

# FATORES INTERVENIENTES NA PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Laura Silvestro (1); Artur Spat Ruviaro (1); Geannina Terezinha dos Santos Lima (1)

(1) Doutorando (a), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina  
laurasilvestro1@gmail.com, arturspatruviaro@gmail.com, geanninasantos@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

As normativas (FIB 34, 2006; ABNT NBR 15575:2013) estão mais exigentes no que se refere à construção de estruturas de concreto mais duráveis, estabelecendo parâmetros mínimos de desempenho ligados à durabilidade, usualmente mensurados através da vida útil (SILVESTRO; DAL MOLIN, 2018). A corrosão de armaduras é um dos mecanismos de degradação mais frequentes. Nesse contexto, para uma correta previsão da vida útil de estrutura de concretos, devem ser empregados modelos de previsão representativos que levem em consideração os principais fatores intervenientes na penetração de cloretos em estruturas de concreto.

## OBJETIVO

Este trabalho, com base em uma revisão de literatura, tem por objetivo abordar os principais fatores intrínsecos e extrínsecos a respeito do tema em questão.

## FATORES INTRÍNSECOS

### 1) Coeficiente de difusão

- É um parâmetro que diminui ao longo do tempo em função: i) hidratação do cimento, que leva a uma redução da porosidade do concreto; ii) formação de uma camada de carbonato de cálcio que colmata os poros do concreto; iii) reação entre o aluminato tricálcico e os íons cloreto formando sal de Friedel (COSTA; APPLETON, 1999).

### 2) Relação a/c

- Diversos pesquisadores observaram um acréscimo na penetração de cloretos com o aumento da relação a/c (CHALEE *et al.*, 2007; MEIRA *et al.*, 2010);
- Cheewaket, Jaturapitakkul e Chalee (2012) observaram que após 2 anos de exposição, um concreto com relação a/c = 0,45 apresentou uma profundidade de penetração associada à concentração de cloretos limite 7 mm inferior em comparação à configuração de relação a/c=0,65. Para um tempo de exposição de 10 anos esse valor foi 34 mm inferior.

### 3) Grau de saturação do concreto

- Os resultados obtidos por Guimarães (2000) indicam uma maior penetração de íons cloreto com o aumento do grau de saturação.

### 4) Adições minerais

- A adição de cinza volante no concreto é considerada uma medida eficaz para mitigar a corrosão de armaduras por cloretos;
- A utilização de metacaulim reduz a permeabilidade do concreto e favorece a fixação dos cloretos livres;
- Embora promova o refinamento da microestrutura do concreto, a utilização de sílica ativa ocasiona uma redução na capacidade de fixação de cloretos (THOMAS *et al.*, 2012);
- Em função do elevado teor de alumina, a substituição parcial do cimento por escória de alto forno aumenta a capacidade de fixação de cloretos (SIDDIQUE; BENNACER, 2012).

### 5) Tipos de cimento

- Diversos estudos que investigaram a interação entre os cloretos e os constituintes do cimento apontam que quanto maior o teor de C<sub>3</sub>A maior a capacidade de fixação de cloretos de um cimento (OH; JANG, 2005; YUAN *et al.*, 2009).

## FATORES EXTRÍNSECOS

### 1) Concentração superficial de cloretos

- É um parâmetro que possui tendência de crescimento com o tempo e, após períodos significativamente longos, apresenta uma estabilização (COSTA; APPLETON, 1999).

### 2) Distância horizontal em relação ao mar

- A redução da quantidade de cloretos disponíveis na atmosfera em pontos mais distantes do mar está associada à força da gravidade. Há um forte decréscimo da concentração de cloretos após os primeiros 200 m em relação ao mar (MEIRA *et al.*, 2007).

### 3) Umidade relativa

- Na etapa de iniciação, quanto maior o teor de umidade ambiental maior a quantidade de água no interior dos poros, o que favorece a mobilidade dos íons cloreto para o interior do concreto (ANDRADE, 2001).

### 4) Precipitação

- A chuva tem um efeito denominado de "lavagem superficial" que tende a lixiviar a camada externa do concreto, reduzindo a concentração superficial de cloretos nesta região (CASTRO-BORGES *et al.*, 2013).

### 5) Temperatura

- A Equação de Arrhenius, dentro de certa faixa de temperatura, postula um aumento progressivo no coeficiente de difusão com o aumento da temperatura (MEDEIROS, 2008).

### 6) Velocidade e direção dos ventos

- O aumento da velocidade do vento acarreta um aumento no número e no tamanho das partículas de aerossol marinho e, conseqüentemente, um aumento na quantidade de cloretos disponíveis;
- Para Morcillo *et al.* (2000) existe uma velocidade crítica dos ventos, acima da qual a concentração de aerossol marinho na atmosfera aumenta notadamente, a qual está dentro do intervalo de 3 – 4 m/s.

### 7) Altura

- Diversos estudos constataram que a concentração de cloretos decresce à medida que a altura aumenta (BARBOSA *et al.*, 2004; GUIMARÃES; CASTRO; NUNES, 2007).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na revisão de literatura realizada, destaca-se que:

- O coeficiente de difusão apresenta uma tendência de redução ao longo do tempo;
- A capacidade de fixação de um cimento está diretamente relacionada aos teores de aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico;
- Quanto maior o grau de saturação do concreto maior penetração de íons cloreto;
- A utilização de cinza volante, sílica ativa, metacaulim e escória de alto forno são medidas eficazes para mitigar a corrosão de armaduras por cloretos;
- É de fundamental importância considerar fatores ambientais tais como concentração superficial de cloretos, distância em relação ao mar, umidade relativa, precipitação, altura e direção e velocidade dos ventos nos modelos de previsão de vida útil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão de vida útil de estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos**. 2001. 277 p. Tese – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Parte 1: Desempenho de Edifícios Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.
- BARBOSA, P.; *et al.* Influência dos ciclos de molhamento e secagem, da altura e do posicionamento dos pilares no teor de íons cloreto presentes no concreto com 30 anos de idade. **Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica – SEMENGO**. Rio Grande, Furg, 2004.
- CASTRO-BORGES, P.; *et al.* Effect of environmental changes on chemical and electrochemical parameters in reinforced concrete. The case of a tropical marine atmosphere. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 8, p. 6204-6211, 2013.
- CHALEE, W.; *et al.* Effect of W/C ratio on covering depth of fly ash concrete in marine environment. **Construction and Building Materials**, p. 965 – 971, 2007.
- CHEEWAKET, T.; JATURAPITAKKUL, C.; CHALEE, W. Initial corrosion presented by chloride threshold penetration of concrete up to 10 year-results under marine site. **Construction and Building Materials**, p. 693 – 698, 2012.
- COSTA, A.; APPLETON, J. Chloride penetration into concrete in marine environment – Part I: Main parameters affecting chloride penetration. **Materials and Structures**, v. 32, p. 252-259, 1999.
- GUIMARÃES, A. T. C. **Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos**. 2000. 289 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, 2000.
- GUIMARÃES, A. T. C.; CASTRO, P.; NUNES, J. Teor de cloretos próximos a superfície do concreto em ambientes marítimos. In: **Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto**, p. 1 – 11, 2007.
- INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE. **FIB Bulletin 34**: Model Code for Service Life Design, 2006.
- MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos**. 2008. 156 p. Tese – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- MEIRA, G. R.; *et al.* Durability of concrete structures in marine atmosphere zones – The use of chloride deposition rate on the wet candle as an environmental indicator. **Cement and Concrete Composites**, p. 427 – 435, 2010.
- MORCILLO, M.; *et al.* Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site. **Corrosion Science**, p. 91 – 104, 2000.
- OH, B. H.; JANG, S. Y. Experimental investigation on the threshold chloride concentration for corrosion initiation in reinforced concrete structures. **18th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology**, p. 2389 – 2396, 2005.
- SIDDIQUE, R.; BENNACER, R. Use of iron and steel industry by-product (GGBS) in cement paste and mortar. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, p. 29-34, 2012.
- SILVESTRO, L.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação de modelos para a previsão de vida útil de estruturas de concreto armado localizadas em ambientes com cloretos. **6ª PATORREB**, Rio de Janeiro, 2018.
- THOMAS, M. D. A.; *et al.* The effect of supplementary cementitious materials on chloride binding in hardened cement paste. **Cement and Concrete Research**, v. 42, p. 1-7, 2012.
- YUAN, Q.; *et al.* Chloride binding of cement-based materials subjected to external chloride environment – A review. **Construction and Building Materials**, p. 1 – 13, 2009.