**ANÁLISE DA DIFUSÃO DE CLORETOS EM CONCRETOS COM ADIÇÃO POZOLÂNICA**

MARIANE R. CARVALHO (IFPB, Campus João Pessoa), MARIA S. FREITAS (Centro de Tecnologia, UFPB), GIBSON R. MEIRA (IFPB, Campus João Pessoa)

**E-mails:**  marianekrvalho@hotmail.com, mariasilvajn@gmail.com, gibson.meira@ifpb.edu.br.

**Área de conhecimento:(Tabela CNPq)**: 1.03.03.04-9 Sistemas de Informação.

**Palavras-Chave**: corrosão; cinza volante; porosidade; íons cloreto.

**1** **Introdução**

A Corrosão de armadura desencadeada por íons cloretos é uma das principais causas de deterioração de estruturas em concreto armado, principalmente em zona de atmosfera marinha. O concreto desempenha uma dupla proteção ao aço: uma proteção física, separando o aço da agressividade do meio externo e uma proteção química, em razão do elevado pH (MEIRA, 2017). Porém, o concreto é um material heterogêneo, e permite que aconteça o transporte dos íons cloretos através de sua rede de poros.

Dessa forma, para esta condição de exposição, atmosfera marinha, uma das características mais almejadas para o concreto é a redução da porosidade e resistência ao transporte de agente agressivo. Pois, menor quantidade de poros reflete em uma diminuição na velocidade de transporte.

De acordo com MOFFATT e THOMAS (2018) o aumento na resistência do ingresso de íons cloretos pode ser alcançado entre outras formas pela implementação de uma baixa relação água-cimento (*a/c*) e o uso de adições minerais. NETO (2018), alcançou resultados semelhantes, pois, concluiu que o uso de cinzas volantes no concreto contribuiu para um menor índice de vazios, menor absorção de água e um refinamento maior da matriz.

Diante disto, este estudo se propôs avaliar a influência da cinza volante em concreto submetido a ensaio de difusão natural de íons cloretos em ambiente de laboratório, variando a sua relação água/aglomerante, no intuito de obter concretos com diferentes porosidades.

**2** **Materiais e Métodos**

**2.1**  **Materiais utilizados**

O concreto foi produzido com cimento CP V - ARI MAX, agregado graúdo (brita) dimensão máxima característica de 19 mm, agregado miúdo (areia média), ambos disponíveis comercialmente em João Pessoa – PB, cinza volante e água.

**2.2**  **Dosagem do concreto**

Foram trabalhados dois tipos de misturas (cimento CP V – ARI MAX); um traço pobre (1:5) e um traço médio (1:4) para relação água/aglomerante de 0,55 e 0,45 (cimento: agregados). A cinza volante foi usada em substituição ao cimento na ordem de 25% em massa. Após a mistura, amostras cilíndricas de dimensão 100 X 200 mm foram moldadas com adensamento manual e curados em câmara úmida por 28 dias. Para caracterização das amostras de concreto endurecido foi aplicado o ensaio de resistência à compressão axial (ABNT NBR 5739, 2018) aos 28 e 90 dias, e o ensaio de absorção de água por imersão (ABNT NBR 9778, 2005) aos 90 dias.

As amostras utilizadas no ensaio de difusão foram cilindros de 100 X 100 mm. Estas amostras foram obtidas cortando ao meio as amostras de 100 X 200 mm, utilizando-se a face central do corpo de prova para ser exposta ao meio agressivo de exposição, a solução de cloreto de sódio, com o objetivo de reduzir o efeito da heterogeneidade de moldagem.

**2.3**  **Ensaio de difusão de cloretos**

O método de teste escolhido para avaliar a resistência do concreto ao transporte íons de cloretos nas amostras de concreto foi o ensaio da NT BUILD 443: 1995.

Passados os 35 dias de exposição das amos tras à solução de NaCl (2,8 M) os corpos de prova foram retirados da solução e então foram obtidas amostras em pó em oito profundidades distintas, da superfície para o interior da amostra (0 - 1 mm, 1 - 3 mm, 3 - 5 mm, 5 8 mm, 8 - 12 mm, 12 - 16 mm, 16 - 20 mm e 20 - 25 mm). Essas amostras foram pulverizadas e peneiradas para serem submetidas as análises de cloretos livres e totais, permitindo então traçar os perfis de cloretos. O procedimento para determinação do teor de cloretos livres e totais foi baseado na RILEM TC 178 (2002). Para realização das titulações foram utilizadas as recomendações da ASTM C 114 – 03 (2008).

Com os valores de concentração, sabendo a profundidade dos mesmos foi realizado um ajuste a uma curva baseada na segunda lei de Fick (Equação 1) para encontrar o coeficiente de difusão aparente - *Da* de cloretos livre e totais para as misturas estudadas e a concentração superficial de cloretos- *Cs.*

 A Equação (1) calcula $D\_{a} $e $C\_{s}$.

$C \left(x,t\right)=C\_{s}-\left(C\_{s}-C\_{i}\right) erf \frac{x}{\sqrt{4.D\_{a}.t}}$ (1)

em que *C(x,t)* = é a concentração dos cloretos na profundidade *x* e no tempo *t*, em %; *x* = é a profundidade paralela ao fluxo de ingresso dos cloretos, em cm; *t* = é o período da exposição a solução em segundos, *C*i = é a concentração inicial de cloretos no interior do concreto, em %; Cs = é a concentração de cloretos na superfície do concreto, em %; *erf* = é a Função de Erro de Gauss; *Da* = é o coeficiente de difusão no estado não estacionário no tempo *t*, em cm²/s.

**3** **Resultados e discussão**

**3.1** **Caracterização do concreto endurecido**

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de resistência à compressão, acompanhado de seu desvio padrão e coeficiente de variação obtidos para média de três corpos de prova para cada mistura nas idades de 28 e 90 dias. Veja que, todas as misturas apresentaram um ganho de resistência significativo entre 28 e 90 dias. Para as amostras com 25% de cinza volante esse resultado era esperado considerando que as reações de hidratação ocorram em idades tardias, mostrando-se mais eficiente a partir dos 90 dias (SAKAI *et al.*, 2005).

Quanto a absorção (%) e índice de vazios (%) as amostras de CP V ARI\_A, CP V ARI\_B, CP V ARI\_25CV\_A e CP V ARI\_25CV\_B, resultou em 4,7 e 11,01; 4,6 e 10,63; 7,1 e 15,66 e 5,6 e 12,64, respectivamente.

Tabela 1: Valores de resistência à compressão axial

**3.2** **Perfis de cloretos**

As Figuras 1, 2 apresentam os resultados obtidos para os perfis de cloretos (livres e totais) nas amostras de concreto para relação água/aglomerante de 0,55 e 0,45, na idade de 35 dias, a partir de titulação potenciométrica.

|  |  |
| --- | --- |
| Figura 1: Perfis de cloretos totais e livres para CP V ARI\_A e CP V ARI\_25CV\_A | Figura 2: Perfis de cloretos totais e livres para CP V ARI\_B e CP V ARI\_25CV\_B |
| Gráfico, Gráfico de linhas  Descrição gerada automaticamente | Gráfico, Gráfico de linhas  Descrição gerada automaticamente | Gráfico, Gráfico de linhas  Descrição gerada automaticamente | Gráfico, Gráfico de linhas  Descrição gerada automaticamente |

É possível perceber que o teor de concentração de cloretos tende a decrescer à medida que diminui a relação água/ aglomerante. Esta tendência é reproduzida com o aumento da profundidade, o que já era esperado considerando que o processo de difusão acontece do meio externo para o interior do concreto. Observe que essa redução é mais expressiva nos concretos que contem cinzas volantes.

 Ao comparar os perfis de cloretos livres com cloretos totais, constata-se uma redução na concentração de cloretos livres, o que se explica pela fixação de cloretos na matriz cimentícia. Segundo MEIRA (2017) a capacidade de fixação de cloretos na matriz cimentícia diminui a velocidade de transporte desse íon, visto que somente os cloretos livres tem a liberdade de se movimentarem na rede porosa. Para DHIR; BYARS (1993) o uso de cinza volante na mistura aumenta a taxa de reação de ligação química entre o componente cimentício e os íons cloretos, partindo de uma interpretação que há mais sítios ativos disponíveis para reação com íons cloretos que com o cimento Portland sozinho.

Observe ainda que, os concretos contendo cinza volante não houve uma mudança expressiva em sua concentração quando variado a relação a/agl tanto para os cloretos totais quanto para os livres mantiveram-se resultados muito próximo em sua concentração de 0,55 para 0,45.

Realizando um ajuste do perfil de concentrações à curva não linear baseada na solução da segunda lei de Fick (Equação 1), obtém-se o coeficiente de difusão aparente de cloretos (*Da*) e a concentração superficial de cloretos – *Cs* dos concretos estudados, cujos resultados encontram-se na Tabela 3. Perceba que o coeficiente de difusão apresentado na tabela 3 relacionado com o índice de vazios reflete na *Cs*. Quanto maior o índice de vazio, maior *Da,* o que significa menor desempenho.

Tabela 2: Coeficiente de difusão aparente e concentração superficial de cloretos livres e totais



**4** **Considerações Finais**

Diante do que foi exposto é possível concluir que a concentração de cloretos tem uma tendência de diminuir com o deslocamento para o interior da amostra, devido principalmente ao processo natural de difusão, que acontece de fora para dentro e a ligação de íons cloro na matriz cimentícia. Essas reduções também ocorrem quando diminui a relação a/agl, atribuindo esse comportamento a redução de poros da amostra.

Por fim, os valores finais do coeficiente de difusão de cloretos (livres e totais) demostraram que o uso de cinzas volantes é eficiente quando desejado o aumento na resistência do concreto ao transporte de íons cloretos para as relações água/aglomerante de 0,55 e 0,45.

**Agradecimentos**

Os autores são gratos ao IFPB por fomentar o financiamento do projeto de pesquisa.

**Referências**

ABNT NBR 9778.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS:Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. ABNT, 2005. p. 5-7.

ABNT NBR 5739. Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de janeiro, 2018. p. 16.

ASTM C114-07, Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement, ASTM International.

DHIR, R.K.;BYARS, E. A. PFA concrete:chloride diffusion rates. Magazine of Concrete Research,1993.v.45,n.162,p.1–9.

MEIRA, G. R. Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado: fundamentos, diagnóstico e prevenção. João Pessoa: IFPB, 2017. v. 1, p. 103.

MOFFATT, E. G.; THOMAS, M. D. A. Performance of 25-year-old silica fume and fly ash lightweight concrete blocks in a harsh marine environment. Cement and Concrete Research, 2018. v. 113, n. March, p. 65–73.

NETO, D. M. Desempenho de Concretos com Altos Teores de Cinzas Volantes em Substituição ao Cimento Portland. Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado deSanta Catarina- UDESC, 2018. p. 124.

NORDTEST, N. T. Concrete, hardened: accelerated chloride penetration. Nordtest NT Build, v. 443, 1995.

RILEM TC 178. Rilem Technical Committees Rilem Tc 178-Tmc : ‘ Testing and Modelling Chloride Penetration in concrete’’’. Materials and Structures, 2002. v. 35, n. November 2002, p. 586–588.

SAKAI, E. *et al.* Hydration of fly ash cement. Cement and Concrete Research, jun. 2005. v. 35, n. 6, p. 1135–1140.