ANÁLISE DA DETERIORAÇÃO POR CLORETOS EM TETO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES PROTEÇÕES

Rafaela Sebben Eckhardt[(1)]
Supervisora de projetos da Penetron Brasil; Doutoranda em Engenharia Civil na UFRGS; Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela UNESC; Pós graduada em Patologia das Construções pelo IPOG; Participante dos CTs 501, 901 e redutor de permeabilidade; Escritora de artigos com temas de concreto, impermeabilização e recuperação; Foi projetista de impermeabilização e patologista da Qualify; Extensão universitária pela Universidade Lusófona em Portugal; Engenheira Civil pela UPF.
Fernando Silva Figueredo [(2)]
Tec. Edif. - Analista de Engenharia na Aegea Saneamento
Cláudio Neves Ourives[(3)]
Eng. Esp. - CEO e Managing Partner na Penetron Brasil
Mateus Zanovello de Oliveira[(4)]
Prof. M. Sc. - Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia
Pedro Bina Augusto[(5)]
Estudante de Engenharia - Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia

Endereço[(1)]: Av. Gílio Búrigo, 1090 - Ana Maria – Criciúma – SC – CEP: 88815-318 - bRASIL - Tel: +55 (47) 99271-1879 - e-mail: rafaela@penetron.com.br.

RESUMO

Este estudo avaliou a eficácia de sistemas de impermeabilização por cristalização na proteção de estruturas de concreto contra a penetração de íons cloreto, simulando as condições agressivas da zona gasosa de um reservatório de água. Foram moldados corpos de prova cilíndricos de concreto com o mesmo traço de uma obra real, divididos em dois grupos quanto ao estado da superfície — íntegros e fissurados (abertura induzida de 0,30 mm) — e submetidos a três condições de proteção: (i) concreto de referência, sem tratamento; (ii) concreto com aditivo autocicatrizante incorporado à mistura (0,8% sobre a massa de cimento); e (iii) concreto com argamassa autocicatrizante aplicada externamente (1,6 kg/m²). Após a exposição a 60 ciclos de névoa salina (*salt spray*) conforme as diretrizes normativas, a profundidade de penetração dos cloretos foi mensurada por aspersão de nitrato de prata ($AgNO_3$). Os resultados indicaram que, no cenário de estrutura íntegra, o aditivo autocicatrizante apresentou o melhor desempenho com uma redução de 14% na penetração de cloretos sem alterar a resistência à compressão do concreto. Por outro lado, no cenário de estrutura fissurada, a argamassa autocicatrizante destacou-se significativamente, mitigando a penetração em 36%. O estudo conclui que ambos os sistemas oferecem incrementos substanciais à durabilidade da estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, cloretos, reservatório.

INTRODUÇÃO

A corrosão de armadura é a manifestação patológica mais comum em estruturas de concreto armado, principalmente em estruturas expostas à íons cloreto, como em teto de reservatório. Os danos gerados causam fissuração, redução da seção da armadura e até destacamento do concreto, pois é um processo expansivo, onde os íons cloreto reagem com os íons de ferro da armadura e formam óxidos e hidróxidos de ferro, com maior volume, gerando tensões internas maiores que a resistência à tração do concreto (Pontes *et al.*, 2021).
A durabilidade das estruturas de concreto está diretamente relacionada à penetração de agentes agressivos em seu interior por meio de poros e fissuras (RILEM, 2013). Nesse sentido, o cobrimento atua como elemento fundamental para a proteção da armadura, contudo, na prática construtiva, frequentemente observam-se inconformidades na execução desse requisito devido à dificuldade de garantia da espessura de projeto na face inferior da laje de cobertura de reservatórios.
Além disso, a água condensada na face inferior da laje de cobertura dos reservatórios constitui um importante fator de agravamento da deterioração. A evaporação da água armazenada seguida de sua condensação gera uma solução com baixíssima concentração de íons cálcio, o que favorece a dissolução do hidróxido de cálcio da pasta de cimento. Esse processo promove a descalcificação progressiva da matriz cimentícia, acelerando os mecanismos de degradação e comprometendo a durabilidade do concreto (Mehta e Monteiro, 2014).

Neste sentido, a proteção da estrutura contra o ataque por cloretos é fundamental para mitigar o processo de deterioração e estender sua vida útil. Como uma alternativa, destaca-se o concreto autocicatrizante, que reduz a permeabilidade e a difusividade. A utilização do aditivo ou argamassa autocicatrizante potencializa o processo de colmatação natural do concreto, tanto nos poros quanto nas fissuras passivas da matriz cimentícia, por meio da sua reação química com os compostos hidratados do cimento e a água, que promove a precipitação de cristais insolúveis que vedam estes vazios, bloqueando as principais vias de entrada dos íons cloreto (Helene, *et al.*, 2018).
Este estudo avalia o desempenho tanto do aditivo quanto da argamassa autocicatrizante, em comparação ao concreto de referência, quando expostos à névoa salina, com posterior verificação da penetração dos íons cloretos, a fim de validar este tratamento para aumento da durabilidade de estruturas de concreto com tal exposição, como tetos de reservatórios.

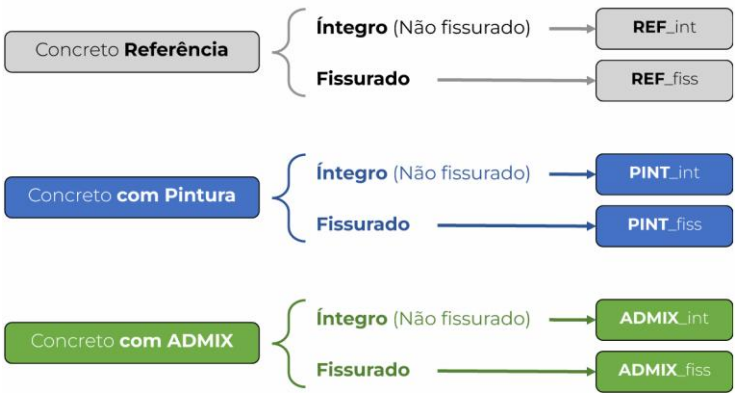
OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar e comparar a eficiência de diferentes soluções de proteção e impermeabilização do concreto, entre aditivo autocicatrizante, incorporado à matriz cimentícia no momento de sua produção, considerando uma estrutura nova, e argamassa autocicatrizante, aplicada na superfície do concreto endurecido, considerando uma estrutura antiga, frente ao ataque por cloretos, simulando as condições ambientais agressivas reais da zona gasosa de um reservatório de água.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para a avaliação da penetração de íons cloreto foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 8 cm de altura, com 3 variáveis com 8 corpos de prova cada, de acordo com o tratamento impermeabilizante aplicado, sendo: referência (REF); grupo com aditivo autocicatrizante incorporado à mistura cimentícia na dosagem de 0,8% em massa de cimento (ADMIX); e argamassa autocicatrizante aplicada superficialmente por pintura, com consumo de 1,6 kg/m² (PINT). Cada grupo foi subdividido quanto ao estado da superfície, metade íntegro e metade fissurado com abertura de 0,30 mm. Na Figura 1 tem-se a descrição resumida das variáveis.

Figura 1 – Descrição das variáveis



Fonte: Autores, 2025.

Também foram moldados 3 corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm para ensaio de compressão axial (NBR 5739).

O concreto referência foi desenvolvido com base nas diretrizes das normas ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 12655, adequado para classes de agressividade ambiental IV, elevada. Cimento Portland CP III (Mizu), areia média como agregado miúdo, e uma combinação de brita 0 e brita 1 como agregados graúdos foram utilizados. O traço em massa e o consumo de materiais por metro cúbico de concreto estão detalhados na Tabela 1.

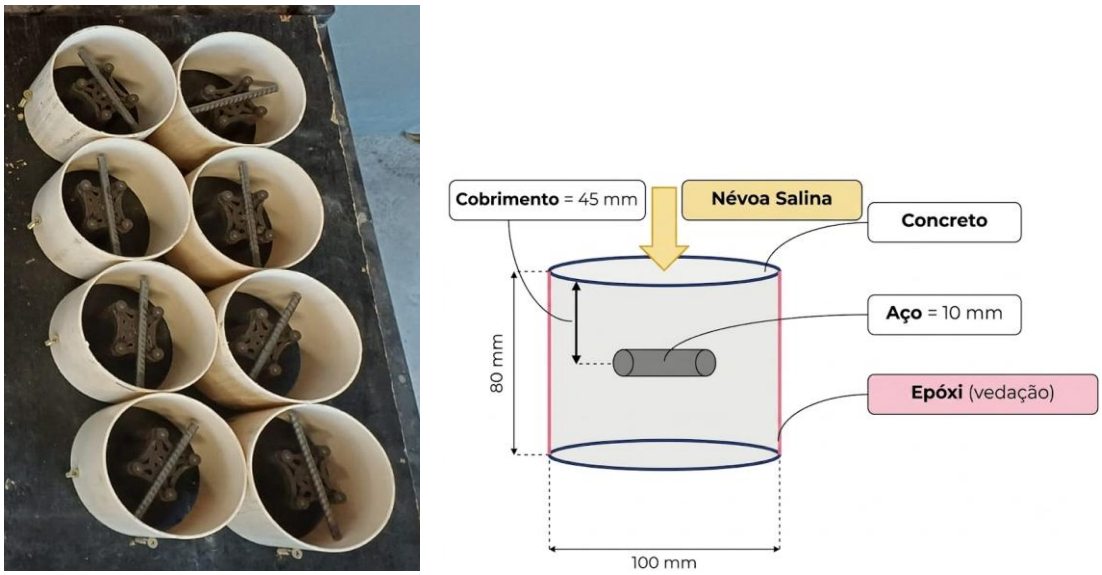
Tabela 1 – Traço do concreto avaliado

Materiais	Traço	Consumo (kg/m³)
CP III (Mizu)	1.00	375
Areia média	2.00	750
Brita 0	1.20	450
Brita 1	1.80	675
Água	0.45	169
Aditivo SP	0.60%	2.25

Fonte: Autores, 2025.

Em 8 corpos de prova também foi adicionado à mistura o aditivo autocicatrizante Penetron Admix, na dosagem de 0,8% sobre o peso do cimento, ou seja, 3 kg/m³. Os outros 16 corpos de prova foram executados com o concreto referência e 8 destes receberam posterior pintura com argamassa autocicatrizante Penetron.
Uma barra de aço de 10 mm de diâmetro foi posicionada internamente em todos os corpos de prova, com cobrimento nominal de 4,5 cm (mínimo estipulado para laje em classe de agressividade IV), pelo uso de espaçador de plástico, para verificar a posterior corrosão da armadura, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Corpos de prova com armadura



Fonte: Autores, 2025.

Não é considerado o espaçamento na lateral, pois as superfícies laterais receberam selagem com resina epóxi para garantir um fluxo unidirecional da névoa salina a partir do topo da amostra.

As amostras foram fissuras aos 7 dias, aplicando-se carga lenta em prensa à compressão, gerando-se aberturas de 0,3 mm (Figura 3).

Figura 3 – Fissuração dos corpos de prova (fissura de 0,3 mm)



Fonte: Autores, 2025.

As amostras com aplicação tópica de argamassa autocicatrizante Penetron receberam preparação superficial com escarificação leve para abertura da porosidade superficial, sem danificar o concreto, após sua fissuração e então receberam a aplicação do produto com brocha, sobre a superfície saturada seca, em 2 demãos com intervalo de 2 a 3 horas entre elas, totalizando 1,6 kg/m².
As amostras permaneceram submersas em cura com água por 28 dias, para ativação dos materiais autocicatrizante, e então submetidas ao ensaio em câmara de névoa salina neutra por 60 ciclos (6 h de névoa salina ligada + 18 h do sistema fechado com redução da umidade relativa em 50%), onde as amostras são expostas à cloreto de sódio com concentração de 5%, seguindo a orientação da NBR 17088 (2023), como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Corpos de prova em reservatório de água para cura e posterior exposição à névoa salina



Fonte: Autores, 2025.

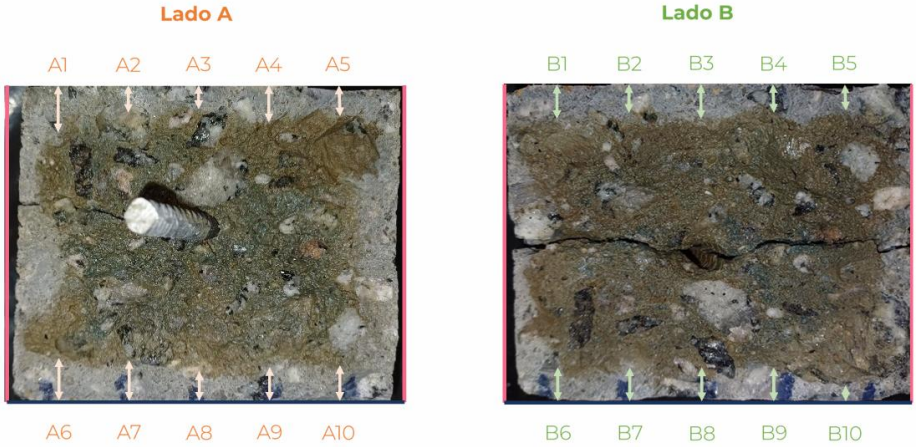
Após a exposição, os corpos de prova foram seccionados verticalmente (gerando a divisão do lado A e B) para verificar a presença de corrosão da armadura e a profundidade de penetração de cloretos, pelo método colorimétrico, com aspersão de nitrato de prata ($AgNO_3$).

Coloração marrom: $Ag^+ + OH^- \rightarrow Ag_2O$
(região livre de cloretos, fruto da reação dos íons de prata com a hidroxila do concreto)

Coloração branca: $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$
(região contaminada, indicando a profundidade limite alcançada pela reação dos íons de prata com os cloretos)

As medições da frente de penetração foram realizadas em 10 pontos distintos por amostra, distribuídos igualmente entre as duas faces expostas do corte, como na Figura 5, com os pontos A1 a A10 e B1 a B10, mapeando de forma precisa o perfil de degradação do concreto.

Figura 5 – Esquema do corpo de prova real após aspersão de nitrato de prata



Fonte: Autores, 2026.

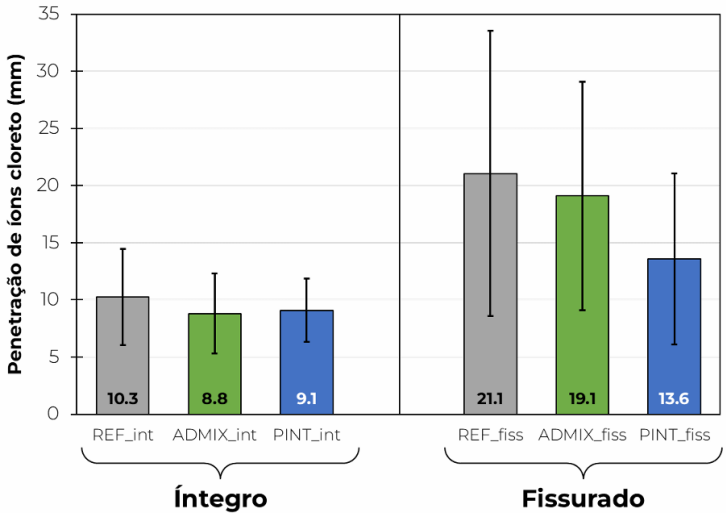
RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio de resistência à compressão axial, realizado em conformidade com a NBR 5739 (2018), demonstraram que a incorporação do aditivo autocicatrizante não alterou o desempenho mecânico do concreto. O traço de referência e o traço com aditivo mantiveram-se alinhados na classe de 40 MPa, com uma média de 41,4 ± 2,8 MPa aos 28 dias.

Na Figura 6, dos resultados de penetração de íons cloreto, foi verificado o melhor desempenho nas amostras com uso do aditivo autocicatrizante no teste com as amostras íntegras (sem fissuração), que simulam a situação de obra nova, com uma redução de 14% em relação à amostra de referência. Esse comportamento decorre da reação dos compostos ativos do aditivo com a água e os subprodutos da hidratação do cimento, preenchendo a rede de poros capilares com cristais insolúveis e reduzindo a permeabilidade da matriz.

Também foi verificado que, nas amostras fissuradas, que simulam uma situação de obra em serviços, ou seja, um cenário de severa agressividade, pois a fissura é um caminho preferencial de penetração de agentes agressivos, argamassa autocicatrizante apresentou desempenho mais expressivo em relação à penetração de íons cloreto, com redução de 36% em relação à amostra de referência, pois sua aplicação superficial formou uma barreira física e química de proteção sobre a descontinuidade, impedindo que o fluxo unidirecional estabelecido pela névoa salina superasse o cobrimento nominal para atingir a zona interna.

Figura 6 – Resultado da penetração de íons cloretos nas amostras íntegras e fissuradas



Fonte: Autores, 2026.

Como nenhum dos corpos de prova teve penetração acima da espessura do cobrimento de 4,5 cm, não foi observada corrosão das armaduras em nenhuma das variáveis.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que tanto o aditivo quanto a argamassa autocicatrizante são soluções eficazes para a proteção de estruturas de concreto sujeitas a ambientes agressivos com exposição à cloretos, como a zona gasosa de reservatórios. Mesmo em condição de fissuração, houve a redução da penetração de íons cloreto na matriz do concreto, ilustrando melhor desempenho do ativo para a condição íntegra e da argamassa para condição fissurada.
Portanto, a escolha entre os sistemas deve considerar o ciclo de vida e o estado de integridade da obra, evidenciando-se, ainda, o potencial técnico de um sistema combinado (aditivo e argamassa autocicatrizantes) como objeto de investigações futuras para maximizar a proteção do concreto contra a corrosão de armaduras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2023.

3. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2022.

4. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 17088: Corrosão por exposição à névoa salina – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2023.

5. HELENE, P. *et al*. Avaliação da penetração de cloretos e da vida útil de concretos autocicatrizantes ativados por aditivo cristalino. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v 11, p. 544-563. 2018.

6. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2ª ed. São Paulo: Ibracon, 2014. 782 p.

7. *RILEM. Self-healing phenomena in cement-based materials. Heidelberg: Springer Netherlands, v.11, 2013.*

8. VIEIRA, P. C., COSTA, R. G., CALVO, A., MEDEIROS, M. H. F. Procedimento para detectar a penetração de cloretos com nitrato de prata em concreto carbonatado. Revista ALCONPAT, v 11, p. 76-88. 2021.