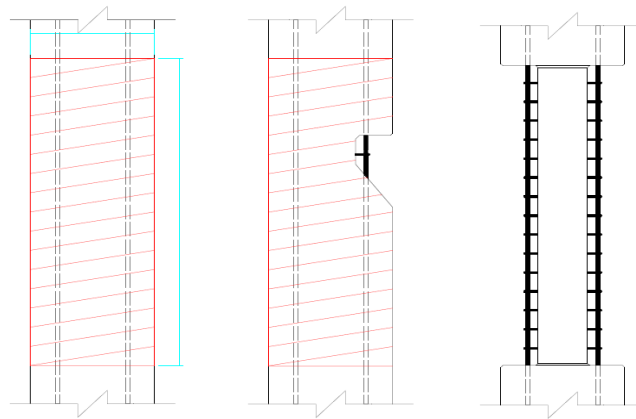


Figura. 4. Reparación profunda uniforme

Para poder llevar a cabo las reparaciones, fue necesario establecer el criterio con el cual se realizarían. En el caso de esta estructura tuvimos elementos de distintas geometrías y dimensiones por lo que se establecieron criterios de reparación universales pero que tenían que ser verificados antes de su ejecución. Una Reparación Profunda Uniforme, como se describió anteriormente, puede ser de una gran extensión en relación con el tamaño del elemento. Sin embargo, en este caso y para no recurrir a materiales, mano de obra y tiempo como es en el caso de la instalación de puntales de estabilización, se determinó que lo mejor era realizar las reparaciones en secciones de 1.5 m para no comprometer la estabilidad estructural. A continuación, se presenta el ejemplo de una columna tipo rectangular. La columna tipo (véase Figura 5), presentaba una sección transversal de 30x35 cm y con ayuda de las pruebas mecánicas realizadas se pudo obtener la resistencia promedio del concreto la cual se encuentra superior a los 200 kg/cm². Lo anterior nos permite entender que la columna es capaz de soportar una carga axial de 21,000 kg. Ahora bien, si escarificamos el concreto en mal estado, y reparamos más allá del refuerzo, recordando que la reparación profunda uniforme

es la que se da más allá de los 3 cm o detrás del refuerzo, la nueva geometría del elemento es de 25x30 cm y con una resistencia por encima de los 200 kg/cm², podemos determinar que la estructura, aún sin una sección de concreto, es capaz de soportar 15,000 kg. Si al diseño del elemento original le quitáramos un factor de seguridad de 1.5 obtendremos una resistencia de 14,000 kg por lo que el elemento escarificado aún presenta un margen de trabajo tolerable y seguro.

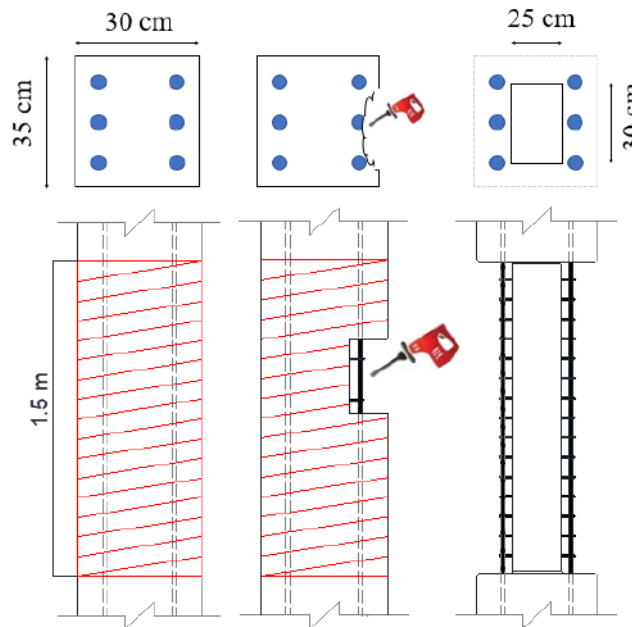


Figura. 5. Criterio de delimitación y escarificación de reparaciones

Para el proceso de reparación, se realizó una guía la cual pudiera ser seguida con facilidad por los obreros y que a su vez fuera repetible en varios elementos, en la Figura 6 puede observarse este proceso.

Escarificación mecánica para eliminar el concreto en mal estado y descubrir el acero de refuerzo



Medición del diámetro del acero de refuerzo, si la pérdida de diámetro era mayor a la permisible, el acero era completado o sustituido. En algunos casos, se colocó acero de refuerzo transversal completo por el desgaste excesivo



Se perforaron agujeros para la colocación del nuevo acero que sustituyera al corroído. Para su correcto anclaje, se inyectó una resina epóxica de alto rendimiento para altas cargas



Antes de realizar el desplante, la base de todos los elementos fue recubierta con un impermeabilizante asfáltico alrededor del suelo para evitar alguna penetración de humedad o agentes corrosivos.



Por la experiencia previa de la inspección, se recomendó aplicar al acero un convertidor e inhibidor de óxido



Previo al colado, se aplicó un puente de adherencia para asegurar la homogenización del concreto nuevo con el viejo, éste también tiene la función de sellador.



Posterior al colado y después del descimbrado, se aplicó una membrana de curado al concreto para asegurar la durabilidad.



Figura. 6. Proceso de reparación profunda uniforme

5. CONCLUSIÓN

El presente trabajo tuvo como fin el presentar la rehabilitación de una estructura de concreto reforzado (véase Figura 7) de 70 años, la cual se encontraba en estado de abandono y se había proyectado la demolición total del mismo. Por mandamiento de las autoridades, se realizó un estudio de durabilidad que arrojó como resultado cambiar el proyecto de demolición a uno de restauración. Para realizar esta restauración, fue necesario consultar distintas fuentes didácticas como experiencias previas que arrojaron el realizar un manual práctico para los obreros. Este manual se basó en criterios de durabilidad, así como en especificaciones de diseño que permitan trabajar con seguridad. El uso de la teoría para la realización del diseño de una estructura es importante a lo largo de toda la vida de servicio de esta. Como describimos en este trabajo, el factor de seguridad tuvo un papel importante en la determinación del mecanismo de reparación que trajo consigo un importante ahorro en recursos y tiempo. Con estos procedimientos de reparación se proyecta tener una estructura durable que sea capaz de cumplir con la vida de servicio establecida con un mantenimiento preventivo

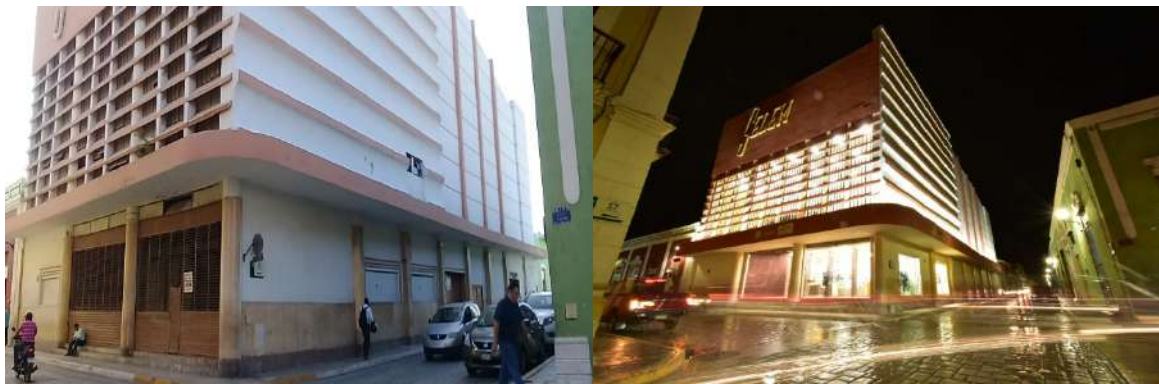


Figura. 7. Antes y después de la intervención

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de Coppel SA de CV, la UACAM, Cinvestav, INAH e INBA. J.A. Briceño-Mena agradece la beca de doctorado de Conacyt.

REFERENCIAS

- [1] NMX-C-505-ONNCCE, “Industria de la Construcción – Inspección Preliminar de Daños en Estructuras de Concreto Hidráulico con Criterios de Durabilidad - Procedimientos,” 2016.
- [2] NMX-C-520-ONNCCE, “Industria de la Construcción-Inspección Detallada de Daños en Estructuras de Concreto Hidráulico con Criterios de Durabilidad-Procedimientos,” 2015.
- [3] J. A. Briceño-Mena, M. G. Balancán-Zapata, P. Castro-Borges, and T. Pérez-lópez, “Extending the Service Life of a Historical Concrete Building,” *Mater. Perform.*, pp. 1–8, 2021.
- [4] NMX-C-530-ONNCCE, “Industria de la construcción – Durabilidad – Norma general de durabilidad de estructuras de concreto reforzado – Criterios y Especificaciones,” 2017.
- [5] P. Helene and F. Pereira, *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón - reparación, refuerzo y protección*. Red Rehabilitar.
- [6] A. Virginia *et al.*, “Aplicación de la teoría de seguridad al diseño de cimentaciones en arenas . Chequeo de linealidad Application of the safety theory to the design of foundations in sands . Checkup of the linear limit,” vol. 22, pp. 81–88, 2007.
- [7] R. R. C. and P. H. O., *Diseño Estructural*, vol. 7. 2020.

Comportamiento a fatiga de morteros que incluyen residuos industriales derivados del poliuretano

V. Calderón*, A. Alonso, R. Arroyo, L. Alameda, S. González-Moreno, S. Gutiérrez-González

*Autora de Contacto: vcalderon@ubu.es

¹ Departamento de Construcciones Arquitectónicas e I.C.T, Escuela Politécnica Superior,
Universidad de Burgos (España)

RESUMEN

El objetivo del trabajo consiste en analizar el comportamiento a la fatiga de los morteros de cemento que incluyen residuos industriales derivados del poliuretano.

La metodología se basa en la fabricación de eco morteros aligerados mediante la sustitución de residuo en proporciones volumétricas del 50%, 60% y 75%, aplicando ciclos de carga y descarga a compresión una vez calculado el módulo de elasticidad estático inicial en cada una de las dosificaciones. Aunque existen estudios previos con ensayos de la misma naturaleza, son escasos o inexistentes los que se aplican a este tipo de materiales eco sostenibles ligeros.

El buen comportamiento a fatiga se corrobora a través del análisis de la microestructura mediante tomografía axial computarizada, no observando fracturas significativas comparando secciones antes y después de los ciclos de carga, lo que indica que no se produce el colapso de las estructuras.

Palabras clave: Mortero de poliuretano; módulo de elasticidad; durabilidad; comportamiento frente a fatiga.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible y el respeto por el medio ambiente son valores sociales que hay que fomentar mediante la puesta en práctica de estrategias que valoricen los residuos generados en los procesos industriales y los transformen en recursos. Es lo que se conoce como “economía circular” y es la apuesta de la sociedad por encontrar solución a los problemas medioambientales que genera nuestro modelo de desarrollo.

La utilización de residuos industriales en la fabricación de materiales de construcción es el fundamento de múltiples investigaciones que buscan poner en valor los residuos, transformándolos en materia prima sustitutiva de los recursos naturales, evitando así los costes de gestión para su procesado o los costes medioambientales para su depósito en vertedero.

El uso de residuos poliméricos en la fabricación de morteros y hormigones supone un importante beneficio medioambiental. El uso de este tipo de morteros tiene las ventajas añadidas de reducir las cargas sobre las estructuras, abaratar el coste del transporte y mejorar las propiedades de aislamiento térmico.

No obstante, en la normativa europea, dentro de los ensayos obligados de durabilidad, no se incluye el comportamiento de morteros cuando trabajan bajo cargas variables, al no ser materiales puramente estructurales. Sin embargo, cuando forman parte de muros de carga o de tabiques de edificios, tienen que soportar la acción combinada de esfuerzos de flexión y compresión, producidos por variaciones térmicas, tensiones de humedad-sequedad, porque se ven afectados por la interacción de los elementos de los que forman parte o por la propia rigidez de estos elementos que impiden su movimiento, dando lugar a microfisuras en la matriz del mortero que derivan en la rotura por efecto de la fatiga, y que, a medio plazo, pueden producir el colapso de la unidad constructiva. Tal es el caso de los morteros de albañilería colocados en obra en revestimientos horizontales y verticales y en juntas en fábricas de ladrillo, piedra, o bloque de hormigón.

Existen muy pocos estudios relativos al comportamiento inelástico de los materiales poliméricos, y prácticamente ningún trabajo de investigación en lo referente a los efectos de la fatiga en morteros de cemento con polímeros. Ello ha llevado a realizar esta investigación que pretende mostrar que el comportamiento frente a la fatiga de los morteros de cemento aligerados con residuos industriales de poliuretano, es similar al de los morteros de referencia usados comúnmente en trabajos de albañilería. Este estudio pretende conocer el comportamiento a fatiga y las deformaciones de los morteros aligerados con PUR, en comparación con los morteros comunes de albañilería, para confirmar la aptitud de estos morteros ligeros.

2. PROCEDIMIENTO

La metodología empleada para la realización de los ensayos de fatiga en morteros, difiere sensiblemente de unos autores a otros, tanto para los intervalos de carga empleada, como para la frecuencia de los ciclos y su número. Así, una carga máxima por ciclo del 70%-80% de la carga de rotura supone una carga muy elevada para ciertos autores (A. Carpinteri et.al, K. Sobhan et.al.), que se puede compensar con un número pequeño de ciclos.

Tratándose de hormigón, distintos autores emplean diversas metodologías, estudiando el comportamiento del material desde los 20 ciclos hasta los 2.000.000 de ciclos, con ratios de carga

que oscilan desde 0,5 a 0,9 sobre la carga unitaria de rotura y frecuencias de 2 a 10 Hz (J. Zhou et al., K. Dyduch et al.)

2.1 Materias primas

2.1.1 Cemento.

Se han utilizado dos tipos de cemento comercial normalizado, CEM II, con una resistencia media 32,5 MPa a los 28 días, de acuerdo con lo especificado en la norma EN 197-1.

2.1.2. Arena

El árido empleado en las mezclas es una arena silíceas de origen sedimentario extraída directamente de la cantera, secada previamente y sin ningún otro tratamiento posterior a su recepción en el laboratorio. La caracterización de la arena se ha realizado de acuerdo con las especificaciones de la norma europea EN 13139 con un tamaño máximo del árido de 4mm.

2.1.3. Residuo industrial derivado de PU

Los residuos de poliuretano, que vienen en forma de trozos de panel o sin forma, se trituran previamente para obtener partículas de tamaño máximo similar al del árido, hasta tamaño de partícula de 4 mm. El residuo procede de la industria de componentes del automóvil con una densidad aparente de 59 kg/m³ y densidad real de 1209 kg/m³ después de triturado.

2.2. Diseño de las mezclas

Para el proceso experimental se han fabricado morteros de referencia de cemento, arena y agua, con relación cemento/arena en peso 1/4.

También se han elaborado los morteros en los que se ha sustituido un porcentaje del 50%, 60% o 75% del volumen de arena, por residuo, con la dosificación detallada en la Tabla 1.

Designación	Cantidad de cemento kg/m ³	Sustitución volumen de arena por residuo	Tensión mín-máx s/rotura	Nº ciclos/Frecuencia
MR	356	--	20%-60%	300.000 / 2 Hz
MPU50	467	50	20%-60%	300.000 / 2 Hz
MPU60	488	60	20%-60%	300.000 / 2 Hz
MPU75	343	75	20%-60%	300.000 / 2 Hz

La cantidad de agua de los morteros se ha fijado en todos los casos para conseguir una consistencia adecuada para su correcta puesta en obra, (consistencia plástica), ensayada de acuerdo con la norma EN 1015-3.

Se han fabricado las mezclas en amasadora mecánica de acuerdo con el procedimiento operatorio descrito en la norma EN 196-1 y se han moldeado 4 series de tres probetas cada una para cada tipo de mezcla, de dimensiones 160 mm x 40 mm x 40 mm, que es el tamaño de probeta para realizar los ensayos de flexión y compresión, de acuerdo con la norma EN 1015-11. Posteriormente se han desmoldado y se han curado en la cámara húmeda durante 28 días.

2.3. Procedimiento experimental

Para calcular las resistencias mecánicas de los morteros se han seleccionado 2 probetas de cada serie, tanto de los morteros con espumas como de los morteros de referencia. En primer lugar, se ha determinado la resistencia a flexión y compresión a los 7 y 28 días, obteniendo unos resultados medios de tensión en rotura, a 28 días, que servirán como referencia para la posterior aplicación de las cargas empleadas en los ensayos de fatiga.

Ha sido necesario determinar el Módulo de Elasticidad Estática bajo Compresión, a través de ensayos directos, porque en general las formulaciones matemáticas para calcular el módulo de elasticidad no suelen tener en cuenta la composición de los agregados (F. Duplan et al.). Para el cálculo del Módulo de Elasticidad Estático se han moldeado probetas de dimensiones 120 mm x 50 mm x 50 mm, que es el tamaño de probeta para realizar los ensayos de módulo de elasticidad estático, de acuerdo con la norma EN 14580.

A cada una de las probetas de cada tipo de mortero, se les han colocado galgas extensiométricas de 60 mm de longitud en dos de sus caras opuestas y se les ha sometido a ciclos de carga y descarga. Los ensayos de fatiga se han concretado en dos fases. La primera fase ha consistido en la aplicación de 300.000 ciclos de carga y descarga a compresión sobre una superficie de 40 mm x 40 mm con una variación de la tensión entre el 20% y el 60% de la tensión de rotura, para cada tipo de mortero, y una frecuencia de 2 Hz. Esta frecuencia es suficiente para medir la resistencia a la fatiga sin necesidad de realizar un elevado número de ciclos. (N. Oneschkow) Además, la frecuencia de 2 Hz es muy superior a las frecuencias que pueden dar lugar a ciclos de vida muy cortos por acumulación de deformaciones plásticas del polímero.

Se han registrado los datos de deformación de las probetas durante 10 segundos (20 ciclos), cada hora, con 5 mediciones de la deformación de la probeta en cada ciclo, con una carga total de 50 kN.

2.4. Tomografía axial computarizada

Se ha realizado una tomografía axial computarizada para visualizar, de manera no invasiva, la microestructura de los morteros antes y después de ser sometidos al ensayo de fatiga.

3. RESULTADOS

Los resultados de la tensión de rotura a flexión y compresión de estos morteros ligeros indican una disminución de resistencias de los morteros con agregados de residuos de poliuretano en función de la cantidad de residuo dosificado en cada una de las mezclas ensayadas. El módulo de elasticidad estática a compresión se ha obtenido calculando los valores de las tensiones y deformaciones en los intervalos que señala la norma UNE-EN 1352. Los resultados de los módulos de elasticidad y las resistencias a compresión antes y después de realizados los ensayos se indican en la Tabla 2.

Tabla 2.

Designación	Módulo de elasticidad [N/mm ²]	Tensión rotura compresión antes del ensayo	Tensión rotura compresión después del ensayo
		[MPa]	[MPa]
MR	15.758	11.62	11.49
MPU50	8.926	10.05	10.31
MPU60	3.684	4.58	3.50
MPU75	1.642	1.81	2.44

Los resultados obtenidos muestran la lógica relación entre la resistencia de rotura a compresión y los módulos de elasticidad, siendo los módulos menores en función de la menor resistencia a compresión de los distintos tipos de mortero, y que coincide básicamente con el contenido de residuo aligerante, pudiéndose llegar a establecer una relación no lineal entre las distintas cantidades de contenido de residuo y el módulo de elasticidad.

En todos los casos, además de la lógica disminución de las densidades aparentes, en función del contenido de residuo de poliuretano, se puede observar una pérdida de resistencias, poco significativa en los morteros con sustitución del 50% de arena por residuo, pero más importante en los morteros con sustitución del 60% y 75%. Sin embargo, en estos últimos morteros, que se pueden considerar como morteros ligeros (densidad inferior a 1300 kg/m³), las resistencias a compresión obtenidas a los 28 días permiten su utilización como morteros para revestimientos continuos (revoco y enlucido) y para morteros de albañilería (sentado de fábricas).

Los resultados de deformación máxima, deformación residual y la amplitud de deformación a 300.00 ciclos se detallan los módulos de elasticidad y las resistencias a compresión antes y después de realizados los ensayos se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Deformaciones de los morteros

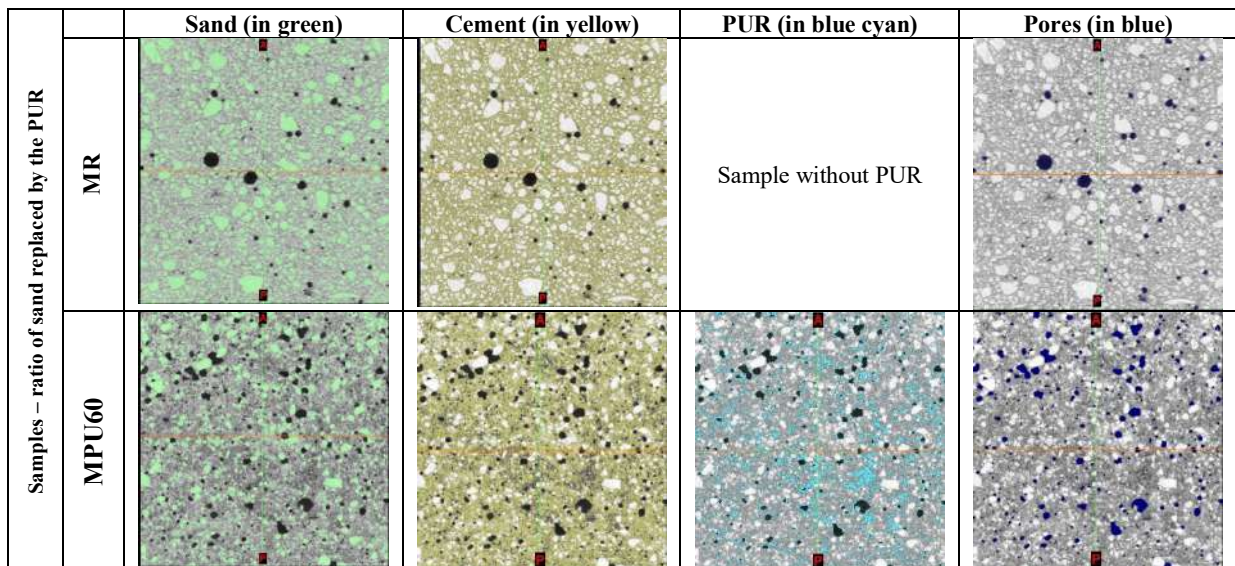
Designación	Deformación máxima (mm/m)		Deformación residual 60 minutos sin carga. (mm/m)	Amplitud deformación 300.000 ciclos. (mm/m)
	120 ciclos	300.000 ciclos		
MR	0,8532	1,0530	0,5067	0,1911
MPU50	1,1924	1,5138	0,5245	0,3150
MPU60	1,6550	2,5329	0,8783	0,6387
MPU75	1,8231	2,0085	1,1745	0,1448

Table 4. Deformaciones de los morteros en el ensayo de fatiga.

Designación	Deformación máxima (mm/m)		Deformación residual 60 minutos sin carga. (mm/m)	Amplitud deformación 300.000 ciclos. (mm/m)
	120 ciclos	300.000 ciclos		
MR	0,8532	1,0530	0,5067	0,1911
MPU50	1,1924	1,5138	0,5245	0,3150
MPU60	1,6550	2,5329	0,8783	0,6387
MPU75	1,8231	2,0085	1,1745	0,1448

Una vez concluidos los 300.000 ciclos con carga del 20% al 60% de la carga de rotura, los resultados de resistencia a rotura de los morteros prácticamente coinciden con los obtenidos antes de ser sometidos al ensayo. En todo caso se observa un ligero aumento de la resistencia obtenida, con respecto a la registrada a la edad de 28 días.

Finalmente, la Figura 1 muestra la reconstrucción de las imágenes en 3D de la macroporosidad (tamaños de poros > 170 µm) según la relación de arena reemplazada por las partículas de polímero. Las imágenes muestran una gran heterogeneidad, tanto en la distribución como en el tamaño de los poros que puede dar lugar a fracturas más importantes en las primeras etapas de tensión, con deformaciones plásticas. Se ha realizado la comparación entre las imágenes de los morteros tomografiados, antes y después de ser sometidos al ensayo de fatiga. En ambos casos se puede apreciar un importante estado de fisuración en las probetas sometidas al ensayo de fatiga, estado que se hace más evidente en los morteros de referencia.



4. CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos de resistencia frente a la fatiga de los morteros de cemento, con sustitución parcial de arena por residuo triturado de espuma rígida de poliuretano, muestran que el comportamiento elástico, en ciclos repetitivos de carga y descarga a compresión, es similar al de los morteros de referencia cuando la carga aplicada no supera el 60% de la carga de rotura a compresión. La amplitud de la deformación, así como las deformaciones máximas y residuales, son mayores en función del mayor contenido de residuo. Esta mayor deformación admisible hace que, en caso de deformación obligada, por deformación del soporte del que forman parte, las mezclas con residuo de poliuretano se adapten mejor a deformaciones impuestas, pues admiten un mayor rango de deformación.

La tensión de rotura a compresión después de 300.000 ciclos, con carga variable del 20% al 60% de la de rotura, es similar a la obtenida antes de la realización del ensayo, tanto en los morteros de referencia como en los morteros ligeros. El mortero con contenido del 75% de espuma presenta un comportamiento muy diferente al resto de morteros, con deformaciones excesivas en los primeros ciclos y deformaciones residuales importantes.

La tomografía axial computarizada (TAC) no muestra fracturas significativas en las secciones antes y después del ensayo de fatiga, lo que indica que no se ha producido el colapso de las muestras.

5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha llevado a cabo gracias al apoyo económico del proyecto BU070P20 financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Junta de Castilla y León (España).

6. REFERENCIAS

- [1] A. Carpinteri, M. Corrado, G. Lacidogna, 2012. Three different approaches for damage domain characterization in disordered materials: fractal energy density, value statistics, renormalization group theory, *Mech. Mater.* 53, 15–28.
- [2] K. Sobhan, L. González, D.V. Reddy, 2016. Durability of a pavement foundation made from recycled aggregate concrete subjected to cyclic wet-dry exposure and fatigue loading, *Mater. Struct.* 49, 2271–2284.
- [3] J. Zhou, M. Zeng, Q. Wang, J. Yang, T. Lin, 2016. Flexural fatigue behavior of polymer modified previous concrete with single sized aggregates, *Constr. Build. Mater.* 124, 897–905.
- [4] K. Dyduch, M. Szerszen, 1994. Experimental investigation of the fatigue strength of plain concrete under high compressive loading, *Mater. Struct.* 27, 505–509.
- [5] F. Duplan, A. Abou-Chakra, A. Turatsinze, G. Escadeillas, S. Brule, F. Masse, 2014. Prediction of modulus of elasticity based on micromechanics theory and application to low-strength mortars, *Constr. Build. Mater.* 50, 437–447.
- [6] N. Oneschkow, 2016. Fatigue behavior of high-strength concrete with respect to strain and stiffness, *Int. J. Fatigue* 87, 38–49.

Índice de autores

A	A LOEFF	197
A A P SILVA	A LOPES	2100
A A PALMA E SILVA	A LOPEZ	2369
A ALONSO	A LORENZI	44, 227, 331
A ALZOGARAY	A M A DA SILVA	1391
A BARBOZA	A M DE SOUSA JUNIOR	70
A BONILLA	A M OLIVEIRA	1077, 2124
A C C LOPES	A MAGALHAES	1830
A C COSTA	A MARCILLO	1786
A C G LESSA	A MAZZU	521
A C P DOS SANTOS	A MELLADO	1786
A CASTANEDA	A MORAGUES	2212, 2420
A COSTA	A NASCIMENTO FILHO	952, 1506
A CRUZ PASSUELLO	A P MARAN	1284, 2304
A CUETO	A P PEREZ-FORTES	496
A DANTAS	A PICAZO	454, 2199
A E B CABRAL	A QUEIROZ	1405
A ENFEDAQUE	A R A OMORE	1196, 1230, 1245, 1731, 1772, 1815, 1859, 1927, 2293, 2358
A F R CRUZ	A R M COLARES	1379, 1520
A FRARE	A R O DIAS	2073
A G QUINTINO	A R S OLIVEIRA	542, 585
A H OROZA	A ROMEO SAEZ	732
A I RUIZ	A S DE SOUZA	759
A J BENTO	A S DE VARGAS	1145
A J PALACIO	A S TORRES	692, 1219
A L RAMOS	A SANTOS	1887
A L S PINTO		

A SILVA	1181	C R EBERLE	771, 782
A URREGO	2	C R MEDEIROS K R BATISTA	979
ANA PAULA MARAN	1534	C RAMPANELLI	182
ANDERSON HENRIQUE BARBOSA	1572, 2052	C RIOS-FRESNEDA	133
B		C S DE FARIA	316
B B MARIANI	1546	C S P RODRIGUES	1032
B C SILVA	1705	C S T CARMO	1022
B D A DA SILVEIRA	70	C S VIEIRA	886, 899
B DE F MARTINS	771	C SANTOS	356
B GHIASSI	2342	C SILVA	1312
B LIBERAL	2384	C SIMONETTI	107, 287
B M G M P MOYA	1626	C T CRUZ	1599
B P DALA COSTA	759, 771, 782	C V S A DE VASCONCELOS	2037
B ROSA	1269	C VALDES	30
B S VALE	1973	C VIDRIH FERREIRA	1391
B TUTIKIAN	1312	C ZEGA	804
B VALE	2100	CAMILA SIMONETTI	119
C		CARLOS HENRIQUE AZEREDO	1207
C A M H DA LUZ	1874	CLEDINEI AMANAJAS	1470
C A MONTEIRO PENHA JUNIOR	846	CRISTIAN DAUINHEIMER MIRANDA	1534
C ARGIZ	2212	CRISTIANE CARINE DOS SANTOS	239, 1534
C C ALBERT	1005	D	
C CASTRO	2100	D A HANAUER	1284
C CHINOME	133	D A SILVA	1626
C CRUZ	1405	D B SILVA	263
C DE VARGAS	1118, 1145	D BENJAMIN	859
C E L MELO	967	D BRISOTTO	2327
C FIORITI	859	D BRU	1844
C G CABALLERO	398	D BUSS	794
C J R V ARAUJO	1916	D C GOMES	2014
C L BALBINOT	1297	D C M ARNOLD	1718
C L PEREIRA	316	D C M NEVES	1584
C LOPES	1352	D CRUZ-MORENO	1639
C M AGUILAR	302	D E ANGULO	466
C M PALIGA	692	D F A DOS SANTOS	1416
C M QUINTAO	1032	D F RIBEIRO	1772
C M S CASTRO	1973	D FREITAS	1130
C MORAN-VELASQUEZ	371	D GARCIA	1325, 1352
C PATRICIA TORRES CRUZ	1427	D HERNANDEZ	2369
C PICO-CORTES	804	D L N F AMORIM	886, 899
C R ALVES	263	D L SILVA	1639
		D M SANTOS	886, 899

D MARIN-GARCIA	1691	F FERNANDES	1130
D MUNIZ	1181	F FERREIRA	521
D NASCIMENTO	2000	F G S SILVA	1230, 1245, 1742, 2293
D OLIVEIRA	1559	F G S SILVA	1230, 1245, 1742, 2293
D S PINTO	622	F GOSSLER	1088
D SCHOVANZ	1803	F GRANDA-RAMIREZ	2
D TARGINO	481	F J OLGUIN COCA	2225, 2399
D V C TELES	886, 899	F K CARDOSO	1032
D VAL	1612	F LEITE	1181
DANIEL V RIBEIRO	2159	F LEONEL	1170
DINILZA MELO COHEN RIBEIRO	653	F M DAVID	1416
E		F M PADILHA	818
E ALVES	1170	F M PEREIRA	1874
E BAUER	1667, 2265	F MARANHAO	2384
E C B MONTEIRO	1047, 1584	F P DE SOUZA	570
E D REIS	1705	F PACHECO	107, 197, 287, 531, 555, 570
E F FELIX	1901	F PASQUALOTTI	1219
E GARCIA ALCOCEL	2086	F S J POGGIALI	818
E L DA SILVA JUNIOR	2037	F TIECHER	1653, 1803
E LOPES DE SOUSA	508	FABIO LEONEL	1158
E M DE CARLI	1118, 1145	FERNANDA PACHECO	15, 119
E M MENDES	2235, 2249	FRANCISCO GABRIEL SANTOS SILVA	1196
E MESQUITA	163, 173	FRANCISCO LUIZ CAMPOS LOPES	2173
E PEREIRA	92, 1455, 1481	G	
E POSSAN	182, 1901, 2278	G A PARSEKIAN	1916
E REYES	2212	G ALBUQUERQUE	1405
E SANCHEZ MURILLO	2399	G AMANTINO	1653
E SARAGOZO	719	G BARRETO	2
E ZORNOZA	2086	G BERBERT-BORN	952, 1506
EDMILSON LIRA MADUREIRA	1441	G BOLEZINA	555
EMERSON MEIRELES DE CARVALHO	2173	G BRUSCHI	2327
F		G C MENEGUSSI	555, 622
F A AVID	398	G D BRACKMANN	1118, 1145
F A S FERNANDES	1416	G D BRAZEIRO	251
F B PEREIRA DA COSTA	251	G DALFRE	521
F C DE CAMPOS	251	G ESCADEILLAS	1639
F CORVO	30	G F DOS SANTOS	1118, 1145
F COSTA M T BARBOSA	874	G FAJARDO-SAN MIGUEL	1639
F COUTINHO	555	G FERREIRA	1325
F F GAEDKE	44	G G NOBRE	1667
F FAGUNDES	1088	G H V GONÇALVES	668, 680
		G L A ALBUQUERQUE	2059

G M DA COSTA	2037	J BESERRA FILHO	163, 173
G M DALFRE	1916, 2342	J BEZERRA L RODRIGUES	2145
G M GAVA	1705	J C DE LIMA	1599
G MODESTI	1005	J C GALVEZ	454, 496, 2186, 2199
G PEDRY	182	J C MENDES	59
G PRAGER	1312	J C SALES	1494, 2023, 2059, 2114, 2135
G R MEIRA	466	J C SANTOS	818
G S VERISSIMO	316	J D BIENVENIDO-HUERTAS	1691
G TEIXEIRA FILHO	1170	J D SOTA	398, 411
G TERCI	707	J DA C MARQUES NETO	668, 680
GEILMA LIMA VIEIRA	637	J DAUDT	1088, 1312
GUILHERME TEIXEIRA	1158	J E A BEZERRA	2315
H		J E MANDUJANO	2369
H A DONZA	938	J E WILLE	1284
H BATISTA	2384	J F M PAIXAO	1943
H CANOLA	2	J FELIPE BARBOSA BAIA	508
H D ALVES	967	J G MONTEIRO	952, 1506
H GURDIAN	2086	J GALVEZ	2420
H M FRANCKLIN	2342	J H A ROCHA	371
H M MURCHIE	1379, 1520	J HARDT	719
H M MURCHIE	1379, 1520	J J MEJIA BRISENO	2225
H RODRIGUEZ	302	J L DA SILVA SABINO	1427
H S B SOARES	1973	J LUZ	1269
H SOARES	2100	J M CARELLI	707
H Z EHRENBRING	107, 197, 287, 570	J M DE OLIVEIRA	2037
H Z EHRENRING	531	J M M GURGEL	70
HELENA RODRIGUES LEITE	15	J M RIBEIRO	80, 744
HINOEL ZAMIS EHRENBRING	15	J M S SIQUEIRA	212
I		J MARTINS	859
I CASTANEDA ROBLES	2225, 2399	J MENDES	1325, 1352
I FEITOSA	2145	J MONZO	427, 1786
I FREITAS	481	J MOURA	2384
I MALDONADO	794	J NAPOLES	1677
I MARIA PORFIRIO DA ROCHA	508	J NEVES	1352
I PRAZERES	1181	J PAYA	427, 1786
I SOUSA	481	J R SABINO	2059
ITALO RIBEIRO GONÇALVES LIMA	347	J S DE OLIVEIRA NETO	1427
IVAN H L SANTOS	2159	J S JACOB	1297
J		J SEBBEN	287
J A BRICENO-MENA	2435	J SILVA	1170
J A ZEA	2369	J SOUZA	1181
		J STOCCO	1366

J T FERREIRA	598	L LIZARRAGA MENDIOLA	2225, 2399
J V F ALTOE	316	L LOPEZ-DE ABAJO	496, 2186
J V TITO	1742	L M MARTINS	59, 150
J VINA	30	L MARQUES	356
JAMESON ALHO	1470	L MONTANI	938
JAMILE FERREIRA	1470	L N BENEDITO	263
JANIELE MOREIRA ROLAND	653	L N CAIRES	2358
JANINE PEDROSO	119	L N P CORDEIRO	744
JEFFSON TAVEIRO CRUZ SANTOS	653	L O BENTO	2073
JEHNNYE DA SILVA DAMASCENO SANTOS	653	L ONGHERO	1366
JESSYCA CAROLINNE SANTOS LACORTE	653	L P TEIXEIRA	923
JOSE S ANDRADE NETO	2159	L R S CARNEIRO	818
JULIANO SILVA	1158	L S LORENZI	227, 331
JULIE CATHERINE SIQUEIRA SANTANA	833	L S SILVA	979
K		L SORIANO	427, 1786
K A DA CRUZ	278	LEONIDAS FILHO	1158
K F B G DA SILVA	1599	LIMA M K G DE	2014
K S B CHRISCHUM	2304	LS LORENZI	44
KARINY FERREIRA MOREIRA	833	LUCAS FRIEDRICH BEHREND	637
L		M	
L A DE C MOTTA	1757	M A DE LA RUBIA	2212
L A MODESTI	1005	M A MACHADO	1731, 1772, 1815, 1859, 1927, 2358
L A REGINATO	227	M A SALOMAO	542
L A SARTI JUNIOR	1916	M A SOUZA	1705
L ALAMEDA	2445	M AURICH	1219
L B G DA ROCHA	668, 680	M BARBOSA	1612
L BABADOPULOS	481	M C PETRAUSKI	316
L BATISTA	2100	M C R CASTRO	1032
L C P SILVA FILHO	227	M E PEREIRA	952, 1506
L CAETANO	59	M F F MENNA BARRETO	1284, 2304
L CARDOSO GABRIEL	991	M FOIATO	707
L CHAVES	1506	M FRIAS	2407
L D LOPEZ LEÓN	2399	M G ALBERTI	454, 496, 2186, 2199
L D LÓPEZ LEÓN	2225	M H M MORAES	2342
L DE SOUSA	1887, 1958, 1987, 2000	M H OLIVEIRA	952
L DE SOUSA	1887, 1958, 1987, 2000	M I SCHIERLOH	411
L DIAS FILHO	1170	M J CARRETERO-AYUSO	1691
L F CAETANO	150, 227	M M COPETTI	1284, 2304
L FARIAS	1887, 1958, 1987, 2000	M M DE SOUZA	1416
L L B DA SILVA	1391	M M TASHIMA	427
L L S BATISTA	1973	M MARIANO ALENCAR FILHO	508
		M MONASTERIO	2407

M P VIANA.....	2235	O CASCUDO	2124
M QUATTRONE.....	466	O G TEIXEIRA.....	278
M R CAETANO	278	O R S ALMEIDA	719
M R Z PASSARINI.....	2278	P	
M ROCHA	356	P BRANA NUEZ.....	732
M S C SILVA.....	1546	P C NUNES	1731, 1815
M S DE ALMADA	1391	P CASTRO-BORGES.....	2435
M SALOMAO	585	P CURTI.....	1088
M T BARBOSA.....	598	P F P C FAZZIONI	1022
M T G BARBOSA.....	542	P G GOULART	1103
M T M CARVALHO.....	80	P GARCES.....	2086
M T PINHEIRO-ALVES	1691	P GARNICA	2369
M V A S MENDES	1230, 1245, 2293	P GHELLERE	2278
M V A S MENDES	1230, 1245, 2293	P H R J MARQUES	1047
M V BORRACHERO.....	427, 1786	P HELENE.....	1559
M V DIAS MARQUES.....	1427	P MARTIN.....	794
M VALENGA	1455, 1481	P N HARTMANN.....	251
MARCUS MENDES.....	1196, 1207	P P B PIRES.....	107
MARIA FERNANDA DE OLIVEIRA	15	P P ORTOLAN	1718
MARIA TERESA GOMES BARBOSA	609	P R A R SANTOS	1391
MARINA MUNARETTO COPETTI	239, 1534	P R C GUTERRES	1757
MATILDE MELO.....	1207	P V G FREITAS.....	1731, 1772, 1815, 1859, 1927, 2358
MILTON PAULINO COSTA JUNIOR.....	637	P WELLTTEN CAMARGOS.....	1254
MONALISA MATISSE BARRETO OLIVEIRA.....	2173	P Z COSTA	1859, 1927
N		R	
N A BERNARDINO	1022	R A RIBAS.....	923
N BRUGNERA	531	R ARROYO.....	2445
N C M S DA SILVA	910	R B V ANDRADA	1047
N G CAYO-CHILENO.....	371	R C A DE LIMA	719, 1118
N HASPARYK	1653	R C E MODELO.....	570
N MALDONADO.....	794	R C LOPES	2124
N P HASPARYK.....	1077, 1803	R C SANTOS.....	542
N RODRIGUES	2145	R C SANTOS M T BARBOSA	585
N S AGUIAR.....	278	R CALHEIROS SOARES	508
N TSUTSUMOTO	859	R CARRAZEDO.....	1901
NATALIA SHIRLEY CARVALHO MATOS	2173	R CASTELLO BELLO.....	732
NILSON S AMORIM JUNIOR.....	2159	R CHRIST	107, 197, 287, 531, 555
NILSON T MASCIA	212	R DE A GARCIA SOBRINHO	1757, 2014
O		R DIAS.....	859
O A CABRERA.....	938	R G D FREIRE	910
O ANGEL.....	2315	R G FAISCA	1022

R GARCIA.....	2407	T _____	
R H R Q MELO.....	1803	T B ARAUJO.....	2235, 2249
R HERNANDEZ-SATURNO.....	442	T B M ALVES.....	2073
R J MIKAMI.....	92	T C C KINGSCOTT.....	59
R LIMA.....	1481	T C CAVALVANTE.....	1339
R MALAQUIAS.....	2327	T F DUTRA.....	251
R MUNOZ.....	1830	T FANTON.....	719
R N CUNHA.....	886, 899	T G CÂNDIDO.....	466
R OLIVEIRA.....	182, 356	T I HENTGES.....	1297
R P DE SOUZA.....	570	T M BRANDELLI.....	692
R P DIAS.....	1103	T MELO.....	1130
R P VASCONCELOS.....	1379, 1520	T P ALBUQUERQUE.....	2235, 2249
R P VASCONCELOS.....	1379, 1520	T RODRIGUES.....	1130
R PEREZ.....	1677	T S BARROS.....	2037
R PRZYBYSZ.....	1455	T V DE TOLEDO.....	782
R R BARRETO.....	150	TASSIA FANTON.....	239, 1534
R R DOS SANTOS.....	1599	U _____	
R RIZZI.....	182	U VERDECIA.....	30
R RODRIGUES DOS SANTOS.....	1427	V _____	
R SANTOS.....	1405, 1987	V A COELHO.....	1230, 1245, 1731, 1772, 1815, 1859, 1927, 2293, 2358
R T V FERNANDES.....	70	V A COELHO.....	1230, 1245, 1731, 1772, 1815, 1859, 1927, 2293, 2358
R V RIBEIRO.....	2014	V ALEGRE.....	383, 1062
R VIGIL DE LA VILLA.....	2407	V CALDERÓN.....	2445
R VILELA.....	212	V C ROUGIER.....	411
RICHARD DE PAULA SILVA.....	833	V F MENDES.....	59, 150
RITA DE CASSIA TEIXEIRA ASSIS.....	609, 833	V GONÇALVES.....	1269
ROBERTO CHRIST.....	15	V K ORTOLAN.....	1718
S _____		V M JOHN.....	466
S C KUPERMAN.....	1803	V MULLER.....	197
S GONZÁLEZ-MORENO.....	2445	V N V TINOCO.....	70
S GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ.....	2445	V RODENAS.....	383
S IVORRA.....	1844	V S A PASIN.....	331
S LENZ.....	2278	V S ARAUJO.....	1339
S M B SERRA.....	668, 680	V S COSTA.....	692, 1219
S MARQUES.....	2384	V SANTANA.....	1325
S MARTINEZ.....	2407	VANDERLUCIO RAMALHO.....	1470
S MEDEIROS.....	1088	VINICIUS ALMEIDA COELHO.....	1196
S OLIVEIRA.....	1077	VSANTANA.....	1352
S RAIOL.....	1559		
S V POMPILHO.....	1032		
S VILLALBA.....	383		
SILAS A PINTO.....	2159		

W _____	WESLEY MENEZES..... 1207
W DA SILVA PEREIRA..... 991	Y _____
W FARDIN 150	Y PETEREIT..... 1312
W PEREIRA A PASSUELLO 1269	Y VILLAGRAN-ZACCARDI..... 804
W W SILVA..... 1047	YURI SOTERO BOMFIM FRAGA..... 347

Índice de palabras clave

A	_____	Argamassa polimerica.	2315
Absortância	1667	Arido reciclado	2086
Aceitação.	239	Armadura	521
Aceros de refuerzo	30	Art deco.	2235
Aço	521	Arte publica.	874
Activacion alcalina	427, 1786	Assistencia tecnica	44, 107, 331
Activadores alternativos	427	Ataque ácido	1786
Adicion	442	Ataque físico de sulfatos.	1639
Adições minerais.	1534	Ataque por sulfatos.	1032
Aditivo controlador de hidratação	1874	Autocicatrização	197
Aeronave remotamente tripulada	70	Autocicatrizante	570
Agentes biologicos	2278, 2293, 2304	Autoconstrução	979
Agregado reativo.	1534	Autocura	2278, 2293, 2304
Agregado reciclado.	263	Autorregeneração	197
Agressividade ambiental.	1366	Autorregenerantes	570
Agua	1130	Avaliação.	759
Agua do mar	1742	Avaliação pos-ocupação	692
Agua reciclada	398	Avaliação qualitativa.	1572
Aluminato de estroncio.	347	B	_____
Amplitude termica	1667	Bacterias	197
Análise dinâmica.	173, 212	Baixo teor de ligante	466
Análise estática	163	Bioconcreto.	197
Análise estatística	2014	Building information modeling.	923
Anomalia.	2249	Building maintenance	833
Anomalias	668, 680, 1254, 1691	Building pathology	859
Anomalies	859	C	_____
Areas urbanas	585	C-S-H	2212
Argamassa de revestimento	150		

Campus do Itaperi	2135	Concreto com fibras	356
Capacidade de carga	2342	Concreto protendido	1572
Capela de Santa Edwirges	1494	Concreto reforzado	2435
Caracterizacion	2407	Concreto sustentavel	466
Carbonatação 227, 555, 1005, 1047, 1297, 1494		Condomino rogaciano leite	2023
Carbonatacion	2086, 2186	Conectividade dos poros	251
Carbonatacion natural	804	Confiabilidad	1612
Carbonato de calcio 2278, 2293, 2304		Consequencias	979
Catologação	771	Conservação	692
Causas	1691, 2037	Conservacion	732
Cement	2159	Consistencia 239, 263	
Cement – Kiln – Dust	442	Construção	2052
Cemento portland puzolanico	804	Construção civil 278, 637, 759, 782, 979, 1559, 1599, 1958, 1987, 2000	
Ceniza volante	2086	Construccion esismorresistentes	794
Cenizas de biomasa	427	Consumidor	2052
Centro historico de Salvador	1830	Consumo de cimento	182
CFRP	1916	Contaminacion	732
Chemical barrier	2327	Contração volumetrica	182
Chlorides in concrete	2159	Control	133
Cidades sustentaveis	585	Controle de qualidade	70
Cilindros de concreto	2	Controle de qualidade de fundações	287
Cilindros de tierra comprimida	2	Controle tecnologico	239
Cimento portland	1103	Correlaciones	2
Circuitos equivalentes	2420	Corrosao 668, 719, 1005, 1047, 1312, 1520, 1546, 1742, 2059	
Cisalhamento	1088	Corrosao da armadura	2114, 2135
Civil construction	1705	Corrosao de armadura	1366
CKD	442	Corrosao na armadura	1494, 2023
Classe de resistencia	2124	Corrosion	30, 732, 938, 2420
Classificação de estruturas	1339	Corrosión	2225
Cloretos 1742, 2124, 2315		Corrosion del cloruro	1612
Cloruro	30	Cuerpos prismaticos	371
CLT-concreto	212	Curado acelerado del hormigon	411
Comportamiento	2445	Curado del hormigon	411
Comportamento estrutural	163, 173	Custos	44, 331
Comportamento mecanico	2399		
Composto polimerico	1088	D	
Compressao ciclica	1901	Dano	1973
Concrete 1653, 2159		Danos	1062, 1691, 1830
Concrete durability	2159	DEF	1077, 1653, 1803
Concrete mixtures	481	Defectos	302
Concreto 133, 239, 278, 316, 347, 508, 521, 555, 707, 1047, 1181, 1379, 1455, 1534, 1742, 1803, 1874, 1901, 1916, 2399		Degradação	1230, 1731, 1772, 1815, 1973, 2265, 2358
Concreto armado 70, 886, 899, 967, 1005, 1032, 1254, 1312, 1416, 1506, 1546, 1572, 1626, 1887, 2073		Degradação acelerada	1916
		Degradação de edificios	744

Degradação de estruturas	1546	Ensaios dinâmicos nao destrutivos em fundações	287
Degradation level	859	Ensaios nao destrutivos	1181
Degradation of facades	859	Ensayo “push-off”	454, 2199
Desconvolucion	2212	Envoltoria	59
Desechos	2369	Escolas	1599
Desempenho	771, 1103	Escoria de alto horno	1786
Desempenho estrutural	80	Esfuerzo cortante	454, 2199
Desempenho mecânico	466	Espaçadores	1047
Desempenho termico	15, 59, 150	Especificacion	133
Deslizamiento a cortante	2199	Esquadrias em madeiras	598
Desplacamentos	1088	Estabilidade estrutural	886
Deterioração	1158, 1170, 2073	Estabilidad de geles cementantes	1786
Diagnostico	1207, 1677	Estação de tratamento de esgoto	1032
Dioxido de carbono	2186	Estacas helice continua	287
Direito	2052	Estado de conservação	2249
Dosing parameters	2159	Estado fresco	92
Drone	1269	Estanqueidade	991, 1718
Durabilidad	1639, 1786, 2225, 2435, 2445	Estructuras de hormigon armado	1612
Durabilidade	466, 555, 744, 910, 1047, 1103, 1312, 1455, 1481, 1916	Estrutura	1297, 1943
Durabilidade do concreto	531	Estruturas	1887
E		Estruturas de concreto	1559
Edificação	1470	Estruturas metalicas	719
Edificação tombada	1312	Estudo de caso	818, 2145
Edificações	1427	Evaluacion de patologias	938
Edificações historicas	598	Expansao	1803
Edificações publicas	680	Expansion	1077, 1653
Edificio duque de caxias	1391	Exploratory data analysis	481
Edificio historico	1844	F	
Edificios	1170, 2023	Fachada	1196, 1230, 1859, 1927, 1973, 2100, 2235
Edificios altos	886	Fachadas	692, 1245, 1731, 1830, 2265
Edificios historicos	1022	Factor de seguridad	2435
Eficiencia energetica	150	Fadiga	1901
Eflorescencias	1844	Fadiga de baixo ciclo	1901
Electroquímica	2225	Falha de estanqueidade	1254
Elementos estructurales	1677	Falhas	119
Empacotamento de particulas	182	Fallos o discontinuidades	302
Emulsion asfaltica	2	Fase construtiva	1958, 1987
Endurecedor de superficie	1196	Fendas	1470
Energia	1062	Ferramenta de diagnostico	899
Engenharia	2052	Fibra optica	383
Engenharia diagnostica	1022, 1254, 1269	Fibras de acero	454
Ensaio acelerado	531	Fibras de poliolefina	454
Ensaio	1943	Fibras de polipropileno	356

Filer calcario	466	Inhibidores	2420
Filtraciones	1844	Inspeção	622, 991, 1118, 1207, 1254, 1339, 1416, 1506, 1584, 1772, 1815, 1887, 2358
Fissura	1470, 1718	Inspeção predial	119, 846, 910, 1022, 2100, 2249
Fissuras	197, 1130, 1325	Inspeção predial, reservatorios de agua, matriz GUT	2173
Fluorescencia	347	Inspeções	1269
Flujo de calor	1667	Instalações hidraulicas prediais	609
Fmeca	967	Instituição de ensino	637
Fracciones finas de hormigon reciclado	2407	Integridad de pilotes fundidos en el lugar	302
Frente a fatiga	2445	Intensidad de corrosion	2420
FRP	521	Intervenção	107
G		Ions cloretos	1494
GDE/UnB	2358	J	
Gemelo digital	383	Jales	2225
Geopolimeros	1455	L	
GFRP	521	Laser escaner	732
Ginasio	653	Laudo	910
Grau de deterioração	952, 1118, 1145	Lenguaje	1062
Grau de risco	119	Levantamento	2145
Graute	2315	Licucion	794
GUT	1366, 1405	Linha de tendencia	2315
H		Lixiviação	1103
Habitação de interesse social	692, 1284	M	
Hidrato de silicato de calcio	570	M-	496
Hormigon	30, 2086, 2186	Machine learning models	481
Hormigon armado	1219	Madrid Rio	496
Hormigon pretensado	938	Mamposteria	794, 2369
Hormigon reforzado con fibras	454	Manaus	1379, 1520
Hormigon reforzado con fibras de acero	2199	Manaus	1379, 1520
Hormigon sustentable	398	Manchamento	1874
Hormigon verde	442	Manifestação patologica	782, 1145, 1757, 2100
Huella de carbono	427	Manifestação patologicas	1584
Humedades	1844	Manifestaciones patologicas	1219
I		Manifestações patologicas	44, 119, 331, 542, 585, 598, 609, 622, 637, 653, 680, 692, 719, 744, 818, 874, 886, 910, 967, 991, 1022, 1118, 1196, 1207, 1230, 1269, 1284, 1297, 1325, 1405, 1427, 1506, 1572, 1599, 1859, 1887, 1927, 1943, 1958, 1987, 2000, 2014, 2023, 2037, 2052, 2059, 2114, 2135, 2235, 2384
IBAPE	1584	Manifestações patologicas do concreto armado	846
Igreja da Se	2145	Manifestações patologicas em concreto	1032
Impedancia	2420	Mantenimiento	794
Impermeabilização	1130, 1284, 2000	Manutenção	107, 622, 653, 771, 1130, 1145, 1158, 1245, 2358
Impermeabilizacion	133	Manutenção e reabilitação	2249
Impermeabilizantes	707		
Indice de dano	938		
Industria	555		
Infiltração	508, 1170, 1352		

Manutenção periodica	846	Nanoparticulas base silicio	1639
Manutenção predial	1366	Nanosilice	2212
Manutenção preventiva	668	Napa freatica	794
Manutenções	952	NBR	80
Mapa de danos	2100, 2235	Normas de desempenho	59
Mapeamento sistematizado	80	Novas metodologias	1181
Marquise	1130	NT Build	2124
Marquises	508	Nuevas aplicaciones ingenieriles	2407
Materiais	680	O	
Materiais a base de cimento	2278, 2293, 2304	OAEs	1506
Materiais luminescentes	347	Obras de arte	668, 2384
Material sustentavel	251	Obras de arte especiais	1943
Materiales de construccion	496	Obras publicas	1757
Materiales eco-eficientes	398	Obras rodoviaras	2073
Materials characterization	481	Onibus	1379
Matriz GUT	1599, 2235	OPC	442
Metalicas	1520	P	
Metodo brasileiro	1803	Parâmetro de durabilidade	2124
Metodo colorimetrico	1742	Paredes de concreto	818, 1207
Metodo de cura do concreto	316	Passarelas	1339
Metodo frances	1803	Pathologies	1705
Metodo GUT	846, 1391	Pathology	833, 2327
Metodo MIVES	496	Patologia	653, 759, 771, 1158, 1170, 1352, 1366, 1379, 1520, 1534, 1973
Metodologia gde	1158	Patologia das construções	818, 1559
Metodologia GDE/UnB	1626, 1815	Patologia das estruturas	1626
Metodologia GUT	1427	Patologias	1339, 2073, 2145
Metodos de avaliação	967, 1405	Patologias em edificações	923
Microconcretos	347	Patologias em reservatorios	70
Microdeformaciones	383	Patrimonio	1830
Migração	2124	Patrimonio historico	1391
Mitigação	1455	Patrimonios historicos e culturais	15
Mitigation	1077, 1653	Pavimentação	542
Mobilidade urbana	542	Pavimento permeavel	92, 251
Modelos predictivos	804	Penetração de cloretos	531
Módulo de elasticidad	2445	Permeabilidade	92, 251
Moisture	833	Pile integrity test	287
Monitoramento	1943	Pile integrity tester	302
Monte Carlo	1612	Pilotes	30
Mortar render	859	Plasticos	2369
Mortero de poliuretano	2445	Poesia	1062
Mosaico	874	Polimero	182
N		Ponte	163, 173, 1572
Nanoalumina	2212		

Pontes	1118, 1416, 1887, 2114, 2384	Resistencia a compression simple	411
Pontes e viadutos.	952	Resistencia à compressao	1874
Porosidade.	92	Resistencia à compressao do concreto	316
Postes de concreto.	227	Resistividade eletrica	1297
Potencial de corrosao	1005, 2315	Restauracion	2435
Pre-fabricados	967	Retardo de pega.	1874
Problemas na execucao.	782	Reuso.	398
Procesos patologicos.	1691	Revestimento.	1859, 1927, 2100
Processos de rehabilitação	1757	Revestimento cerâmico.	2265
Produccion de hormigon.	398	Revestimento petreo	1245
Profissional habilitado	979	Revestimentos.	1088, 1830
Projeto.	653	Revisao sistematica da literatura (RSL)	2342
Propiedades de las pastas de cemento mezcla	2407	Rice husk-ash	1653
Propiedades de transporte	804	Rio Aracatiaçu.	2114
Propiedades fisicas	2	Riscos	979
Propriedades mecânicas	251, 356	Rising damp	2327
Propriedades termicas	150	RMN	2212
Proyeccion de resistencia	411	Rochas.	15
Puente de hierro	1677		
R _____		S _____	
RAA	1534	Silica ativa.	707, 1481
Rachaduras	1325, 1470	Silica fume	1077
Reabilitação.	598	Simulação	1441, 1667
Reabilitação de edificações.	1757	Simulação energetica	150
Reação alcali-agregado.	1441, 1455, 1481	Simulacion numerica	2186
Reator uasb	1032	Sistema de gerenciamento.	952
Recalque	1170	Sistema de vedação.	15
Recicladados	2399	Sistemas de reforço.	1916
Recubrimiento.	133	Sostenibilidad	496
Recuperação	759, 1245, 1325, 1405, 1731	Spray marinho.	1494
Recuperação estrutural	2384	Structural intervention	1705
Redução de custos redução.	923	Suinocultura	1297
Reduções de impedância.	287	Sustentabilidade	278, 609
Reforço	2342	T _____	
Regresion lineal	371	Tabique	2369
Reino Unido	59	Teenico	1062
Reparacion	2435	Temperatura	1441, 1667, 2265
Reparos	1352	Teoria de corte-friccion.	2199
Reservatorio de concreto.	1718, 2014	Teoria do dano concentrado	899
Reservatorios de agua	2059	Terminais.	1379, 1520
Residuo de catalizador del craqueo del petroleo.	2086	Termografia.	1844
Residuos industriales	427	Textile reinforced mortar (TRM)	2342
Resistencia	92, 239, 263, 278	Thermal cycle	1077
		Trabalhabilidade	263

Trabalho colaborativo	923	Velocidad de carbonatacion	804
Traçao simples	1088	Via publica	542
Transmision indirecta	371	Viaduto	1145
Transporte publico	585	Viadutos	668, 1772
Trincas.	1325, 1470	Viadutos e pontes	1506
Tunel urbano	2186	Vibraçoes.	212
U _____		Vida util.	1005, 1219, 1230
Umidade	1284, 1352, 2000	Vida util à fadiga.	1901
Umidade descendente	991	Viga de concreto armado	2342
Unidade de saude	1584	Vigas	1441
Usuarios	585	Vistoria	910
V _____		Viviendas.	2369
Varanda	899	VUP.	227
Vazios de concretagem	2114	Z _____	
Vedações verticais inovadoras	2037	Zonas bioclimaticas	2265

