



Avaliação de Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos Produzidos com a Utilização de Diferentes Impermeabilizantes

Francine S. Cadaval¹, Alessandra B. Tessaro¹, Flávia C. Mattos¹, Jorge O. Nunes¹,
Jorge L. S. Bandeira¹, Júlio C. P. Oliveira¹, Luciano L. Silva¹

¹Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Km 8 Avenida Itália Carreiros, Rio Grande - RS, 96203-900

fscadaval@gmail.com, alessandrabuss@gmail.com, fcmattos@furg.br,
jorgeoleinik@gmail.com, Jorge-band@hotmail.com, julhao5@hotmail.com,
luciano1s.eng@gmail.com

Resumo. O objetivo do trabalho foi estudar o efeito de hidrofugantes e cristalizantes aplicados ao concreto, através da realização dos ensaios de resistência à compressão axial (NBR 16.889, 2020), absorção de água por imersão (NBR 9778, 2009) e absorção de água por capilaridade (NBR 9779, 2012). Os resultados sugerem a interferência do aditivo impermeabilizante nas propriedades mecânicas do concreto, causando queda de 37% da resistência de concretos produzidos com aditivo hidrofugante e 28% para concretos com adição de cristalizantes. No que diz respeito à estanqueidade, os resultados indicam pouca eficácia dos aditivos impermeabilizantes, em que se obteve 7,83% da redução da absorção com o uso de aditivos cristalizantes e, até mesmo, aumento de 1,44% da absorção com o uso de aditivos hidrofugantes.

Palavras-chave: concreto; concreto impermeável; impermeabilizante.

Abstract. The objective of this work was to study the effect of hydrophobic and crystallizing agents applied to concrete, by carrying out axial compression resistance tests (NBR 16.889, 2020), water absorption by immersion (NBR 9778, 2009) and water absorption by capillarity (NBR 9779, 2012). The results suggest the interference of the waterproofing additive in the mechanical properties of the concrete, causing a 37% drop in the resistance of concretes produced with water repellent additive and 28% for concretes with the addition of crystallizers. With regard to watertightness, the results indicate little effectiveness of waterproofing additives, in which a 7.83% reduction in absorption was obtained with the use of crystallizing additives and even a 1.44% increase in absorption with the use of water repellent additives.

Keywords: concrete; waterproof concrete; waterproofing.

1. Introdução

A durabilidade de uma estrutura de concreto está relacionada a três fatores principais: qualidade de seus materiais constituintes, execução da estrutura e ação do meio no qual está inserida (DYER, 2015).

O mercado vem desenvolvendo-se expressivamente no que diz respeito a novas tecnologias que colaboram com o aumento da durabilidade das estruturas de concreto, como por exemplo, o uso de aditivos capazes de produzir concretos mais relevantes (PETRONILHO E SÍGOLO, 2015). Porém, ainda assim, diversas estruturas sofrem



deteriorações precoces, que culminam em desconforto ao usuário, custos e, em casos mais graves, risco à segurança. Em estudo realizado no Brasil, Meira e Padaratz (2002) constataram que os dispêndios com manutenções corretivas, em uma estrutura em estado avançado de deterioração, podem somar um montante de 40% dos custos de execução da estrutura original.

Segundo Santos (2017), os danos que comprometem a durabilidade e a vida útil das edificações são causados, sobretudo, pela deterioração dos materiais devido a agentes agressivos, os quais são parte integrante do ambiente a que a estrutura se insere ou dos próprios materiais que a compõem. Ainda, de acordo com John (2000), a avaliação da durabilidade do concreto relaciona-se de forma direta com o desempenho esperado do produto, de forma que alguns fatores como, as propriedades físicas e químicas dos materiais, são de suma importância para que haja compreensão completa sobre a durabilidade do concreto. Portanto, conhecer as características dos materiais que compõem o concreto, bem como seu comportamento, possibilita mitigar os danos a longo prazo, provenientes da interação inevitável entre estrutura e agentes agressivos externos.

As formas de deterioração das estruturas são diversas e provêm de origens distintas, contudo, a grande maioria ocorre devido aos mecanismos de transporte de fluidos no concreto. Entender, portanto, como funcionam esses processos auxilia no prolongamento da vida útil. Segundo Mehta e Monteiro (2008), dentre os fluidos que podem afetar a durabilidade do concreto, a água é o principal, sendo que a taxa de deterioração é intensificada pela facilidade com a qual penetra no material.

A água é um grande agente causador de manifestações patológicas nas obras civis, podendo comprometer a durabilidade, o conforto e a segurança das edificações. A fim de solucionar esse problema, investe-se em sistemas e materiais capazes de tornar impermeáveis os elementos suscetíveis à penetração da água.

O concreto, particularmente, é bastante suscetível à ação de agentes deletérios, devido à sua porosidade, de modo que é de suma importância para a vida útil da estrutura, que se reduza sua permeabilidade, a fim de evitar que a penetração de vetores deteriorantes ocorra.

A NBR 9575 (ABNT, 2010) define a impermeabilização como o conjunto de operações e técnicas construtivas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, umidade e vapores. Por sua vez, a NBR 15575 (ABNT, 2013), que versa sobre os requisitos de desempenho mínimo a serem atendidos pelas edificações, afirma que devem ser previstos no projeto detalhes que assegurem a estanqueidade de partes do edifício que tenham a possibilidade de ficar em contato com a água gerada na ocupação ou manutenção do imóvel. Desse modo, impermeabilizar culmina em um serviço especializado e minucioso, de modo que quaisquer falhas, ainda que mínimas, podem comprometer a eficácia de todo o sistema.

Pode-se reduzir a permeabilidade do concreto através do uso de produtos impermeabilizantes de função hidrofugante e, também, de efeito cristalizante. Esse trabalho tem por objetivo, portanto, ampliar o conhecimento acerca do uso de impermeabilizantes como aditivos minimizadores da permeabilidade em concretos, através da análise de seus mecanismos de transporte.

2. Metodologia

Os estudos e ensaios de laboratório foram realizados com a finalidade de avaliar a contribuição de dois aditivos impermeabilizantes de bases diferentes – cristalizante e hidrofugante – para alterações de algumas propriedades do concreto, sendo este produzido com duas relações água/cimento diferentes.

O concreto foi produzido com areia fina, areia média e brita 1. A análise da composição granulométrica dos agregados foi realizada de acordo com a NBR 248/2003, conforme Figura 1.

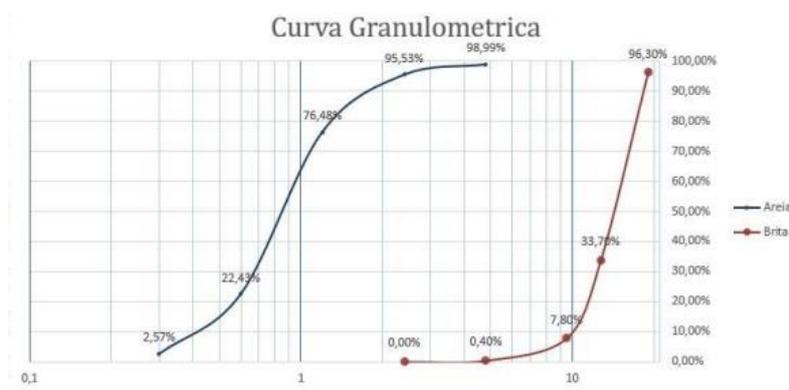


Figura 1. Distribuição granulométrica da areia média e da brita 1

A massa específica da areia foi determinada através do método normatizado pela NBR 16.916 (2021). Após realizar o ensaio com duas repetições, obteve-se o valor de 2,37g/cm³ para areia média.

O concreto foi produzido com cimento CP V – ARI. A caracterização deste material foi realizada utilizando as técnicas de fluorescência de raios X e granulometria a laser.

A caracterização química do cimento foi feita através da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X (EDX), com equipamento EDX-720. Na Tabela 1, é apresentada a composição em óxidos do cimento utilizado.

Tabela 1. Concentração das substâncias em uma amostra de cimento

Compostos	Teor (%)
CaO	78,03
SiO ₂	11,01
Fe ₂ O ₃	5,93
K ₂ O	2,03
SO ₂	1,66
Outros	3,43

A análise granulométrica do cimento foi realizada através de granulometria por difração a laser, com o uso do equipamento CILAS 10641. A Figura 2 apresenta a

distribuição granulométrica do cimento utilizado. Ressalta-se que o diâmetro médio encontrado para essa amostra de cimento Portland CPV é de 11,30 μ m

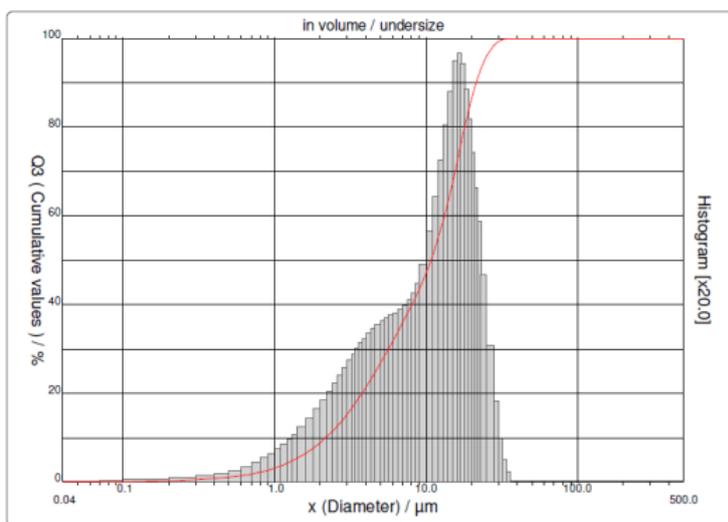


Figura 2. Histograma de distribuição granulométrica do cimento

O aditivo hidrofugante aqui chamado de Aditivo H é um impermeabilizante para concretos e argamassas, que age através da hidrofugação do sistema capilar e permite as trocas gasosas à nível microestrutural, mantendo os ambientes salubres. Suas propriedades são apresentadas na Tabela 2. O consumo varia de acordo com o campo de aplicação, adotando-se 4% em relação à massa de cimento para concretos em geral, conforme fabricante.

Tabela 2. Propriedades do Aditivo H

Propriedades	Descrição
Densidade	1,05 g/cm ³
Base Química	Silicatos
pH	Emulsão pastosa branca
Cor/Aparência	12 a 13
Compostos Orgânicos Voláteis (VOC)	0,02 g/L

O aditivo cristalizante, aqui chamado de Aditivo C consiste em um produto impermeabilizante por cristalização, que interage com a estrutura dos poros capilares do concreto, promovendo um sistema de impermeabilização que permanece como parte da matriz de concreto. As informações técnicas do produto são apresentadas na Tabela 3. O consumo deste aditivo está diretamente relacionado ao consumo do cimento na produção do concreto, e representa 1% do peso do cimento no traço do concreto, conforme informações do fabricante.

Tabela 3. Propriedades do Aditivo C

Propriedades	Descrição
Base química	Cimento, composto patenteado e outros
Cor/Aparência	Pó cinza

A influência do uso de aditivos impermeabilizantes foi avaliada em concretos produzidos para seis traços diferentes – dois traços de referência com fatores água/cimento de 0,45 e 0,55 e um traço com aditivo hidrofugante e um traço com aditivo cristalizante para cada relação água/cimento proposta, conforme ilustra a Tabela 4.

Tabela 4. Composição dos traços de concreto

Traço	a/c	Água (kg)	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia média (kg)	Brita 1 (kg)	Aditivo Cristalizante (kg)	Aditivo Hidrofugante (kg)
R45	0,45	6	13,328	4,256	17,06	32	-	-
C45	0,45	6	13,328	4,256	17,06	32	0,133	-
H45	0,45	6	13,328	4,256	17,06	32	-	0,53
R55	0,55	6,66	13,328	4,256	17,06	32	-	-
C55	0,55	6,66	13,328	4,256	17,06	32	0,133	-
H55	0,55	6,66	13,328	4,256	17,06	32	-	0,53

Conforme prescrições da NBR 5738 (2015), foram moldados 16 corpos de prova para cada traço, de dimensões 10x20cm, totalizando 96 exemplares. Os corpos de prova foram mantidos em cura submersa até a data de realização dos ensaios propostos, a fim de retardar a evaporação da água utilizada na preparação do concreto, possibilitando a completa hidratação do cimento.

A resistência à compressão axial dos concretos foi avaliada como maneira de caracterizar o concreto produzido, por se tratar de uma propriedade mecânica comumente tomada como indicador geral das características do material. O procedimento foi realizado de acordo com o prescrito pela NBR 5739 (2018), realizando-se a ruptura nas idades de 7 e 28 dias.

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado tomando-se como referência a NBR 9778 (2009), à idade de 28 dias. O procedimento para avaliar a absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a NBR 9779 (2012), aos 28 dias de cura do concreto.

3. Resultados e Discussões

O ensaio de slump test foi realizado conforme prescrições da NBR 16.889 (2020) e foram obtidos os seguintes valores, em milímetros, mencionados na Figura 3.

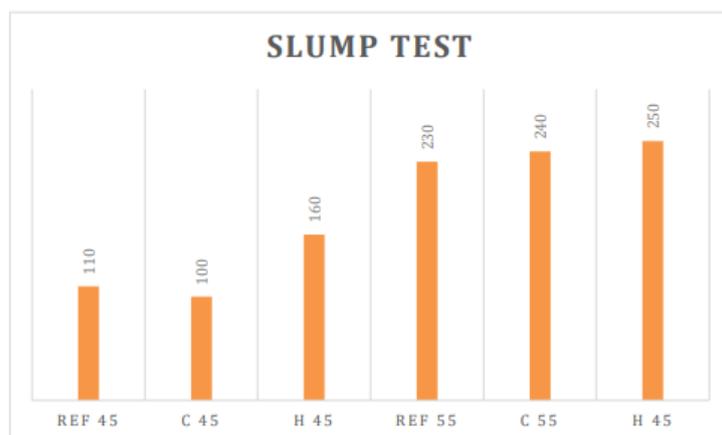


Figura 3. Gráfico dos valores de slump test

Tomando-se a classificação proposta em 1992, pelo Engenheiro Civil e Pesquisador, Peter Bartos (Fresh Concrete: Properties and Tests), tem-se concretos de trabalhabilidade baixa, ainda que de aparência fluida. Observa-se que há uma diferença significativa nos valores de slump do traço com fator água cimento 0,45, se comparado ao traço com fator água cimento de 0,55, de modo que este último apresenta maior abatimento e menor resistência à compressão.

Os dados obtidos, a partir da ruptura, para os concretos de referência e para os concretos produzidos com aditivos impermeabilizantes, são apresentados na Figura 4.

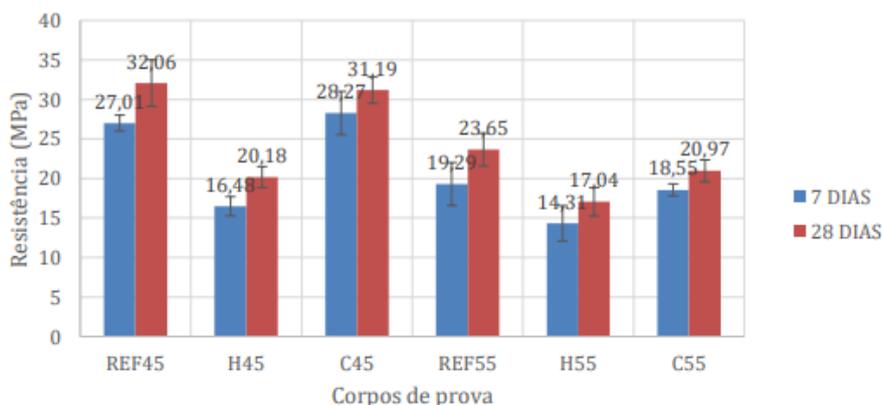


Figura 4. Gráfico de resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias

Nota-se que, de modo geral, a resistência à compressão dos concretos produzidos com fator água/cimento igual a 0,45 obteve maior resistência, em comparação àqueles produzidos com fator água/cimento igual a 0,55. Tal fato está relacionado à maior porosidade intrínseca ao aumento do teor de água empregado na mistura. Neville (2013) informa que, em termos práticos, considera-se que a resistência do concreto depende, essencialmente, de dois fatores fundamentais: da relação a/c e do grau de adensamento da pasta que, por sua vez, define o teor de vazios no concreto endurecido. Ao passo que o aditivo cristalizante gera queda de resistência pouco significativa ao concreto, o uso do impermeabilizante de base hidrofugante gera perda bastante expressiva na resistência, se comparado ao traço de referência, em ambas as relações água/cimento. Verifica-se, também, que o ganho de resistência aos 28 dias é menor para os concretos produzidos

com aditivo hidrofugante, em comparação aos demais traços, uma vez que há uma queda de 37% na resistência se comparado ao traço de referência REF 45 e de 28% se comparada ao traço de referência REF 55.

Embora dados de pesquisas corroborem este declínio na resistência à compressão em presença de aditivo impermeabilizante, a bibliografia não apresenta, ainda, maiores explicações. Durante este estudo, percebeu-se que, o emprego de aditivos impermeabilizantes, em especial, hidrofugantes, produzem um concreto mais fluido, de slump de até 250mm, o que pode ser um fator colaborativo à redução da resistência. Ao resultar em um slump maior, se comparado aos demais traços de mesma proporção, pode haver indicativo de que o aditivo impermeabilizante interfere na relação a/c, aumentando a fluidez do concreto e, por consequência, diminuindo sua resistência.

No que diz respeito à absorção por imersão, observou-se que o fenômeno ocorre em menor intensidade nos concretos produzidos com relação a/c igual a 0,45, especialmente nas amostras com aditivo cristalizante em sua composição, conforme mostrado na Figura 5.

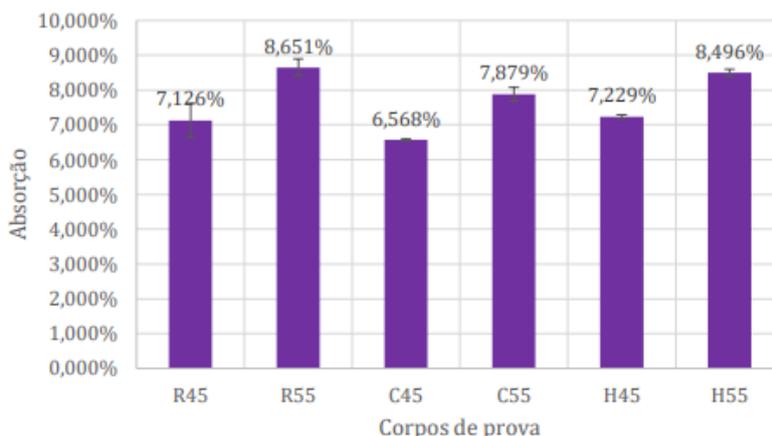


Figura 5. Gráfico de absorção por imersão

Em geral, houve pouca variação de absorção entre as amostras produzidas com o mesmo traço. Ainda assim, o aditivo cristalizante apresentou redução de 7,83% na absorção do traço com relação a/c igual a 0,45, ao passo que o aditivo hidrofugante promoveu o aumento da absorção em 1,44%. A ação do aditivo hidrofugante pode, em um primeiro momento, não oferecer resistência significativa a entrada de água ou, até mesmo, aumentar a absorção, por não ser um impermeabilizante formador de película e por seu efeito ser tornar-se mais explícito em concretos com idades mais avançadas de cura, conforme explica Helene et al. (1999) ao indicar o uso de impregnação hidrófoba, após a idade de, no mínimo, 28 dias.

Para o traço com fator a/c igual a 0,55, houve decréscimo na absorção, promovido por ambos impermeabilizantes – redução de 8,92%, cristalizante e 1,80% pelo hidrofugante. Por ser um concreto menos compacto, ou seja, com mais capilares ou com capilares mais interconectados, a estanqueidade prometida pelos aditivos impermeabilizantes fica mais evidente.

Quanto ao índice de vazios, os concretos produzidos com o aditivo hidrofugante, para ambas as relações água/cimento propostas, apresentaram valor menor, em torno de 4%, resultando em um concreto de maior compactidade, tal exposto na Figura 6.

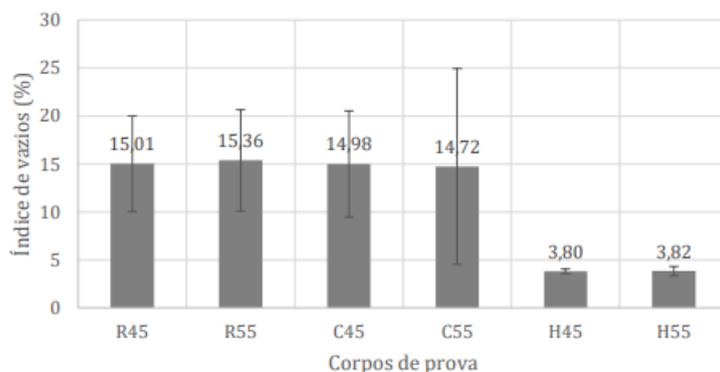


Figura 6. Gráfico do índice de vazios

Houve pouca variação no índice de vazios entre o concreto de referência e o concreto produzido com cristalizante, para ambas as relações água/cimento. Houve acréscimo de apenas 0,002% no índice de vazios para o traço C45, o que é compreensível, tendo em vista que a própria proporção de água utilizada já infere maior compactidade ao concreto. E acréscimo de 0,04% no índice de vazios para o traço C55. Cabe salientar que, embora os resultados sobre o índice de vazios dos concretos R45, R55, C45 e C55 apresentem elevada variabilidade entre as amostras analisadas, por sua vez, os concretos H45 e H55 apresentam menor dispersão, atingindo grande decréscimo no índice de vazios - 75% menor para ambos os fatores a/c - 0,45 e 0,55.

Ao que tange à resistência à compressão do concreto, a diminuição no índice de vazios proporcionada pelo aditivo hidrofugante não gera acréscimo. Embora a bibliografia informe que estas são relações inversamente proporcionais, parte-se do pressuposto que os vazios não existam, para que haja aumento significativo na resistência do concreto. Contudo, o emprego de aditivo impermeabilizante na pasta não inibe a formação de poros, mas sim gera tamponamento dos mesmos, o que pode justificar o incremento pouco significativo na resistência mecânica do concreto, conforme ilustra a Figura 7.

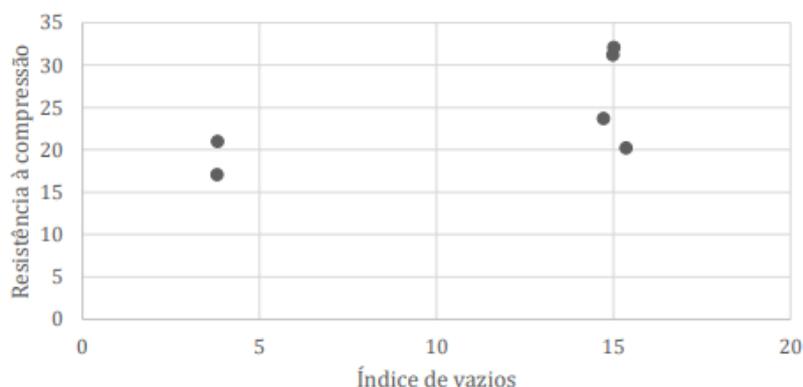


Figura 7. Gráfico que relaciona resistência à compressão e índice de vazios do concreto

A partir dos dados obtidos, comparando-se o peso da amostra seca, com o peso da amostra úmida, chegou-se aos seguintes resultados, expostos na Figura 8.

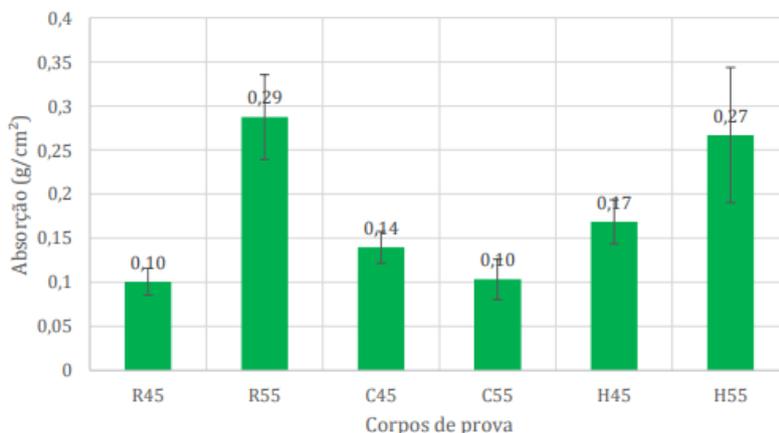


Figura 8. Gráfico de absorção por capilaridade

Observa-se uma diferença expressiva entre os traços com fator a/c diferentes, sem o uso de quaisquer aditivos. O traço de referência R45, por exemplo, teve a menor absorção por capilaridade, o que pode estar relacionado ao fato de ser o concreto produzido com menor relação água/cimento e, portanto, menos poroso. No que tange ao uso dos impermeabilizantes, ressalta-se que, tanto o aditivo cristalizante, quanto o aditivo hidrofugante não cumpriram com sua proposição, que é gerar um concreto estanque. Ainda assim, o concreto produzido com aditivo cristalizante apresentou o menor índice de absorção, para ambos os traços

Os concretos produzidos com maior fator água/cimento apresentaram índice de absorção por capilaridade mais elevado. Este fato justifica-se através da relação direta entre a porosidade do concreto e o fator a/c, uma vez que, quanto maior o teor de água da mistura, menor será a compactidade da pasta endurecida. Sobre esta proposição, MEHTA E MONTEIRO (2014) afirmam que o aumento da porosidade é uma consequência natural causada pela elevação do fator a/c e que, inclusive, causam o enfraquecimento da matriz, reduzindo a resistência do concreto, conforme abordado no item anterior.

Quanto às amostras que contêm aditivo em sua composição, a eficiência da função impermeabilizante dos mesmos é mais evidente nos traços com fator a/c igual a 0,55. Este fato justifica-se pelo provável aumento nos canais capilares – ocasionados pelo aumento no teor de água da mistura – que representam mais poros e a serem protegidos pela ação do aditivo.

No que diz respeito aos concretos com fator a/c igual a 0,45, embora a absorção capilar tenha sido mais elevada para as pastas aditivadas, a variação é pouco significativa para amostras de mesmo traço. Este fato pode ser consequência de um concreto de maior compactidade, ocasionada pela própria relação a/c, sem interferência de aditivos impermeabilizantes, tal complementa Araújo e Saviatto (2018) ao explanarem que a compactidade e rigidez da estrutura de concreto são consequências da diminuição de vazios os quais, ainda, rezem o fluxo de água que percola para o interior do concreto.

4 Conclusões

Os resultados alcançados para a resistência mecânica do concreto não apresentaram indicações de que o aditivo cristalizante interfira nessa propriedade. Por outro lado, os



concretos produzidos com o aditivo hidrofugante apresentaram menor ganho de resistência aos 28 dias de idade, o que sugere interferência do impermeabilizante nas propriedades mecânicas do concreto. Desse modo, o uso do mesmo talvez não seja indicado para estruturas que receberão esforços imediatamente após a desforma, contrariando a informação fornecida pelo fabricante, que indica a aplicação do produto para elementos estruturais de fundação e estruturas de concreto enterradas, por exemplo.

De modo geral, o efeito da cristalização capilar ofereceu redução na absorção de água por capilaridade. No entanto, a grandeza dos valores obtidos não permite considerar os concretos como totalmente impermeabilizados. O aditivo de base hidrófoba, por sua vez, ofereceu resultados insatisfatórios quanto à absorção capilar, apresentando um índice elevado aos 28 dias de idade do concreto. Isto sugere que, talvez, este tipo de impermeabilizante não seja recomendado para estruturas inseridas em ambiente úmido ou em que o contato com a água será imediato à desforma, como é o caso de piscinas de concreto armado, poços de elevador, reservatórios enterrados, dentre outros. O aditivo cristalizante não demonstrou mudanças significativas na absorção por imersão e no índice de vazios dos concretos ensaiados, de modo que o fator água/cimento apresentou maior influência na redução da absorção dos mesmos, do que o produto impermeabilizante.

Do mesmo modo, o aditivo hidrofugante apresentou resultados na absorção do concreto pouco satisfatórios quanto à estanqueidade, o que sugere que sua eficiência em ambientes onde existe pressão de água é relativamente pequena. Por outro lado, os concretos produzidos com este impermeabilizante tiveram uma expressiva diminuição no índice de vazios. Os resultados obtidos, portanto, indicam que o emprego de aditivos impermeabilizantes deve ser adotado mediante compreensão plena das condições de exposição à água, afim de concluir qual base é mais adequada à situação –cristalizante ou hidrófoba.

Ressalva-se, ainda, que o uso de aditivos hidrofugantes deve ser analisado com cautela, no que diz respeito a concretos para fins estruturais, uma vez que se constatou interferência na resistência mecânica.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). “NBR 15757”: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). “NBR 16889”: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 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 (2010). “NBR 9575”: Impermeabilização – Seleção e Projeto. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). “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 (2012). “NBR 9779”: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro.



- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). “NBR NM 248”: agregados - determinação da composição granulométrica.
- Dyer, T (2015). “Durabilidade do Concreto”. Rio de Janeiro.
- Helene, P. R. L. (1993); “Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado”. São Paulo.
- John, V. M. (2000). “Reciclagem de Resíduos Sólidos na Construção Civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento”. 102 f. São Paulo, 2000. Tese (livre docência) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Mehta, P. K. e Monteiro, P. J. M. (2008). “Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais”. 3ª Edição. São Paulo: Editora IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto.
- Meira, G. R. e Padaratz, I. J. (2002). “Custos de recuperação e prevenção em estruturas de concreto armado: uma análise comparative”. Porto Alegre.
- Neville, A. M. e Brooks, J. J. (2013). “Tecnologia do concreto”, 2ª edição, editora Bookman, Porto Alegre.
- Petronilho, E. e Sígolo, C. (2015). “Durabilidade do Concreto: Princípios fundamentais para projetar e executar estruturas duráveis”. São Paulo.
- Santos, M. J. B. O. (2017). “Catalogação de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília”. 2017. xv, 211 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília.