

Desenvolvimento e caracterização de corpos de prova de concreto com aditivo cristalizante para realização de testes em equipamento patenteado para análise de autocicatrização de fissuras.

Dionatan Amaral Rodrigues¹; 0000-0002-5584-9277

Cidirlei de Paula Silva¹; 0009-0009-3662-7677

Pedro Henrique Tavares Geraldino¹; 0009-0002-6281-8986

Cirlene Fourquet Bandeira¹; 0000-0001-7034-2477

Roberto de Oliveira Magnago^{1 2}; 0000-0003-0910-1572

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

2 – UERJ-FAT, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Tecnologia, Resende, RJ
dionatanamaral27@gmail.com (contato principal)

Resumo: A formação de fissuras representa um dos principais fatores de redução da durabilidade do concreto, pois favorece a penetração de agentes agressivos e acelera o processo de deterioração estrutural. Uma alternativa estudada para mitigar esse problema são os aditivos de natureza cristalizante, capazes de induzir a autocicatrização do material por meio da geração de cristais em presença de umidade, promovendo o bloqueio de poros e microfissuras. Neste trabalho, foram preparados corpos de prova de referência (sem aditivo) e com aditivo, avaliados no estado fresco e endurecido, além de submetidos a ensaios de resistência à compressão axial e a testes de permeabilidade contínua em equipamento patenteado, projetado para monitorar o processo de selamento das fissuras ao longo do tempo. Os resultados evidenciaram que o uso do aditivo contribuiu para reduzir a permeabilidade e favorecer o fechamento progressivo das microfissuras, sem comprometer a resistência mecânica. Conclui-se que a adição cristalizante apresenta potencial relevante para aumentar a vida útil das estruturas de concreto, reduzir despesas de manutenção e subsidiar futuras diretrizes normativas no âmbito da engenharia civil.

Palavras-chave: Concreto autocicatrizante; Aditivo Cristalizante; fissuração; durabilidade do concreto; patente de equipamento de ensaio.

INTRODUÇÃO

O concreto consolidou-se como o material mais empregado na construção civil em razão de sua elevada resistência à compressão, facilidade de moldagem em diferentes formas e viabilidade econômica. Contudo, apresenta limitações intrínsecas, como elevada porosidade e propensão à fissuração, condições que favorecem a penetração de agentes agressivos e comprometem a durabilidade estrutural ao longo do tempo (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2023). Em cenários de exposição severa, processos como infiltração de água, carbonatação e difusão de íons cloreto aceleram a deterioração, especialmente a corrosão das armaduras, ocasionando custos adicionais de manutenção e redução da vida útil das edificações (MEHTA; MONTEIRO, 2022).

Nesse contexto, pesquisas recentes têm buscado alternativas inovadoras para aumentar a durabilidade do concreto. Entre as soluções propostas, destacam-se os aditivos cristalizantes, capazes de reagir em contato com a umidade, formando produtos cristalinos que preenchem poros e microfissuras. Esse mecanismo reduz a permeabilidade do material, favorece a autocicatrização e amplia a resistência frente a ambientes agressivos. Estudos recentes relatam ganhos em estanqueidade e resistência química, apontando esses aditivos como uma estratégia promissora para aplicações que demandam maior vida útil e desempenho estrutural (JIANG *et al.*, 2023; WU *et al.*, 2024).

O presente trabalho teve como objetivo investigar a influência da incorporação de um aditivo cristalizante no concreto convencional, avaliando parâmetros relacionados à permeabilidade, resistência à compressão e capacidade de selamento de fissuras. Para isso, foram moldados corpos de prova de referência e com aditivo, caracterizados no estado fresco e endurecido, além de submetidos a ensaios específicos em equipamento patenteado, desenvolvido para analisar a evolução do processo de autocicatrização.

A importância deste estudo decorre da carência de regulamentações nacionais específicas sobre a temática e do potencial técnico-científico da tecnologia. A comprovação de sua eficácia pode contribuir para ampliar a durabilidade das estruturas, reduzir despesas de manutenção e fornecer subsídios para a formulação de normas e diretrizes aplicáveis ao contexto da engenharia brasileira (OLIVEIRA *et al.*, 2022; DE BELIE *et al.*, 2024).

MÉTODOS

A condução da pesquisa ocorreu em quatro etapas principais: (I) seleção dos insumos utilizados: cimento Portland, agregados e um aditivo cristalizante de composição confidencial; (II) definição dos procedimentos experimentais e adaptação de um equipamento patenteado (depósito nº BR 10 2024 09216-7), projetado especificamente para investigar o processo de autocicatrização de fissuras sob fluxo contínuo de água; (III) caracterização do concreto nos estados fresco e endurecido; e (IV) execução dos ensaios de autocicatrização em regime permanente de exposição à água.

Foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 × 200 mm, distribuídos em três séries experimentais: concreto de Referência (sem aditivo) e duas composições com diferentes teores do aditivo cristalizante. O traço foi definido com base na NBR 12655 (ABNT, 2015), sendo ajustado de modo a manter a consistência adequada, determinada por meio do ensaio de abatimento.

Na condição de concreto fresco, foram determinadas propriedades como consistência e massa específica. Após o endurecimento, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência à compressão axial em idades de 7, 14 e 28 dias, além de avaliações complementares aos 56 e 90 dias.

Para o estudo da autocicatrização, os corpos de prova foram previamente fissurados e posicionados no equipamento patenteado. Esse sistema possibilitou o monitoramento da vazão de água que atravessava as fissuras durante um período de 30 dias, permitindo quantificar o fechamento progressivo pelo decréscimo da vazão e relacionar os resultados à presença ou ausência do aditivo cristalizante.

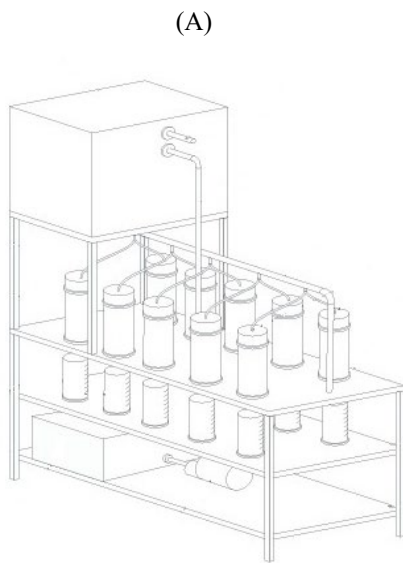
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi desenvolvido e patenteado (INPI BR 10 2024 09216-7) um equipamento inovador para quantificar a vazão de água em fissuras induzidas em corpos de prova de concreto, permitindo avaliar a eficácia de aditivos cristalizantes na autocicatrização. A Figura 1-A apresenta o projeto do equipamento e a Figura 1-B mostra o sistema em funcionamento durante os ensaios. O dispositivo é composto por módulos de alimentação, medição e



recirculação, reunindo precisão, durabilidade, portabilidade e baixo custo, além de proporcionar segurança ao operador, facilidade de montagem, manutenção e versatilidade para uso em laboratórios, obras e projetos de extensão tecnológica.

Figura 1 – Equipamento patenteado pelo autor: (a) Projeto do equipamento; (b) Corpos de prova colocado no equipamento para teste de autocicatrização.



Fonte: (ELABORADO PELO AUTOR, 2024)

A caracterização do concreto no estado fresco é essencial para avaliar trabalhabilidade, consistência, coesão e desempenho durante a moldagem, garantindo homogeneidade e compactação adequadas. Os três traços analisados, Referência (sem aditivo), Amostra 1 e Amostra 2, foram comparados quanto à relação água/cimento, abatimento (Slump Test), ar incorporado e massa específica (Tabela 1). Os resultados mostraram que o aditivo cristalizante não comprometeu a trabalhabilidade nem a uniformidade do concreto, permitindo uma avaliação confiável da resistência à compressão.

A manutenção da consistência e coesão assegura que o concreto preencha os moldes corretamente, minimizando vazios e defeitos. Esses parâmetros fornecem base sólida para interpretar os resultados no estado endurecido e confirmam a viabilidade prática do aditivo cristalizante em aplicações estruturais.

Tabela 1 – Propriedades do concreto no estado fresco.

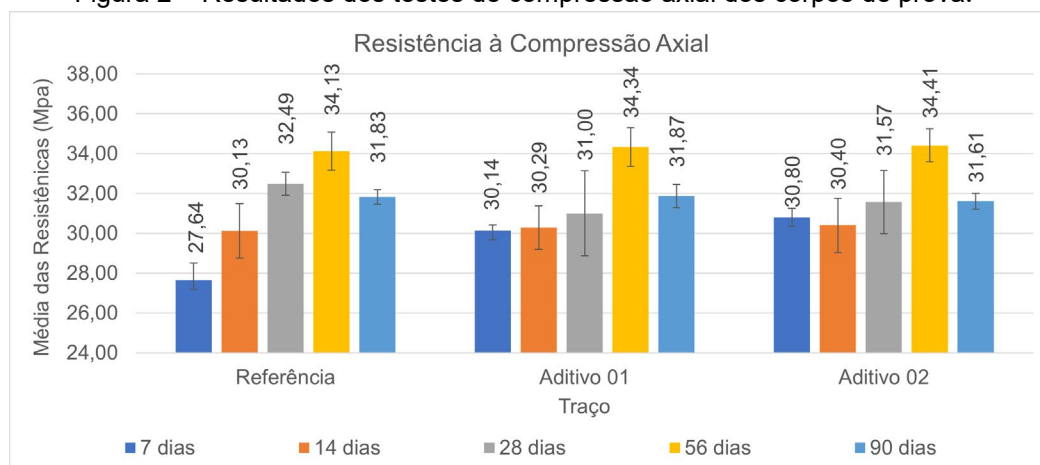
	Referência (sem edição)	Amostra 1	Amostra 2
Relação A/C	0,30	0,30	0,30
Slump (mm)	77	79	80
Ar incorporado (%)	2,5	2,4	2,6
Massa Específica (kg/m³)	79,5	80,3	80,3

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR (2025).

Os concretos com aditivo cristalizante apresentaram resultados consistentes e, em geral, superiores ao traço de referência. A Amostra 1 evoluiu de 30,14 MPa aos 7 dias para 34,34 MPa aos 56 dias, estabilizando em 31,87 MPa aos 90 dias. Já a Amostra 2 variou de 30,80 MPa para 34,41 MPa e manteve 31,61 MPa no mesmo período. Esses resultados, ilustrados na Figura 2, indicam que a incorporação do aditivo não comprometeu o desempenho mecânico, garantindo ganhos relevantes até idades intermediárias.

O traço de referência, por sua vez, apresentou resistência de 27,64 MPa aos 7 dias e 34,13 MPa aos 56 dias, comportamento esperado para concretos convencionais. Após cerca de 28 dias, a tendência é de estabilização, com pequenas variações em idades posteriores. Esse padrão confirma a viabilidade técnica do uso de aditivos cristalizantes, capazes de preservar a resistência mecânica e ampliar a durabilidade do concreto em ambientes agressivos.

Figura 2 – Resultados dos testes de compressão axial dos corpos de prova.



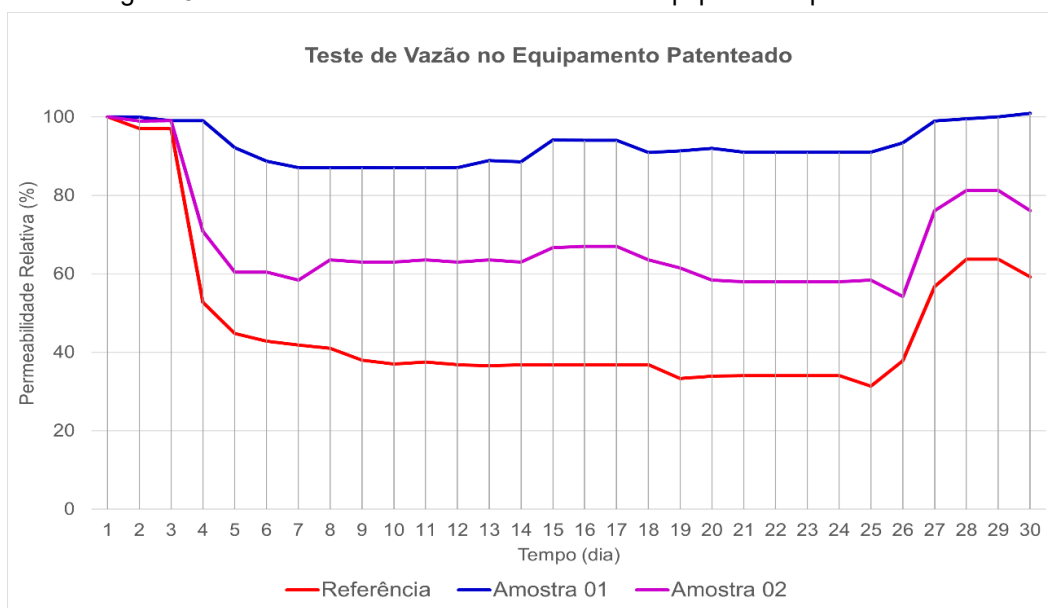
Fonte: (ELABORADO PELO AUTOR, 2024)

Entre os períodos de 26 de fevereiro a 26 de março, 10 de maio a 08 de junho e 04 de setembro a 03 de outubro de 2024, foram realizados acompanhamentos diários de vazão com o objetivo de avaliar a permeabilidade relativa (%) de três diferentes amostras: Referência, Amostra 1 e Amostra 2. Os dados foram consolidados em um único gráfico (Figura 3), no qual são apresentadas as médias de desempenho de cada material ao longo dos três traços testados.

A Amostra 1 apresentou o melhor comportamento em todos os períodos analisados, mantendo valores de permeabilidade frequentemente superiores a 90% e recuperando-se de forma rápida após quedas. Esse desempenho evidencia maior estabilidade e durabilidade, tornando-a a alternativa mais indicada para aplicações que exigem manutenção prolongada do fluxo de água.

A Amostra 2 apresentou desempenho intermediário, variando entre 50% e 70% durante a maior parte do tempo e atingindo níveis próximos a 80% ao final dos ensaios. Já a Referência obteve os menores índices, oscilando entre 30% e 45%, com recuperações discretas apenas nos dias finais, confirmando sua menor resistência à obstrução e a superioridade das amostras com aditivo cristalizante.

Figura 3 – Resultados dos testes de vazão no equipamento patenteado.



Fonte: (ELABORADO PELO AUTOR, 2024)

CONCLUSÕES

A durabilidade do concreto está diretamente relacionada à sua resistência à penetração de agentes agressivos, como água, íons cloreto, dióxido de carbono e sulfatos, que aceleram processos de corrosão e degradação estrutural. Os aditivos cristalizantes demonstraram eficácia na redução da permeabilidade, dificultando a entrada desses agentes e aumentando a vida útil das estruturas. Um resultado relevante foi a capacidade de selamento de fissuras de até 5 mm nas amostras com aditivo, evidenciando a formação de cristais insolúveis que preenchem progressivamente as fissuras, mesmo sob presença contínua de água, reforçando a estanqueidade e a durabilidade do concreto.

Os ensaios de vazão de água confirmaram a eficiência do aditivo, mostrando redução progressiva da permeabilidade ao longo de 30 dias, com obstrução parcial ou total das fissuras induzidas, validando a capacidade de autocicatrização. Paralelamente, a resistência à compressão dos concretos com aditivo manteve-se equivalente ou superior à do concreto de referência, demonstrando a compatibilidade do aditivo com aplicações estruturais. No estado fresco, os concretos apresentaram parâmetros essenciais abatimento do tronco de cone, ar incorporado e massa específica dentro dos limites normativos, comprovando a compatibilidade com os métodos convencionais de produção, lançamento e adensamento.

Destaca-se também o desenvolvimento e patente (Depósito BR 10 2024 09216-7) de um equipamento inédito, projetado para mensurar a vazão de água em fissuras de corpos de prova, permitindo medições repetíveis e confiáveis da autocicatrização em condições controladas de laboratório. A utilização dos aditivos cristalizantes, aliada à inovação metodológica representada pelo equipamento patenteado, constitui uma alternativa técnica promissora para aumentar a durabilidade de estruturas de concreto em ambientes agressivos, contribuindo significativamente para o avanço do conhecimento técnico-científico na área de materiais cimentícios e construção civil.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. O. et al. **Avaliação da durabilidade de concretos com aditivo cristalizante submetidos à ação de agentes agressivos.** *Revista ALCONPAT*, v. 11, n. 3, p. 308–320, 2021. <https://doi.org/10.21041/ra.v11i3.530>.

DE BELIE, N. et al. **A review of self-healing concrete for sustainable construction.** *Materials and Structures*, v. 57, p. 24, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-024-02234-7>.

FERREIRA, R. M. L. et al. **Aditivos cristalizantes e sua influência na durabilidade do concreto: revisão sistemática.** *Revista Matéria*, v. 28, n. 1, p. e-12687, 2023. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620230001.1452>.

GONZÁLEZ-GARCÍA, M. et al. **Life cycle assessment of concrete with recycled aggregates: a review.** *Resources, Conservation and Recycling*, v. 169, p. 105466, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105466>.

JIANG, Z. et al. **Performance of crystalline admixture on self-healing of cracks in concrete under different environmental conditions.** *Construction and Building Materials*, v. 365, p. 130144, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130144>.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 4. ed. São Paulo: IBRACON, 2022.

OLIVEIRA, M. F. et al. **Avaliação experimental de concretos com aditivos cristalizantes em ambiente agressivo.** *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 15, n. 6, p. e15607, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952022000600007>.

SILVA, R. A. et al. **Efeito de aditivos cristalizantes na durabilidade de concretos expostos a íons cloreto.** *Revista Matéria*, v. 28, n. 2, p. e12834, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620230002.1483>.

WU, S. et al. **Self-healing performance of concrete with crystalline admixtures under chloride attack.** *Cement and Concrete Composites*, v. 146, p. 105423, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105423>.