

## ESTIMATIVA DE DETERIORAÇÃO POR CLORETOS NO CONCRETO DOS TETRÁPODES DO MOLHE LESTE DA BARRA DO RIO GRANDE

LEANDRO BLOIS; RAFAEL BELTRAME<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – leandroblois.eng@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – beltrame.rafael@yahoo.com.br

### 1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que, no município de Rio Grande - RS há um crescimento elevado das obras de infraestrutura relacionadas à região costeira e portuária, como é o caso dos molhes da barra, constituído de tetrápodes de concreto massa. O ambiente marítimo é um dos meios mais agressivos ao concreto armado, tendo como principal agente propulsor de ataque os íons cloreto, no qual, ao atingir a barra de aço em um teor de aproximadamente 0,4% em relação à massa de cimento despassiva a armadura, iniciando o processo de corrosão (HELENE, 1993).

Os tetrápodes não apresentam problemas com penetração de cloretos, pois não possuem armadura estrutural. Os estudos da penetração de cloretos nos tetrápodes do Molhe Leste da Barra do Rio Grande RS têm por finalidade estudar a formação de perfis de cloretos para aplicar em ambientes similares.

Segundo GUIMARÃES (2003), estudando o perfil do Molhe Leste da Barra do Rio Grande-RS, obteve perfis de cloretos para a idade de 5 anos. Já SILVA (2010) em seu estudo, elaborou os perfis de cloretos restantes aos 5 anos e realizando os perfis aos 9,5 anos e OLIVEIRA (2013) estudou os perfis de cloretos para os 15 anos de idade

Os molhes da barra têm a finalidade de manter a profundidade do canal de acesso ao complexo portuário da cidade do Rio Grande e dar segurança às embarcações que dele se utilizam. Foram construídos nos anos entre 1910 e 1919, partindo do litoral para o oceano, visto que o Molhe Leste tinha um comprimento de 4220 metros (m) (Figura 1) e o Molhe Oeste com 3160 m (GUIMARÃES et al., 2003).

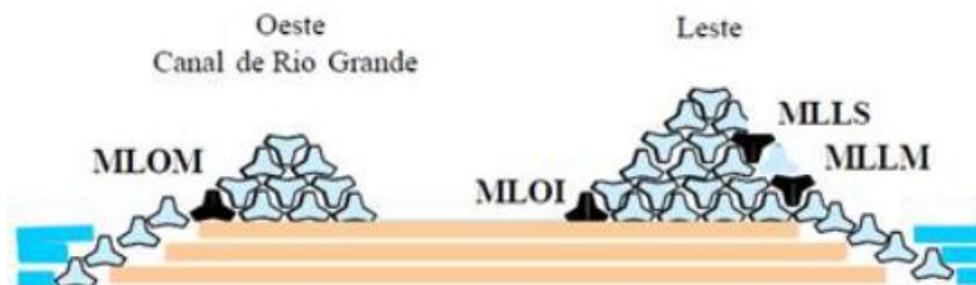


**Figura 1:** Molhes da Barra do Rio Grande RS. Canal de acesso ao complexo portuário de Rio Grande (Fonte: Ministério dos Transportes).

No Molhe Leste da Barra do Rio Grande RS, foram determinados pontos por GUIMARÃES, et al. (2003) de forma a serem representativos em relação ao comportamento da ação da água do mar e dos ventos naquela região, em uma

mesma seção no molhe. Os pontos dos microambientes escolhidos foram denominados de MLLS, MLLM, MLOM e MLOI, conforme a figura 2.

O significado das siglas utilizadas por GUIMARÃES (et al., 2003) na denominação dos microambientes pesquisados são: MLLS – Microambiente localizado no Molhe Leste, voltado para leste e em uma cota superior; MLLM – Microambiente localizado no Molhe Leste, voltado para leste e em uma cota média; MLOM – Microambiente localizado no Molhe Leste, voltado para oeste e em uma cota média; MLOI – Microambiente localizado no Molhe Leste, voltado para oeste e em uma cota inferior.



**Figura 2:** Esquema do Molhe Leste da Barra do Rio Grande RS com os microambientes pesquisados (Fonte: GUIMARÃES et al., 2003).

Deste modo, podem-se analisar as variáveis envolvidas no processo de desgaste superficial e a deterioração estrutural do concreto através do traçado de perfis de cloreto.

Portanto, torna-se viável estudar, desenvolver e aprimorar modelos matemáticos de análise de perfis de cloreto existentes e que poderão ser aplicados em projetos futuros de estruturas em concreto armado em ambientes marítimos.

## 2. METODOLOGIA

O concreto utilizado para elaboração dos tetrápodes foi o concreto massa com cimento Serrana, Portland especial para pré-moldados (CEP - 32), com finura Blaine entre 390 e 440, de alta resistência inicial, resistente a sulfatos e com, aproximadamente, 12% de cinza volante (CIENDEC, 1997).

Foram utilizadas pedra granítica como agregado graúdo e areia quartzosa como agregado miúdo. O concreto deveria alcançar 15 Mega Pascal (MPa) para ser considerado propício para desforma, o que era previsto em 24 h, e a resistência à compressão nominal aos 28 dias de projeto era de 26 MPa. A relação a/c variou bastante, de 0,37 a 0,60 (SILVA, 2010), sendo que a maioria dos valores se apresentou em torno de 0,50. A resistência à compressão aos 28 dias (fck) apresentou valores entre 27,6 MPa e 53,3MPa, sendo que a média foi de aproximadamente 32MPa (FURG, 1997-1998).

A metodologia se deu em função de visitas exploratórias ao local dos microambientes. A última visita foi realizada em 2017 quando os tetrápodes completavam 18 anos de monitoramento a partir da primeira coleta de dados em 1999. A cada visita eram retirados corpos de prova (CP's) dos microambientes com extratora própria para CP's de dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de comprimento. Além da extratora também eram recolhidos concreto na forma de pó por aspersão após utilização de furadeira para profundidades que variavam entre 10 e 120 mm. Com o material coletado, no laboratório, se fez a análise de

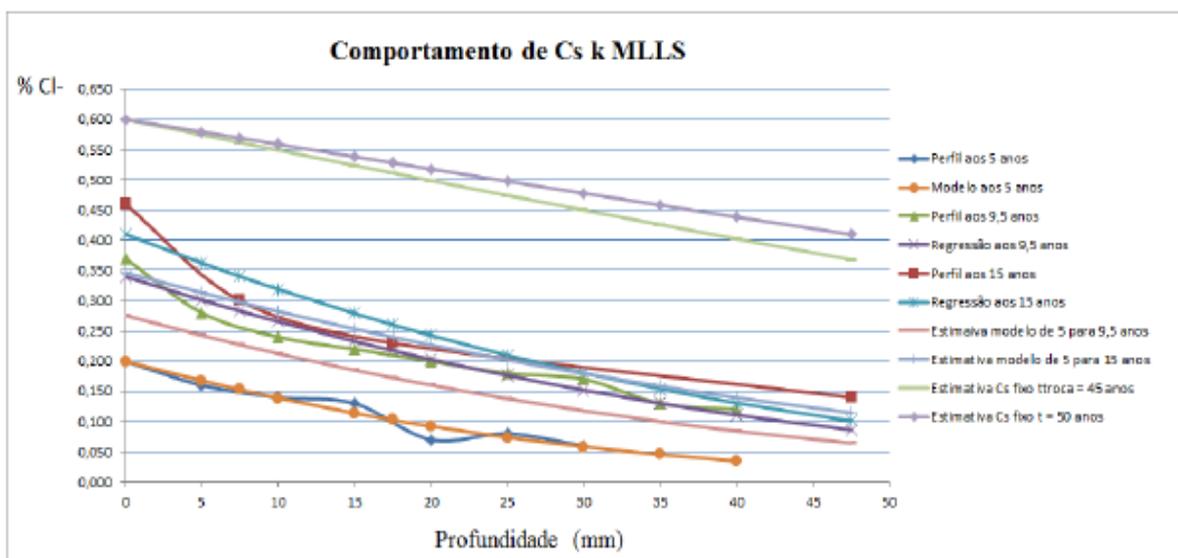
penetração de cloretos para o traçado do perfil e estimativa de vida útil para ambientes similares.

As análises foram feitas por um potenciômetro para verificar o percentual de cloretos em uma determinada profundidade. Utilizando o método de regressão pelo menor erro quadrado entre dois pontos, para deixar a curva característica do perfil de cloretos com o menor erro possível, elaboraram-se modelos para previsão do comportamento nos anos estabelecidos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta as medições de cloretos em função da profundidade, tendo por base o perfil aos 5 anos de idade, no concreto dos tetrápodes para o microambiente MLLS com a transposição do pico para a origem do eixo x (perfil aos 5 anos ajustado com o pico na origem). Com os valores desse perfil foi possível realizar a regressão representada na Fig. 3 através de um modelo aos 5 anos. Logo, determinou-se o teor de cloretos na superfície do concreto ( $C_s$ ) pelo menor erro quadrado, 0,200 % em relação à massa de concreto. Com o valor de  $C_s$  e o respectivo ano, do microambiente MLLS, 5 anos, obteve um  $k$  (determinado pela 2ª Lei de Fick) de 0,0894 %·ano<sup>-1/2</sup> e um coeficiente de difusão de cloretos ( $D$ ) = 134,7087 mm<sup>2</sup>/ano.

Pode-se observar na figura 3 os perfis, as regressões pelo menor erro quadrado aos 5, 9,5 e aos 15 anos, a previsão do comportamento do teor de cloretos em função da profundidade de 5 para 9,5 e 15 anos, estimativa de  $C_s$  fixo no tempo de troca ( $t_{troca}$ ) de 45 anos e a estimativa para 50 anos.



**Figura 3:** Comportamento do percentual de cloretos MLLS ( $k$ ) aos 5, 9,5 e 15 anos, previsão do comportamento do teor de cloretos aos 9,5 e 15 anos, tempo de troca e estimativa de  $C_s$  fixo  $t = 50$  anos.

Com base no gráfico pode se observar que aos 50 anos de exposição ao ambiente totalmente hostil de cloretos o percentual desses íons decresce, da superfície até a profundidade de 47,5 mm, de 0,350 para 0,110, aproximadamente. Quando o percentual de cloretos atinge 0,600% na superfície do concreto ele tende a ficar estagnado. Logo, o teor de cloretos aumenta para a mesma profundidade e podendo chegar a distâncias maiores da superfície do concreto.

Quando o ataque por íons cloreto atinge profundidades maiores a tendência de despassivação da armadura aumenta. Com isso, pode se prever a intensidade de penetração com o passar do tempo e tomar medidas preventivas que eliminem ou minimizem essas ações patológicas indesejadas.

#### 4. CONCLUSÕES

Ao passar dos anos de exposição, pela estimativa, pode se mencionar que o teor de cloretos diminui lentamente, porém pode atingir profundidades maiores que 47,5 mm. Essa penetração, para estruturas, é suficiente para despassivar a armadura de aço e dar origem a corrosão das armaduras. Processo que pode ocasionar o colapso de determinada construção, mas com a previsão é possível tomar medidas inibidoras para retardar o processo e aumentar a durabilidade.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HELENE, P. R. L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. 1993. Tese (livre docência) - Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- CIENTEC. **Relatórios de ensaios realizados durante a execução dos tetrápodes**. Porto Alegre, 1997.
- SILVA, C. A. **Comportamento dos perfis de cloreto em tetrápodes localizados nos molhes da barra (Rio Grande – RS – Brasil)**. 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.
- FURG – Fundação universidade Federal do Rio Grande, Centro de Pesquisas e Orientação Industrial. **Relatórios de Ensaios Realizados Durante a execução dos Tetrápodes. Rio Grande**, 1997 a 1998.
- CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**, second ed., Oxford Univ. Press, Oxford, UK, 1975
- GUIMARÃES, A. T. C.; BANDEIRA, F.; GUIMARÃES, D.; PENNA, L. **Durabilidade de Tetrápode de Concreto Contaminado com Íons Cloreto: estudo de caso**. 45º Congresso Brasileiro do Concreto, Espírito Santo. Anais. 2003.
- OLIVEIRA, J. C. P. **Avaliação de Modelo Considerando a Avaliação no Tempo do Teor de Cloretos na Superfície**. 2013. Monografia de Engenharia Civil – Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande.