https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.087

ANÁLISE AMOSTRAL DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA E DURABILIDADE DE UM CONCRETO PRODUZIDO EM OBRA

Fábio Santos dos Santos[1], Roberto Christ[2]*; Guilherme Gregio Grings[3]; Fernanda Pacheco[2] e Camila Simonetti[4]
*Autor de contato: rchrist@unisinos.br

[1] Especialista em Construção Civil - Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil
[2] Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil, itt Performance, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil
[3] Engenheiro Civil, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil
[4] Superintendência de Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

O concreto é um material altamente difundido na construção civil, principalmente pela sua boa capacidade de resistência à compressão e simplicidade de execução. Porém, muitas vezes, se observa ausência de monitoramento e de controle do concreto produzido, principalmente em pequenas obras. Assim, este trabalho demonstra os parâmetros de resistência e durabilidade de um concreto produzido em obra, manifestando os resultados obtidos através de ensaios de laboratório: resistência à compressão, módulo de elasticidade, frente de carbonatação, frente de íons cloretos e absorção de água por sucção capilar. Os resultados evidenciam a falta de controle tecnológico para obras de pequeno porte como fator determinante para a não conformidade dos índices obtidos nos ensaios, em relação aos resultados esperados segundo as normas vigentes.
Palavras-chave: concreto, resistência, carbonatação, íons cloreto, sucção capilar.

ABSTRACT

Concrete is a highly widespread material in civil construction, mainly due to its resistance and durability. However, the absence of monitoring and control of the concrete produced is often observed, especially in small construction sites. Thus, this work presents the parameters of resistance and durability of a concrete produced in site, laboratory tests based on resistance, modulus of elasticity, carbonation, chloride ions and capillary suction. The results show lack of technological control for small works as a determining factor for the non-compliance of the indices obtained in the experimental tests, when compared to the results expected by current standards.
Keywords: concrete, strength, carbonation, chloride ions, capillary suction.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material largamente difundido mundialmente devido a sua versatilidade quando falamos de resistência à compressão, custo de produção e facilidade de execução. Sua simples

composição por cimento, areia, agregado graúdo, agregado miúdo e água faz com que seja possível produzi-lo nos mais diversos locais, permitindo com que seja executado com ferramentas simples e mão de obra sem grande especialização, fazendo assim com que a absoluta maioria das obras civis de pequeno e médio porte construídas no Brasil utilizem este tipo de material ainda produzido *in loco*. A facilidade de produção, porém, muitas vezes ocasiona a falta de controle tecnológico sobre este material, fazendo com que nem sempre se atinja os níveis de resistência e durabilidade esperados.

Este trabalho visa apresentar uma análise experimental de um concreto com traço e produção comumente utilizados em obras de pequeno porte, expondo as características deste material quanto à resistência e durabilidade através dos ensaios em laboratório para resistência à compressão, módulo de elasticidade, frente de carbonatação, frente de íons cloretos e ensaio de absorção de água por sucção capilar.

O estudo demonstra os resultados obtidos para os ensaios, comparando com as normas brasileiras e discorrendo sobre as inconformidades e limitações do concreto de traço com pobre teor de cimento e elevada relação água/cimento, como a baixa resistência à compressão e módulo de elasticidade, alta permeabilidade e por consequência maior capacidade de influência da carbonatação e dos cloretos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Concreto

A composição básica do concreto é formada por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Pode ainda ser acrescido de fibras, minerais e aditivos para melhorias quanto a resistência, fluidez, trabalhabilidade, permeabilidade entre outros. Conhecer os materiais constituintes do concreto é fundamental para entender seu comportamento. (CARVALHO; FIGUEREDO FILHO, 2007).

2.1.1. Cimento Portland

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, ou seja, há necessidade de mistura com água para que ocorra uma reação química, a qual gera um elemento com alta resistência às solicitações de compressão. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O cimento Portland é constituído por quatro compostos principais: silicato bicálcico (C2S), silicato tricálcico (C3S), aluminato tricálcico (C3A) e aluminoferrato tetracálcico (C4AF), os quais respondem por cerca de 90% de sua massa. Estes elementos quando hidratados dão origem a cristais de silicato de cálcio e aluminatos de cálcio, etringita, monosulfoaluminato e monosulfatos hidratados, que fazem com que a pasta de cimento seja a maior influenciadora quanto de resistência e durabilidade do concreto. (SANTIAGO, 2011).

2.1.2. Agregados

Os agregados são responsáveis pela maior parte do volume do concreto. Santiago (2011) define como agregado aquele material granular, sem forma ou volume definidos, que pode ser extraído diretamente da natureza como areia e rocha britada, ou feito por processos industriais, como argila expandida. Os agregados podem ainda ser divididos em agregado graúdo ou miúdo.

2.1.3. Água de Amassamento

A água na composição do concreto é de fundamental importância para que aconteça a hidratação do cimento e ative suas propriedades aglomerantes. (HELENE; TUTIKIAN, 2011).

Segundo Almeida (2002), praticamente toda água é adequada para o amassamento do concreto, desde que esteja limpa e não seja proveniente de rejeitos, pântanos e do mar.

2.2. Parâmetros de Resistência do Concreto

2.2.1. Resistência à compressão

Para Helene e Tutikian (2011), a resistência à compressão é o principal parâmetro de dosagem e controle do concreto. Existem diversos fatores que influenciam na resistência do concreto, como a relação água/cimento, tipo de agregados, condições de cura e a idade em que são feitas as medições. Durabilidade, resistência, relação água/cimento, consumo de cimento e abatimento são dependes um do outro, não devendo ser tratado de forma desassociada. (HELENE; ANDRADE, 2010).

2.2.1.1. Relação água/cimento

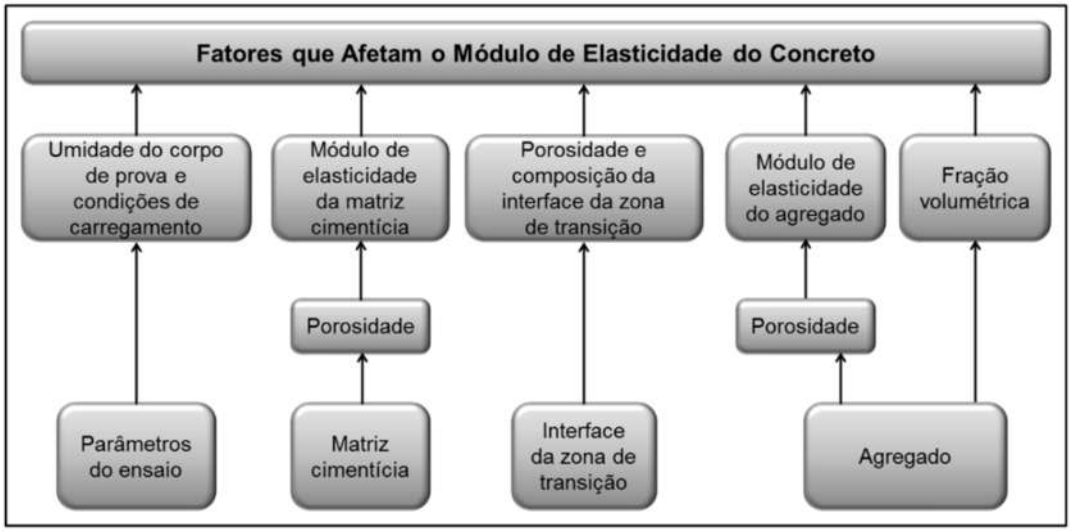
A quantidade de água adicionada à mistura influencia diretamente na fluidez, trabalhabilidade e na resistência mecânica do concreto. Quanto maior a quantidade de água mais fluída a mistura, maior a relação água/cimento e menor a resistência. Ou seja, a resistência mecânica do concreto é crescente com a redução da relação água/cimento. (HELENE; ANDRADE, 2010).

2.2.1.2. Módulo de elasticidade

Segundo Pacheco et al (2014), o módulo de elasticidade é a razão entre a tensão e deformação aplicada sobre um corpo. Os autores citam ainda que sendo o concreto um material composto por diversos componentes, o módulo de elasticidade não apresenta proporcionalidade, sendo variável conforme o nível de carga aplicado, tendo um comportamento não linear.

No estudo de Montija (2007) é exposto que o termo elasticidade é diretamente associado à capacidade dos materiais voltarem à forma e volumes originais quando removidas as solicitações, ou seja, depende das forças de ligação entre os elementos que continuem na microestrutura dos materiais. Sendo assim, módulo de elasticidade do concreto pode ser afetado por diversos fatores, conforme citado por de Metha e Monteiro (2008), e mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Vários parâmetros que influenciam o módulo de elasticidade do concreto



Fonte: Adaptado de Metha e Monteiro, 2008.

2.3. Parâmetros de durabilidade do concreto

A NBR 6118 (ABNT, 2014), define a durabilidade como capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

2.3.1. Mecanismos de deterioração relativos ao concreto

2.3.1.1. Lixiviação

Neumann Jr (2019) diz que o concreto em contato duradouro com água, está sujeito à lixiviação, fenômeno em que acontece o transporte de partículas da matriz cimentícia para o meio externo, aumentando a porosidade e absorção e diminuindo a resistência mecânica do concreto.

A NBR 6118 (ABNT, 2014), o define como o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras.

2.3.1.2. Expansão por sulfato

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), acontece pela ação de águas ou solos que contenham sulfatos, originando reação expansiva e prejudicial a pasta de cimento. O ataque por sulfatos de origem interna é uma manifestação patológica bastante agressiva, uma vez que o contaminante já se encontra no interior do concreto. (PEREIRA et al, 2014).

2.3.1.3. Reação álcali-agregado

A reação álcali-agregado é uma reação química do concreto onde os hidróxidos alcalinos derivados sobretudo do cimento e minerais reativos presentes no cimento, formam elementos que ao serem hidratados expandem, causando patologias como fissuração e expansão da estrutura. (HASPARYK, 2005).

2.3.2. Mecanismos de deterioração relativo à armadura

2.3.2.1. Despassivação por carbonatação

Segundo Carmona (2005), a carbonatação é uma reação química entre o cimento hidratado e o CO_2 que provoca a redução do pH da solução intersticial dos poros do concreto quando alcançam a armadura da estrutura.

Ao atingir a armadura, dependendo das condições de umidade ambiente pode promover séria corrosão com aparecimento de manchas, fissuras, destacamentos de pedaços de concreto e até perda da seção resistente e da aderência, promovendo o colapso da estrutura. (HELENE, 2003).

2.3.2.2. Despassivação por ação de cloretos

Segundo Helene (2003), a despassivação por elevado teor de cloreto acontece pela penetração através de propagação, impregnação ou absorção capilar de água com níveis cloreto elevados. O íon cloreto é um agente presente principalmente em zonas industriais e litorâneas, sendo capaz de despassivar a armadura e provocar corrosão, geralmente em pontos específicos, podendo levar a uma redução expressiva da seção transversal de aço das barras usadas no concreto armado. (ANDRADE; DAL MOLIN, 2003).

2.3.2.3. Agressividade do meio ambiente

É fundamental relacionar a estrutura de concreto ao meio ambiente, mas é apropriado que se faça uma separação entre a resistência do concreto e a da armadura, e seus respectivos agentes nocivos, pois seus fatores deterioradores são distintos, e quaisquer que falhem podem levar a dano da estrutura como um todo. (HELENE; ANDRADE, 2011).

Helene (2003) cita em sua pesquisa que a resistência e durabilidade do concreto em meios agressivos é influenciada pelo tipo e consumo de cimento, adições e relação água/cimento, ainda sendo influenciado pelo tipo de agregado utilizado, ou seja, a resistência da estrutura no meio ambiente está ligada não somente a qualidade do concreto, mas a concepção acertada do projeto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Dosagem do concreto

O traço utilizado foi medido em saco de cimento de 50kg, e os agregados e água em padiolas cilíndricas, sendo 1 saco de cimento para 5 padiolas de areia e 4 de brita. Sabendo que o volume de uma padiola utilizada é 28,5 litros e um saco de cimento tem aproximadamente 36 litros, o traço pode ser descrito como 1:3,9:3,1. Não foram utilizados aditivos no concreto.

O cimento utilizado foi o Cimento Portland IV-32 RS marca Votoran, a brita basáltica utilizada foi a de número 01 fornecida pela Pedreira Morro Alto, e a areia grossa foi fornecida pela Jazida Gomes.

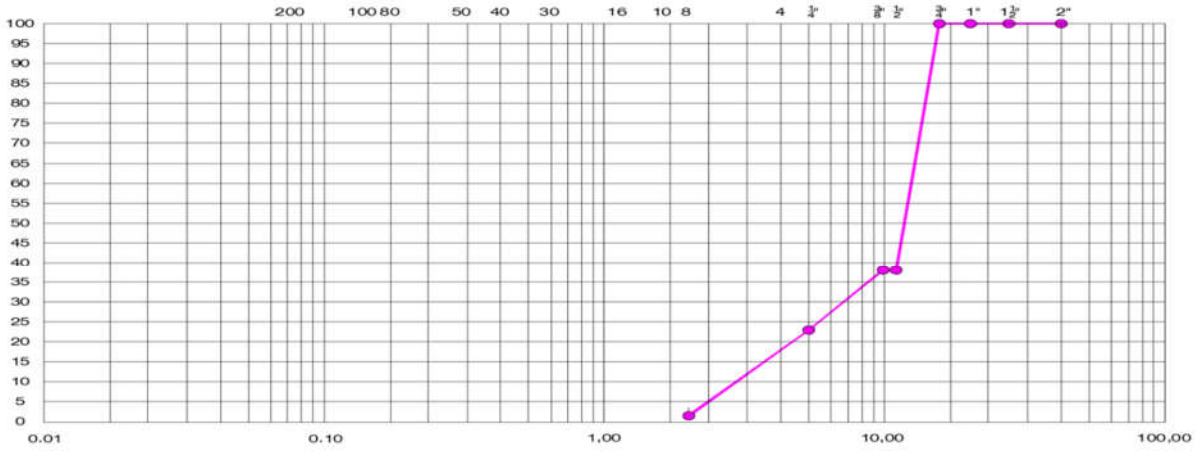
O laudo técnico da análise do cimento utilizado, com os devidos ensaios mecânicos, análise química e ensaios físicos são fornecidos pelo fabricante e apresentados na Figura 2. A Figura 3 apresenta a curva granulométrica da brita utilizada, e a Figura 4 a análise da areia grossa utilizada.

Figura 2 – Laudo técnico cimento CP IV-32 RS

Ensaios	Químicos					Físicos e mecânicos									
	Teores (%)					Finura(%)		Blaine	Água de	Tempo Pega		Expansib. a	Resist.à Compressão (MPa)		
	PF	MgO	SO3	Al2O3	RI	#200	#325	(cm²/g)	consist.(%)	Início (min)	Fim (min)	quente (mm)	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Limites de Norma	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	N/A	N/A	≤ 8,0	N/A	N/A	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 5,0	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0 ; ≤ 49,0
01/12/2021															
25/12/2021	2,7	5,8	1,9	9,9	38,4	0,9	3,4	5230	34,8	300	365	0,0	20,1	27,7	39,4
26/12/2021															
27/12/2021															
28/12/2021	2,6	5,9	1,8	10,1	38,5	0,6	2,9	5040	35,4	300	360	0,0	21,7	29,4	41,5
29/12/2021															
30/12/2021	2,7	6,1	2,0	9,4	39,0	0,3	2,2	5590	35,4	285	345	0,0	19,8	27,9	38,5
31/12/2021	2,8	6,3	1,9	9,4	37,8	0,5	3,1	5360	36,0	290	350	0,0	20,1	28,3	39,0
Média	2,8	5,3	1,9	9,8	37,9	0,6	3,0	4965	34,2	288,6	361,1	0,0	20,4	27,3	39,8
Desvio Padrão	0,24	0,55	0,15	0,24	0,84	0,16	0,42	427	1,58	10,99	19,92	0,00	0,82	1,72	0,99
Mínimo	2,4	4,6	1,7	9,4	36,5	0,3	2,2	4210	31,8	265,0	330,0	0,0	18,5	24,2	38,3
Máximo	3,2	6,3	2,3	10,2	39,1	0,9	3,6	5590	36,0	300,0	405,0	0,0	21,7	29,5	41,5

Fonte: Adaptado de Votorantim cimentos (2021).

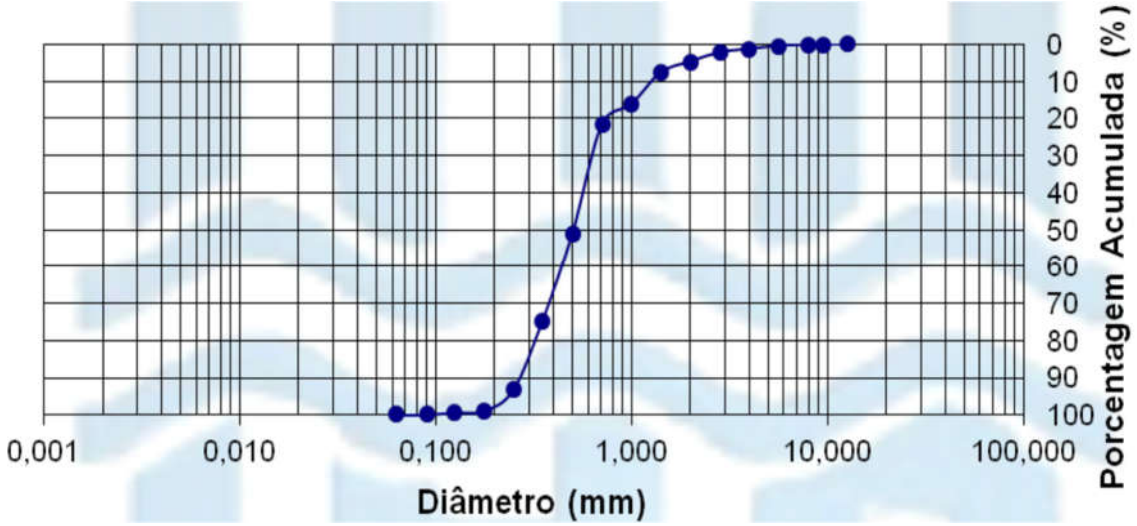
Figura 3 – Curva granulométrica brita basáltica 1



PENEIRAS	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	¼"	4	8	10	MÓDULO DE FINURA: 6,75
RETIDO (%)	0	0	0	0	38	38	23	0	1	-	DIM. MÁXIMA CARACTERISTICA: 9,5MM

Fonte: Adaptado de Cientec (2015).

Figura 4 – Curva granulométrica da areia grossa



Fonte: Adaptado de Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH – Laboratório de Sedimentos (2017).

A Tabela 1 mostra o traço de dosagem do concreto utilizado para o estudo.

Tabela 1 – Traço do concreto utilizado no estudo

MATERIAL	Traço em volume		Traço em massa			Traço em Lata	
	Para 1 Betonada	Para 1 m^3	Para 1 Betonada	Para 1 Betonada massa corrigida	Para 1 m^3 massa corrigida	Para 1 Betonada	Para 1 m^3
Cimento	50,00	250,00	50,00	50,00	250,00	1 saco	5 sacos
Areia	142,50	712,50	184,00	179,48	897,38	5,00	25,00
Brita	114,00	570,00	153,90	153,90	769,50	4,00	20,00
Água	32,74	163,70	32,74	37,26	186,30	1,15	5,75
Relação A/C	0,74		0,74			0,74	

*Obs: medidas do cimento em kg, dos agregados e água em litros. Lata = 28,50 litros

Fonte: os autores.

3.2. Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados 24 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 100mm, com procedimento conforme especificações da NBR 5738 (ABNT, 2015) com adensamento manual, divididos em três lotes de oito corpos de prova (CP's) cada, para realização de ensaios em duas idades (28 e 56 dias), sendo:

- 02 CP's para determinação de resistência à compressão, frente de carbonatação e frente de íons cloreto (para cada idade 28 e 56 dias);
- 03 CP's para obtenção do módulo de elasticidade (para 28 dias);
- 03 CP's para determinação da absorção de água por sucção capilar.

Com o objetivo de expor o concreto as condições do ambiente, a cura foi realizada em ambiente externo, sujeitando os exemplares as intempéries do clima local.

3.3. Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos, fazendo o rompimento dos corpos de prova nas idades de 28 e 56 dias, conforme orientações da NBR 5739 (ABNT, 2018).

3.4. Ensaio de módulo de elasticidade

Os ensaios de módulo de elasticidade foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos, fazendo o rompimento dos corpos de prova na idade de 28 dias, conforme orientações da NBR 8522 (ABNT, 2021).

3.5. Ensaio de frente de carbonatação

Após realizado o ensaio à compressão, foi feito o rompimento na diametral de um dos corpos de prova para o ensaio de frente de carbonatação. Para obtenção dos resultados, com auxílio de um borrifador spray, aspergiu-se fenolftaleína a 1% na face interna do corpo de prova, fazendo com que as áreas carbonatadas fossem distinguidas das áreas não carbonatada através da alteração da

coloração, sendo que fenolftaleína em pH maior que 9 apresenta a cor magenta e nas superfícies com menor pH fique incolor.

3.6. Ensaio de frente de íons cloretos

Após realizado o ensaio à compressão, foi feito o rompimento na diametral de um dos corpos de prova para o ensaio de frente de íons cloretos. Para obtenção dos resultados, com auxílio de um borrifador spray, aspergiu-se nitrato de prata na concentração de 0.1mol na face interna do corpo de prova, de modo a possibilitar a identificação das faces com presença de cloretos.

3.7. Ensaio de absorção de água por capilaridade

Os ensaios de absorção de água por capilaridade foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos. Foi realizado ensaio de absorção de água por sucção capilar, em três corpos de prova. Foram realizadas pesagens com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h. O ensaio seguiu as diretrizes da NBR 9779 (ABNT, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Resistência à compressão

A Tabela 2 indica os resultados obtidos nos ensaios de laboratório para resistência à compressão para 28 e 56 dias dos corpos de provas moldados.

Tabela 2 – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 e 56 dias

Idade	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
28 dias	12,27	13,33	12,80	0,75
56 dias	16,40	16,38	16,39	0,01

Fonte: os autores.

Analisando os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão, podemos notar que o concreto do estudo apresentou desempenho inferior ao requerido pela NBR 12655 (ABNT, 2015), que para classe de agressividade II é de 25MPa, não alcançando estes índices nas idades analisadas.

Fernandes et al (2016), diz que é sabido que a evolução da resistência à compressão do concreto varia ao longo do tempo e em função do tipo de cimento utilizado na mistura, bem como com as condições e temperatura da cura, sendo possível estimar o aumento da resistência à compressão através das Equações (1) e (2).

$$f_{cm}(t) = \beta_1(t) x f_{cm} \quad (1)$$

$$\beta_1(t) = exp\left\{s\left[1 - \sqrt{\left(\frac{28}{t}\right)}\right]\right\} \quad (2)$$

Onde:
$f_{cm}(t)$ = resistência à compressão aos t dias;
f_{cm} = resistência à compressão aos 28 dias (utilizado 13,3Mpa);
$\beta_1(t)$ = coeficiente em função do tempo (t);

t = idade na qual deseja-se obter a resistência à compressão;
s = coeficiente que depende do tipo de cimento, sendo s=0,38 para cimentos de endurecimento lento (caso do CPIV RS, utilizado neste estudo).

O resultado de t para essa equação tende ao infinito, desta forma, podemos admitir que o concreto analisado não alcançará a resistência de 25MPa ao longo de sua vida útil.

4.2. Módulo de elasticidade

São apresentados na Tabela 3 os resultados obtidos nos ensaios de módulo de elasticidade em 28 dias para os corpos de prova do estudo.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de módulo de elasticidade

Compressão				Módulo de Elasticidade			
CP	ME1	ME2	ME3	CP	ME1	ME2	ME3
ID	B2-1	B2-2	B2-3	ID	B2-1	B2-2	B2-3
Altura (H), em mm	198,6	198,5	198	σ 0,5 Mpa	0,5	0,5	0,5
Diâmetro 1 (D1), em mm	100	100,3	100,2	ε 0,5 Mpa	0,00002	0,00002	0,00002
Diâmetro 2 (D2), em mm	101,5	100,1	100,3	σ 30% da TRP	3,8415	3,8415	3,8415
D médio (D), em mm	100,8	100,2	100,3	ε 30% da TRP	0,00021	0,00021	0,00019
Relação h/d	1,97	1,98	1,97	**Módulo de Elasticidade (GPa)**	**17,59**	**17,59**	**19,66**
Fator de correção (Fc)	1	1	1				

Fonte: os autores.

Desta forma, o módulo de elasticidade médio para os corpos de prova é de 18,28 GPa. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) o módulo de elasticidade inicial é estimado pela Equação (3).

$$E_{ci} = \alpha_E \, x \, 5600 \, x \, f_{ck}{}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Onde:
E_{ci} = Módulo de elasticidade tangente inicial em MPa.
α_E = 1,2 para basalto e diabásio.
f_{ck} = Resistência à compressão em MPa.

Sendo assim:

$$E_{ci} = 1{,}2 \, x \, 5600 \, x \, 13{,}3^{\frac{1}{2}} \simeq 24{,}50 \, GPa$$

Comparando os módulos de elasticidade obtidos através dos ensaios com os valores dados pela NBR 6118 (ABNT, 2014), observa-se que o concreto analisado obteve resultados menores do que o estimado na norma, ou seja, o exemplar apresenta maior deformabilidade que o previsto.

4.3. Frente de carbonatação

As medições para obtenção do resultado da carbonatação foram obtidas seccionando o mesmo pelo rompimento na diametral, realizando 5 medições ao longo das bordas carbonatadas, a cada 4 cm da outra. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para as profundidades de carbonatação.

Tabela 4 – Medições de frente de carbonatação (mm)

28 dias	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05
	4,8	6,2	5,4	6,5	5,0
	Maior Medida	6,5			
	Menor Medida	4,8			
	Medida Média	5,6			
56 dias	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05
	6,3	5,2	5,7	7,1	7,2
	Maior Medida	7,2			
	Menor Medida	5,2			
	Medida Média	6,3			

Fonte: os autores.

Analisando os resultados obtidos, observa-se aumento na carbonatação chegando a ser medido 6,5 mm aos 28 dias e 7,2 mm aos 56 dias. Para uma classe de agressividade II, o recobrimento especificado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) é de 25 mm para lajes e 30 mm para pilares, vigas e elementos em contato com o solo. Ou seja, em um período de 56 dias de estudo, a frente de carbonatação foi capaz de alcançar 28,8% e 24%, respectivamente, dos recobrimentos destes elementos estruturais, mostrando que a porosidade do concreto poderá ocasionar danos patológicos de despassivação da armadura ao longo dos anos.

4.4. Frente de íons cloretos

As medições para obtenção do resultado da frente de íons cloretos foram obtidas seccionando o mesmo pelo rompimento na diametral e realizando 5 medições ao longo das bordas carbonatadas, a cada aproximadamente 4 cm medição da outra. A Tabela 5 mostra os resultados obtidos para as profundidades de penetração de cloretos.

Tabela 5 – Medições de frente de íons cloreto (mm)

28 dias	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05
	4,9	5,2	6,2	5,9	5,3
	Maior Medida	6,2			
	Menor Medida	4,9			
	Medida Média	5,5			
56 dias	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05
	6,5	6,9	7,00	6,4	7,8
	Maior Medida	7,8			
	Menor Medida	6,5			
	Medida Média	6,9			

Fonte: os autores.

Percebe-se que assim como o acontecido com o ensaio de carbonatação, os resultados dos ensaios de íons cloretos apresentam medições com rápido aumento nos primeiros 28 dias, e uma redução na aceleração da frente de íons cloretos aos 56 dias. As máximas medidas aos 28 dias foram de 6, 2mm e aos 56 dias de 7,8 mm.

4.5. Absorção de água por sucção capilar

A Tabela 6 mostra os resultados das medições do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Tabela 6 – Resultados para absorção de água por capilaridade

	Identificação	Peso seco (g)	3h	6h	24h	48h	72h	Absorção (g/cm²)
28 dias	CP I	3305	3363	3382	3443	3476	3489	2,34
	CP II	3364	3420	3443	3502	3534	3545	2,30
	CP III	3371	3423	3440	3502	3530	3540	2,15
	Absorção média aos 28 dias:							2,27
	Identificação	Peso seco (g)	3h	6h	24h	48h	72h	Absorção (g/cm²)
56 dias	CP I	3345	3384	3401	3432	3457	3479	1,70
	CP II	3314	3354	3373	3406	3434	3457	1,82
	CP III	3322	3362	3382	3416	3444	3467	1,84
	Absorção média aos 56 dias:							1,78

Fonte: os autores.

Os resultados para os ensaios que os elevados índices de absorção de água estão relacionados ao fraco traço do concreto e a uma alta relação água/cimento, o que proporciona um alto número de vazios, os quais Helene (1997) cita como o maior meio de entrada de agentes nocivos no concreto. Podemos notar que na idade de 56 dias a taxa de absorção se mostrou ligeiramente menor as encontradas aos 28 dias, podendo assim ter relação com a colmatação dos poros e pelo ganho de resistência do concreto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios mostraram que os altos valores da relação água/cimento têm grande influência em características do concreto como resistência à compressão e modulo de elasticidade, fazendo com que estes indicadores sejam consideravelmente reduzidos. Como um concreto com baixo teor de cimento e, consequentemente, alta porosidade, tem pior desempenho no bloqueio da ascensão por capilaridade permitindo que a água haja como vetor de agentes nocivos, verifica-se maiores ações de íons cloreto e avanço da frente de carbonatação, mesmo nas idades menores.

Fica evidente que para qualquer tipo de obra deve ser estudado um traço adequado para o concreto, levando em consideração os materiais disponíveis, a agressividade do ambiente, como será feita a cura e a exposição desta estrutura ao longo da sua vida útil. Esse estudo prévio, junto com o acompanhamento tecnológico incide em ganho de durabilidade para a estrutura de concreto armado. O controle e acompanhamento tecnológico em obras de qualquer porte é fundamental para o desempenho ao longo do tempo e durabilidade das estruturas de concreto.

Diante das conclusões deste trabalho, abre-se espaço para algumas pesquisas futuras com o tema relacionado, como: realização de estudos com diferentes traços e relações água cimento, e a inclusão de aditivos de fácil acesso comercial para que a utilização possa continuar sendo realizada em obras de pequeno porte. Ainda, realização de ensaios com idades mais avançadas nos concretos de baixa resistência feitos em obra para identificação de maiores frentes de carbonatação e de íons cloreto, para que possa ter uma melhor previsão de como este tipo de concreto se comportará durante sua vida útil.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. **Concreto: notas de aula da disciplina**. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ANDRADE, J. J. de O.; DAL MOLIN, D. C. C. Considerações quanto aos modelos empregados para a previsão da vida útil das estruturas de concreto armado: despassivação por íons cloreto. **Revista Engenharia Civil**, v. 18, p. 31-44, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

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 - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 8522: Concreto - Determinação dos Módulos Estáticos de Elasticidade e de Deformação e da Curva Tensão - Deformação**. Rio de Janeiro, 2021.

CARMONA, T. G. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação**. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlo, SP: EDUFSCAR, 2014.

FERNANDES, B. et al. **Análise de concretos com não conformidades: efeitos de longa duração.** Revista ALCONPAT, v. 6, n. 3, p. 261-270, 2016.

FUNDAÇÃO DE CIENCIA E TECNOLOGIA (CIENTEC). **Relatório de ensaio de granulometria – Determinação da composição granulométrica**. Cliente: Pedreira Morro Alto LTDA. 2015.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. 2005. 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal de do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

HELENE, P. R. L. **Vida útil das estruturas de concreto**. *In:* IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções. **[Anais...].** Porto Alegre, RS, 1997.

HELENE, P. R. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Red Rehabilitar, 2003.

HELENE, P. R. L.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: G. C. ISAIA (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, v. 2, 2010, p. 905-944.

HELENE, P. R. L.; TUTIKIAN, B. F. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: G. C. ISAIA (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, v. 2, 2011, p. 439-471.

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH – LABORATÓRIO DE SEDIMENTOS. **Laudo de granulometria.** Cliente: Marilene Pressi de Souza e Cia Ltda – Epp. 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MONTIJA, F. C. **Aspectos da variabilidade experimental do ensaio de módulo de deformação do concreto**. 2007. 261 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2007.

NEUMANN JUNIOR, C. **Avaliação do processo de lixiviação em concreto massa - o caso de Itaipu Binacional**. 2019. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, PR, 2019.

PACHECO, J. et al. **Considerações sobre o módulo de elasticidade do concreto.** *In:* 56° Congresso Brasileiro do Concreto. **[Anais...].** Natal, RN, RS, 2014.

PEREIRA, E. et al. **Ataque interno por sulfatos em estruturas de concreto contaminadas por pirita: Uma revisão da literatura**. *In:* 1º Congresso Brasileiro de Patologias das Construções. Foz do Iguaçu, Paraná, 2014

SANTIAGO, W. C. **Estudo da (Não-)Conformidade de Concretos Produzidos no Brasil e sua Influência na Confiabilidade Estrutural**. 2011. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2011.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Boletim de Ensaios de Comento.** CPIV-32-RS Todas as Obras, atualizado em 04/02/2022. Unidade de Pinheiro Machado. 2022.