

Levantamentos digitais como suporte à inspeção em edificações: uma aplicação *no Acquário Ceará*

BRUNA TAYNA MACEDO FIDELES – ENG.^A – <https://orcid.org/0009-0003-2136-8365> (brunatayna@alu.ufc.br) ;

ANTÔNIO EDUARDO BEZERRA CABRAL – PhD ;

AFONSO HENRIQUE LACERDA BRITO DE OLIVEIRA – M.Sc – <https://orcid.org/0009-0009-7439-8836> ;

MAYCON HANDERSON DE OLIVEIRA BESSA – ENG. – <https://orcid.org/0000-0002-5633-0151> ;

ESEQUIEL FERNANDES TEIXEIRA MESQUITA – PhD | **UFC**

RESUMO

OS MÉTODOS UTILIZADOS PARA EFETUAR AS INSPEÇÕES SÃO MUITAS VEZES LENTOS E POUCO FIÁVEIS. ALÉM DISSO, PODEM SER PERIGOSOS EM AMBIENTES DE DIFÍCIL ACESSO E OBRAS DE GRANDE PORTE. POR OUTRO LADO, AS EDIFICAÇÕES ESTÃO SUJEITAS A DEGRADAÇÕES AO LONGO DO TEMPO, TORNANDO-SE FUNDAMENTAL DIAGNOSTICAR DE FORMA CORRETA POSSÍVEIS INTERVENÇÕES. RECENTEMENTE, TEM-SE DESENVOLVIDO ESTUDOS COM TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO DIGITAIS COMO FORMA DE INSPECIONAR E CAPTAR O ESTADO IN SITU DAS ESTRUTURAS. DENTRE AS TÉCNICAS, O LASER SCANNER TERRESTRE (LST) E O VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT), PARA ADQUIRIR NUVENS DE PONTOS DENSAS E PRODUIR INFORMAÇÃO COMO APOIO À INSPEÇÃO E FUNDAMENTAR UM POSTERIOR RELATÓRIO TÉCNICO, TÊM SIDO UTILIZADOS. ESTE ARTIGO ABORDA O USO DESSAS TÉCNICAS NO LEVANTAMENTO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO DO ACQUÁRIO DO CEARÁ. COMO RESULTADOS, OBTVEU-SE UM TOUR VIRTUAL NA EDIFICAÇÃO, BANCO DE IMAGENS E A CONSTATAÇÃO EFICIENTE DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA MESMA.

PALAVRAS-CHAVE: LASER SCANNER TERRESTRE, FOTOGRAMETRIA, NUVEM DE PONTOS, AQUISIÇÃO DE DADOS.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas dos edifícios existentes de concreto armado, principalmente envelhecidas, podem sofrer deterioração ao longo do tempo devido ao uso e à influência ambiental. Tais

estruturas precisam de manutenção adequada e, para isto, o diagnóstico correto para as possíveis intervenções. A engenharia utiliza ferramentas de diagnóstico relacionadas com procedimentos investigativos para realizar essas vistorias e inspeções técnicas, fase importante onde irá ser constatada a situação na qual a edificação se encontra.

A vistoria deve proporcionar elementos, tais como: caracterização da região estudada, caracterização do imóvel, constatação de danos, condições de estabilidade do prédio, fotografias, plantas do prédio e subsídios esclarecedores (1). Já, a inspeção predial, a análise isolada ou combinada dessas condições, onde propicia uma avaliação sistêmica da edificação, elaborada por profissionais habilitados e devidamente preparados; classifica não conformidades constatadas na edificação

quanto à sua origem, grau de risco e indica orientações técnicas necessárias à melhoria da manutenção dos sistemas e elementos construtivos (2).

Os métodos mais comuns e tradicionais de adquirir dados referentes aos edifícios podem representar uma alternativa cara, morosa e não registrar fielmente uma edificação quanto maior for a complexidade, o nível de detalhamento e a amplitude da estrutura (3, 4). A fase de aquisição de dados torna-se fundamental para obter com exatidão as informações para determinar o estado atual da estrutura envelhecida ou os seus níveis de degradação (5). Segundo Groetelaars (6), nos últimos 10 anos houve desenvolvimento significativo da tecnologia de varredura a laser, tanto no que se refere a equipamento computacional como programa computacional, culminando no aumento das áreas de aplicação, tais como

levantamento industrial, arquitetura, documentação do patrimônio, arqueologia, planejamento urbano, geologia, energia, ferramenta de apoio à prevenção de desastres naturais, dentre outros.

Não só algumas das estruturas existentes estão em estado grave de deterioração, mas os métodos utilizados para efetuar as inspeções são lentos e por vezes pouco precisos, podendo não documentar efetivamente todos os riscos. Além disso, as inspeções visuais podem ser perigosas,



FIGURA 1
LOCALIZAÇÃO DO AQUÁRIO (ACQUÁRIO CEARÁ)

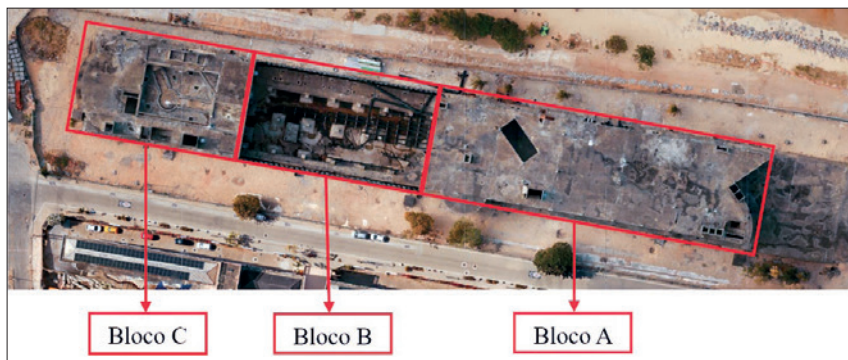


FIGURA 2

ESQUEMA DE IDENTIFICAÇÃO DOS BLOCOS

principalmente em ambientes de difícil acesso. A utilização de fotogrametria digital e sensores de scanners laser de alta precisão, integrados em câmeras, para captar dados de superfície, automatiza parcial ou totalmente as inspeções para a localização, quantificação e documentação de anomalias, além de poder auxiliar no desenvolvimento das atuais estratégias de inspeção visual baseada em sensores (7). Essas técnicas são capazes de gerar nuvem de pontos e imagens 360°, capazes de extrair informações úteis, automatizar análises e facilitar processos de inspeção. Uma nuvem de pontos 3D compreende uma coleção de pontos num sistema de coordenadas 3D que representa com precisão a superfície de um objeto ou ambiente (8,9).

Este artigo tem o objetivo de apresentar uma aplicação prática utilizando o scanner laser terrestre e um veículo aéreo não tripulado (VANT) para produção de informação como apoio à inspeção para detecção e quantificação de anomalias na estrutura do *Acquário Ceará*, com o objetivo de fundamentar um posterior relatório técnico.

2. ESTUDO DE CASO

2.1 Introdução

O *Acquário Ceará* está localizado em Fortaleza, no Ceará, na rua dos Tabajaras, na praia de Iracema, entre a Ponte dos Ingleses e a Ponte Metálica (Figura 1). É uma estrutura de grande porte composta por quatro pavimentos, sendo eles: subsolo, 1º andar, 2º andar e cobertura. Idealizado em 2008, sua construção foi iniciada em 2012,

com previsão para dois anos de duração, mas as obras foram interrompidas definitivamente em 2015 (10). A obra desde então encontra-se paralisada e com seu estado de conservação afetado, devido a degradações ao longo do tempo.

Segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (11), o projeto consiste numa área total construída de 21.500,00m², onde prevê 15 milhões de litros de água, distribuído em 38 tanques, sendo 26 deles recintos de exibição, que abrigariam 500 espécies. O estudo de caso apresentado refere-se a uma edificação que de fato está sob estudos e ensaios a fim de constatar seu estado de conservação e anomalias presentes na estrutura. Com isso, a aplicação de levantamentos digitais auxiliou na inspeção da estrutura e na geração de dados.



FIGURA 3

LASER SCANNER BLK 360

FONTE: LEICA GEOSYSTEMS (2021)

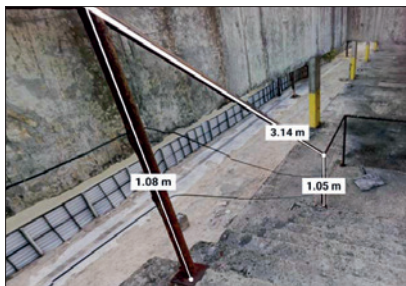
2.2 Aquisição de dados com Laser scanner terrestre

Esta fase incluiu o processo de levantamento digital com *laser scanner* terrestre para obtenção da nuvem de pontos. Tal fase teve duração de aproximadamente 4 dias de levantamento de toda sua área interna e externa. A Figura 2 ilustra um esquema de identificação dos blocos utilizado no aquário para o processo de varredura a laser. A aquisição foi realizada

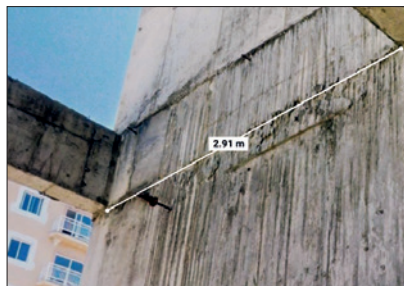


FIGURA 4

ESCANEAAMENTO 3D DA ESTRUTURA DO ACQUÁRIO CEARÁ



A



B

FIGURA 5

EXEMPLOS DE MEDIÇÕES REALIZADAS NO MATTERPORT (A) CORROSÃO NO GUARDA-CORPO DA ESCADA; (B) FISSURA EM PAREDE DE CONCRETO



FIGURA 6

VANT PHANTOM 4 Pro V2.0

FONTE: DJI (2024)

inicialmente no piso 1, no piso 2 e na cobertura dos blocos A e C, finalizando com o subsolo dos blocos A e C, e o bloco B, que tem apenas o nível do subsolo interligando os blocos A e C.

O equipamento utilizado foi o *laser scanner* BLK 360 da Leica Geosystems (Figura 3) que permite a digitalização em três tipos de resolução: alta, padrão e rápida (12). O domo completo gera 30 imagens, retificadas espacialmente de forma automática, com 150 Mp (megapixel) (16). No Aquário, as resoluções padrão e alta foram as utilizadas, demorando em média 3 minutos para cada captura.

O *Laser Scanner* Leica BLK360 conta com três câmeras digitais HDR integradas, o mesmo pode coletar dois tipos de dados de imagem diferentes: uma imagem panorâmica HDR, esférica em 360° com três câmeras calibradas: uma imagem termográfica com uma câmera infravermelha (disponível em uma variante de produto especial). A Precisão do ponto 3D na nuvem, em condições de teste padrão da Leica Geosystems é de 6mm a 10m de distância e 8mm a 20m de distância (12), podendo ser realizado a medição, no programa computacional, da propagação e extensão em metro linear, volume ou área das anomalias. A Figura 4 ilustra o processo de escaneamento digital do Acquário Ceará utilizando o BLK360.

Finalizada as capturas com o *laser scanner*, foram levadas para nuvem da plataforma *Matterport*, para ser realizado o processamento automático do tour virtual. O *Matterport* é um software para elaboração de tour virtual, fotos em 360° e pequenos vídeos. Conectado a um tablet

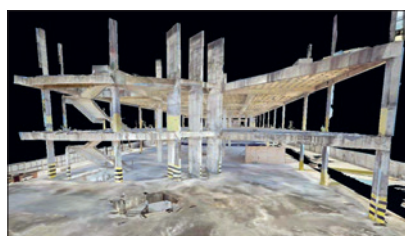
ou celular, o *Matterport* captura as informações do ambiente e as transforma em um tour de 360 graus, gerando o gêmeo digital do ambiente [13]. Os gêmeos digitais *Matterport* tem funcionalidades como layouts detalhados, etiquetas informativas, medições precisas e análises abrangentes [13].

A análise dos dados obtidos representou a constatação das anomalias e incidência dos problemas com base nas observações obtidas pelos produtos do escaneamento digital, e a extração de da-

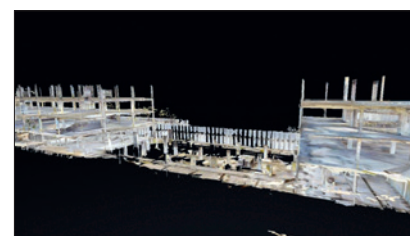
dos quantitativos, onde foi possível gerar uma estimativa da quantidade referente a parte com manifestação patológica. As medições foram realizadas nos programas Trueview e Matterport (Figura 5).

2.3 Aquisição de dados com veículo aéreo não tripulado (VANT)

O processo de fotogrametria digital aérea permite a obtenção, a partir da aquisição e processamento de imagens 2D, de modo preciso, de grande quantidade de produtos, como medidas, desenhos, mo-



A



B

FIGURA 7

(A) E (B) VISTA 3D DO AQUÁRIO NO MATTERPORT



A



B

FIGURA 8

VISTAS INTERNAS. (A) SUBSOLO BLOCO A, (B) PISO 2 BLOCO C

delos geométricos, fotos retificadas, ortofotos, a depender da técnica utilizada [6], além da possibilidade de obtenção da nuvem de pontos e a vantagem de pouco tempo em campo.

Para este artigo também foi utilizado o veículo aéreo não tripulado (VANT), popularmente conhecido como drone, para captura de dados elevados e externos do aquário, como complementação de dados capturados pelo *laser scanner* terrestre, com duração de aproximadamente um dia de aquisição. O equipamento utilizado foi o Phantom 4 Pro V2.0 (Figura 6), que conta com um sensor CMOS de 1" capaz de gravar vídeos em 4K a 60fps e fotos em 20 MP [14].

Coletado os dados com o VANT, o conjunto de fotografias foi levado ao programa computacional Drone Deploy para visualização, processamento de ortomagens e nuvem de pontos. O mesmo é capaz de realizar o planejamento, a execução de voos e o processamento de dados. O Drone Deploy é uma plataforma de computação em nuvem, desenvolvido para facilitar procedimentos ligados a captura e ao processamento de dados [15].

3. RESULTADOS

3.1 Tour virtual

Como resultados da aquisição com o *laser scanner* terrestre, foi obtido um tour virtual com as imagens 360° internas do aquário. O tempo total para o processamento no *Matterport* foi realizado em cerca de 12 horas. Na Figura 7, é possível visualizar o 3D da estrutura do aquário na plataforma *Matterport* e na Figura 8, exemplos de vista interna do subsolo pertencente ao bloco A e do segundo andar pertencente ao bloco C.

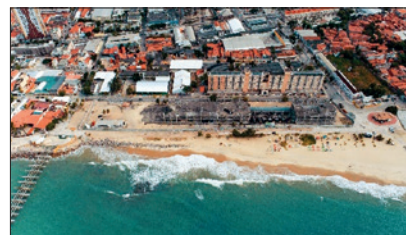
O tour virtual pode ser acessado e visualizado pelo link: <https://my.matterport.com/show/?m=qNaPrcwIMn7>.

3.2. VANT

Como resultados da aquisição com o veículo aéreo não tripulado, foi obtido um banco de dados com cerca de 558 imagens tiradas em voo manual. O tempo total para o processamento no Drone Deploy foi realizado em cerca de 3 horas e 30 minutos.



A



B

FIGURA 9

IMAGENS CAPTURADAS PELO VANT



A



B

FIGURA 10

VISUALIZAÇÃO 2D DO AQUÁRIO NO DRONE DEPLOY. (A) BLOCO B E C; (B) BLOCO A



A



B

FIGURA 11

VISUALIZAÇÃO 3D DO AQUÁRIO. (A) FOTOS; (B) DRONE DEPLOY



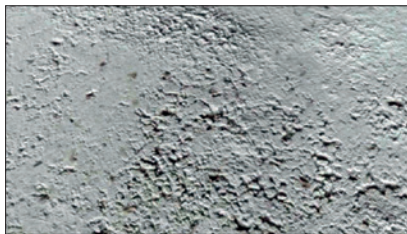
A



B

FIGURA 12

MANCHAS DE UMIDADE. (A) BLOCO A, PISO 2, OBTIDA PELO LST; (B) BLOCO C, COBERTURA, OBTIDA PELO VANT



A



B

FIGURA 13

SEGREGAÇÃO NO PISO DE CONCRETO (A) BLOCO A, SUBSOLO; (B) BLOCO C, PISO 2



A



B

FIGURA 14

FISSURAS. (A) PAREDE DE CONCRETO, SUBSOLO BLOCO A; (B) PRÓXIMO A JUNTA, PISO 2 BLOCO C



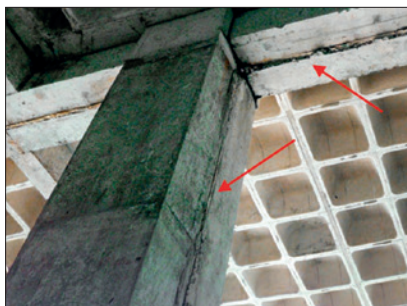
A



B

FIGURA 15

CORROSÃO NO GUARDA-CORPO DA ESCADA. (A) PISO 1, BLOCO A; (B) PISO 1, BLOCO C



A



B

FIGURA 16

JUNTA ESTRUTURAL DANIFICADA. (A) SUBSOLO, BLOCO A; (B) PISO 1, BLOCO C

Na Figura 9, observam-se exemplos de imagens adquiridas pelo drone, enquanto na Figura 10 vê-se a vista 2D do aquário no Drone Deploy.

Na Figura 11, podemos visualizar o aquário em formato 3D, produtos do banco de imagens e visualização no *Drone Deploy*.

O vídeo com a nuvem obtida pelo VANT, pode ser acessado e visualizado pelo link: <https://1drv.ms/f/s!AjDtXb4ovi-6Vg6JQsrSa6BTXupKZAA?e=xBTg8s>.

3.3 Anomalias constatadas usando o tour virtual e a nuvem de pontos

3.3.1 BLOCOS A E C

A partir da inspeção realizada com os produtos obtidos pelos dados do escaneamento digital, foi possível identificar os seguintes problemas nas áreas analisadas do bloco A e C: manchas de umidade, corrosão, segregação do concreto, fissura e junta de dilatação danificada. Nas Figuras 12 a 16, pode-se observar as anomalias encontradas.

3.3.2 Bloco B

No subsolo do bloco B, foi possível identificar os seguintes problemas nas áreas analisadas: presença de manchas de umidade na estrutura (Figura 17) e fissuras no piso (Figura 18).

3.4. Quantitativo das Anomalias

A estimativa de quantidades das anomalias do aquário foi realizada em cerca de 12 horas (1 dia e meio), muito inferior caso fosse realizado por vias tradicionais, com trenas e equipamentos afins. O quantitativo se limita aos setups disponíveis e com isso alguns ângulos ou face da estrutura não podem ser acessados, dificultando a medição ou identificação de alguma anomalia, isso poderia ser sanado caso fosse aumentado a quantidade de setups ao realizar a captura, distribuindo de forma que capturasse uma grande quantidade de pontos, em contrapartida o tempo de aquisição seria superior.

Tendo em vista que a estrutura do aquário está quase toda comprometida por manchas de umidade e que os setups disponíveis não abrangem completamente algumas áreas de modo a realizar a medi-

ção de manchas, foi considerado para essa anomalia, uma estimativa de quantidade de área total de piso dos pavimentos analisados. Assim como para a anomalia segregação do concreto, presente quase que na totalidade dos pisos do pavimento 1, 2 e cobertura, onde foi considerado uma estimativa de 70% da área do piso, devido à dificuldade da medição dessa anomalia em algumas áreas.

Na Tabela 1, pode ser observado os quantitativos estimados através das ferramentas de medição da nuvem de pontos: Recap Pro, True View e Matterport, a partir deles o resultado das quantidades de anomalias, identificadas como manchas de umidade (MU), segregação (SGR), fissura (FIS), corrosão (CRS) e Junta de dilatação danificada (JDL).

4. CONCLUSÕES

A aplicação das tecnologias digitais de fotogrametria aérea em conjunto com a varredura a laser se complementa, uma vez que permite fazer a aquisição da toda estrutura de forma rápida e eficiente. No estudo de caso desse artigo, foram necessárias 28 horas para aquisição de imagens pelo LST e 4 horas pelo VANT, mais 15 horas de processamento e mais 12 horas de identificação e quantificação das anomalias (1 dia e meio). Esse tempo é muito inferior caso fosse feito de forma tradicional (visita *in loco* com fotos, medições e classificação das anomalias em escritório).

Nota-se a melhoria das condições de registro geométrico das imagens e na automatização de procedimentos, vantagens no levantamento e estudo de edifícios do ponto de vista operacional, é mais seguro, sem contato, não invasivo, rápido e não precisa retornar diversas vezes ao local, o que facilita em espaços com maior complexidade ou de difícil acesso, como no subsolo do Aquário.

Para além disso, a precisão das nuvens de pontos que pode ser obtida permite o estudo detalhado para inúmeras investigações futuras que terão impacto nas medidas de conservação, intervenções de restauro, ou mesmo reconstruções. Pelos exemplos das manifestações patológicas apontadas no artigo, vê-se a grande qualidade das imagens e a possibilidade de extrair medições.

A qualidade e quantidade de dados

que é possível obter de forma rápida permite o desenvolvimento de novas abordagens metodológicas para aprofundar e avançar no diagnóstico das manifestações patológicas destas construções.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) e Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções (LAREB), da Universidade Federal do Ceará (UFC), pelo suporte técnico.



FIGURA 17
MANCHAS DE UMIDADE NO SUBSOLO DO BLOCO B. (A) E (B) ESTRUTURA E PISO



FIGURA 18
(A) E (B) FISSURAS NO PISO DO SUBSOLO DO BLOCO B

TABELA 1

QUANTITATIVO DAS ANOMALIAS OBSERVADAS NO ACQUÁRIO CEARÁ

		Anomalias observadas				
		MU (m²)	SGR (m²)	FIS (m)	CRS (m)	JDL (m)
Bloco A	Subsolo	2113,62	43,88	24,81	40,90	72,30
	Piso 1	2221,58	1555,11	10,90	26,90	67,80
	Piso 2	2221,58	1555,11	14,40	37,37	67,8
	Cobertura	2221,58	1555,11	11,90	—	49,50
Bloco B	Subsolo	1316,84	—	20,70	—	—
	Subsolo	955,50	—	22,98	47,48	110,20
Bloco C	Piso 1	955,50	688,85	24,63	32,45	208,90
	Piso 2	1039,85	727,90	54	43,75	173,10
	Cobertura	782,55	547,79	—	—	—
TOTAL		13828,60	6673,75	184,32	228,85	749,60

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13752: Perícias de engenharia na construção civil. Rio de Janeiro, 1996.
- [2] IBAPE. NORMA DE INSPEÇÃO PREDIAL NACIONAL, 2012.
- [3] DEZEN-KEMPTER, Eloisa et al. Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v.10, n. 2, p. 113-124, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710>.
- [4] BEDIN, CARLA. Estratégias para inspeção do estado de conservação de fachadas com uso de RPAs e Laser Scanner. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). 124 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.
- [5] Shao, W., Kakizaki, K., Araki, S. Automated Two-Stage Approach for Damage Detection of Surface Defects in Historical Buildings. *IEEE 46th Annual Computers Software, and Applications Conference*, 2022.
- [6] Groetelaars, N. J. Criação de Modelos Bim a partir de nuvens de pontos: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. Tese (doutorado). 372f. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de arquitetura. 2015.
- [7] Erkal, B. G., Hajjar, J. F. Laser-based surface damage detection and quantification using predicted surface properties. *Automation in Construction* 83 (2017).
- [8] X. Yang, P. Grussenmeyer, M. Koehl, H. Macher, A. Murtiyoso, T. Landes, Review of built heritage modelling: integration of HBIM and other information techniques, *J. Cult. Herit.* 46 (2020) 350-360, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.008>.
- [9] Sanchez-Aparicio, L.J., Blanco-Gargia, F. L. del., Villanueva-Llauradó, P., Aira-Zunzunegui, J. R., Sanz-Arauz, D., Pierdica, R., Pinilla-Melo, J., Garcia-Gago, J. Detection of damage in heritage constructions based on 3D point clouds. A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 2023.
- [10] Haus (2019). Obra de aquário encalha em praia famosa de Fortaleza Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/estilo-cultura/acuario-ceara-obra-de-aquario-encalha-em-praia-famosa-de-fortaleza/>>. Acesso em 13 de out. de 2023.
- [11] IPECE Informe. O projeto Acquário Ceará: aspectos gerais e plano de negócios do empreendimento. Nº 84, julho de 2015.
- [12] Leica geosystems; Scanner de imagens a laser Leica BLK360, disponível em: <<https://leica-geosystems.com/pt-br/products/laser-scanners/scanners/blk360>>. Acesso em 12 de out. de 2023.
- [13] Matterport; unlock valuable insights with Matterport's AI, disponível em: <<https://matterport.com/>> Acesso em 07 de fev. de 2024.
- [14] Dji; Panthon 4 Pro V2.0. Inteligência visionária. Imaginação elevada. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/phantom-4-pro-v2>> Acesso em: 07 de fev. de 2024.
- [15] Geosense; Drone deploy: tudo o que você precisa saber antes de começar, disponível em: <<https://geosense.net.br/2022/08/12/drone-deploy-tudo-o-que-voce-precisa-antes-de-comecar/>>. Acesso em 07 de fev. de 2024.
- [16] Leica geosystems. Manual do usuário: BLK360. 2021.

Prática Recomendada IBRACON/ABECE

Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibra



Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, a *Prática Recomendada* é um trabalho pioneiro no Brasil, que traz as diretrizes para o desenvolvimento do projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras.

Baseada no *fib Mode Code 2010*, a *Prática Recomendada* estabelece os requisitos mínimos de desempenho mecânico do CRF para substituição parcial ou total das armaduras convencionais nos elementos estruturais e indica os ensaios para a avaliação do comportamento mecânico do CRF.

Patrocínio



DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-26-8

Edição: 1ª edição

Formato: Eletrônico

Páginas: 39

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2016

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

Aquisição

www.ibracon.org.br
(loja virtual)