

Intensidade de ataque de cloretos: considerações sobre a distância do concreto em relação à água do mar

Jorge L. O. Nunes¹; André. T. C. Guimarães²; Bianca P. Silveira³; Diogo L. C. Guimarães³; Márcia T. Oliveira³; Nadia D. Rodrigues³

¹ Mestrando em Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS

² Departamento de Materiais e Construção – FURG, Rio Grande, RS – atcg@mikrus.com.br

³ Graduandos do Curso de Engenharia Química – Laboratório de Química dos Materiais – FURG, Rio Grande, RS

RESUMO: A distância da água do mar têm sido demonstrado como um fator importante na agressividade de cloretos em corpos de prova expostos a ambiente marítimo. Esse trabalho tem por objetivo verificar a influência da distância da água do mar na intensidade de ataque de cloretos em estruturas de concreto armado em serviço. Essa pesquisa mostra que mesmo considerando por um longo período o efeito da secagem e molhagem, a distância da água do mar é um fator importante na intensidade de ataque de cloretos. O valor do teor de cloretos nas camadas mais próximas da superfície do concreto diminui acentuadamente até a distância de 630 m da água do mar. Assim, os modelos para estruturas localizadas nesse ambiente devem levar em conta este fator.

PALAVRAS CHAVES: concreto, durabilidade, cloreto

1. INTRODUÇÃO

A extensão da costa brasileira de 7048 Km banhada pelo oceano atlântico por si justifica a grande importância que representa o estudo da adequabilidade e durabilidade dos materiais de construção destinada ao desenvolvimento das construções na orla marítima.

São inúmeras obras importantes como complexos portuários, indústrias, obras de arte, barragens, edificações residenciais e comerciais, etc. O concreto nestas obras se caracteriza como material de uso fundamental.

A investigação da deterioração do concreto começou pela observação e estudo dos concretos submetidos à ação da água do mar. Estes foram os primeiros e puderam ser apreciados durante anos e datam de 1841, nas obras portuárias de Argel [2].

As estruturas de concreto não são todas iguais, diferem, além da concepção tipológica e resistente, quanto à durabilidade, tendo cada uma delas em certos casos, uma vida útil difícil de determinar.

A escolha de um processo construtivo varia em função, primeiramente, do custo, ou seja, obedece a razões econômicas.

Uma estrutura pode ter vida determinada prevista sob condições também determinadas e ser construída em função disso, mas sempre se levando em consideração que, quando atingir o final do período útil para o qual foi concebido, terá que ser substituída ou então reparada e reforçada, isto dependerá de um estudo econômico comparativo entre o custo das reparações e reforços e o custo que supõe para a demolição e construção de uma nova estrutura.

Muitas obras deixadas por civilizações antigas ainda hoje são objeto de nossa admiração, não só pela beleza e grandiosidade, mas também pela durabilidade. Templos, pirâmides, aquedutos, galerias, muralhas e outros monumentos atravessaram muitos séculos e algumas pelo menos até milênios, resistindo ao tempo e as intempéries. Importantes construções antigas, em concreto, podem ser destacadas, a maioria em uso atualmente [2]:

- Ponte sobre o Danúbio, Budapeste, 1820 (sobre camada de argila agressiva).
- Fábrica de Gás, Greenwich, 1900 (Reservatório com 10m de profundidade).
- Casa de Concreto, Newcastle, Inglaterra, 1884 (foi demolida em 1954, mas o concreto e armadura encontravam-se em perfeitas condições).
- Neckar, Stuttgart, 1920 (eclusas do canal de navegação, 1,5 milhões de m³).

Os modelos de vida útil de estruturas de concreto em ambiente marítimo, normalmente consideram apenas os micros ambientes zona submersa, zona de maré, zona de respingo e zona de névoa.

Algumas pesquisas têm demonstrado que a zona de névoa apresenta uma intensidade de ataque que varia com a distância da água do mar, sendo que esse fator normalmente não é considerado nos modelos de vida útil ou em normas vigentes como NBR 6118 - 2003 – Projeto de estruturas de concreto, EHE-99 – Instrucción de hormigon estructural, BS 8110-97 Structural use of concrete – Part 1. Code of practice for design and construction e ACI Committee 318/318R-96 – Code interpretation of building code requirements for reinforced concrete.

CASTRO et al. [4] realizaram ensaios em corpos de prova de 7,5 cm de diâmetro e 15 cm de comprimento, expostos em zona de névoa a 50 m, 100 m e 780 m, por 24 meses, observando uma grande diminuição da intensidade de penetração de cloretos de 50 m para 780 m.

COSTA [5] realizou ensaios com corpos de prova de argamassa de 50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, expostos de 72m a 4705m em relação à água do mar, por cinco meses, observando que a intensidade de penetração de cloretos diminuiu muito de 72 m até 532 m. Salienta-se que esses corpos de prova estavam expostos sob uma cobertura, diminuindo drasticamente o efeito de secagem e molhagem.

MEIRA et al [7] também mostram uma grande redução do teor de cloretos em função da variação da distância da água do mar em corpos de prova. MEIRA et al. (2003) obtiveram perfis com picos sendo que os valores nesses pontos aumentaram em 250% da distância de 10 m para 250 m, em relação a água do mar.

Portanto, as pesquisas de CASTRO et al. [4], COSTA [5] e MEIRA et al. [7] relacionando a intensidade de ataque à distância horizontal da água do mar foram realizadas em corpos de prova pequenos e com um tempo de duração curto em relação à vida útil de uma estrutura de concreto.

O objetivo dessa pesquisa é observar em estruturas de concreto existente se o efeito de secagem e molhagem tem capacidade de aumentar a intensidade de ataque por cloretos em uma estrutura com mais de 15 anos de uso e com distância da água do mar superior a 1000 m.

2. OBRAS PESQUISADAS

Foram utilizadas duas estruturas de concreto armado com idade superior a 15 anos, localizadas na praia do Cassino, em Rio Grande, RS, Brasil, para verificar a influência da distância da água do mar sobre a intensidade de ataque de íons cloreto sobre o concreto (Fig. 01).

Serão também utilizadas duas obras de pesquisas anteriores: cais do TECON [6] e Torre de Telecomunicações [3], ambas em Rio Grande, RS (Fig. 01).

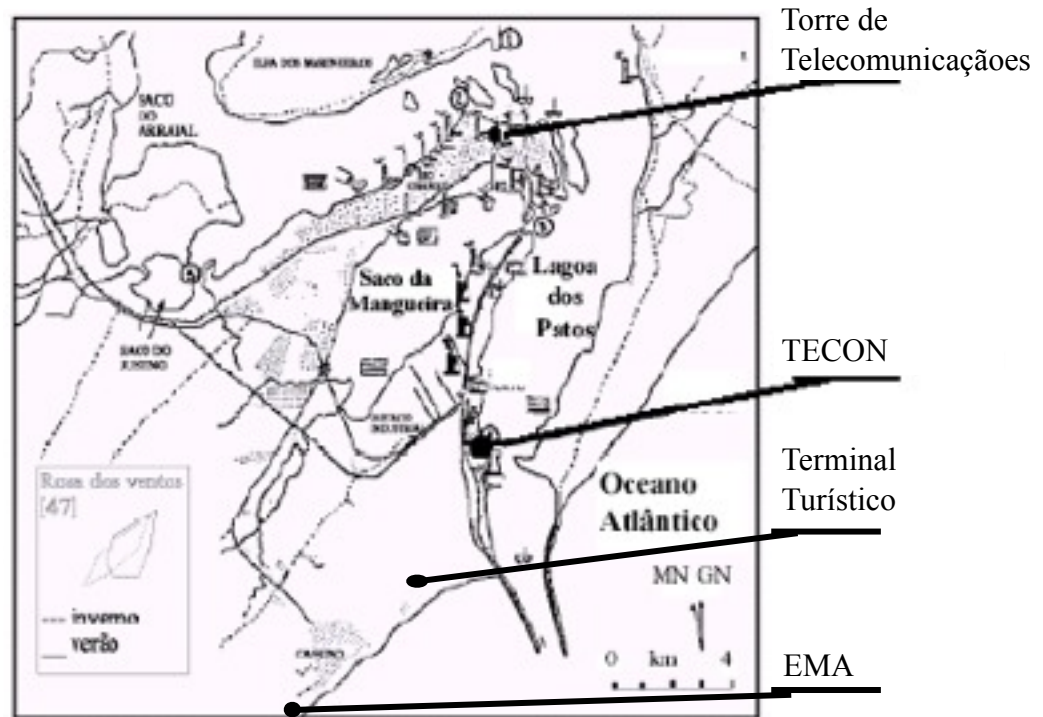


Figura 01 - Localização das estruturas pesquisadas

2.1. Primeiro estudo de caso

2.1.1. Ação ambiental

A peça estrutural utilizada nesta pesquisa é a viga de cobertura do Terminal Turístico da Praia do Cassino, com distância horizontal do mar de 630 m, traço de concreto a ser resgatado, localizada em zona de névoa marinha (Fig. 02). Essa estrutura foi abandonada a mais de 15 anos.



Figura 02 – Viga da estrutura abandonada do Terminal Turístico – Praia do Cassino – Rio Grande - RS

2.1.2. Característica do concreto

O traço do concreto será resgatado na continuidade da pesquisa, serão extraídos testemunhos conforme ASTM C42-94 – Standard Test Method for Obtaining and Testing drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.

2.1.3. Metodologia Amostral

Foram realizados 20 furos, diâmetro de 1/2” a cada 5 mm, até profundidade de 30 mm, para retirada de amostra pulverizada.

Com este material foi feita análise de teor de íons cloretos solúvel em ácido, conforme ASTM C 1152/90.

As extrações foram realizadas nas faces sudeste e noroeste da viga e os perfis de cloretos obtidos são apresentados na Fig. 03 e Fig. 04.

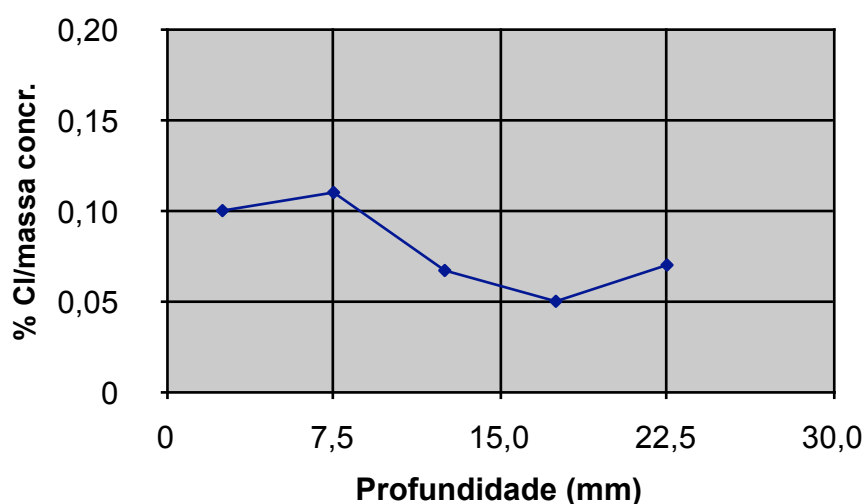


Figura 03 – Perfil de cloretos da viga do Terminal Turístico – lado sudeste – face voltada para o mar

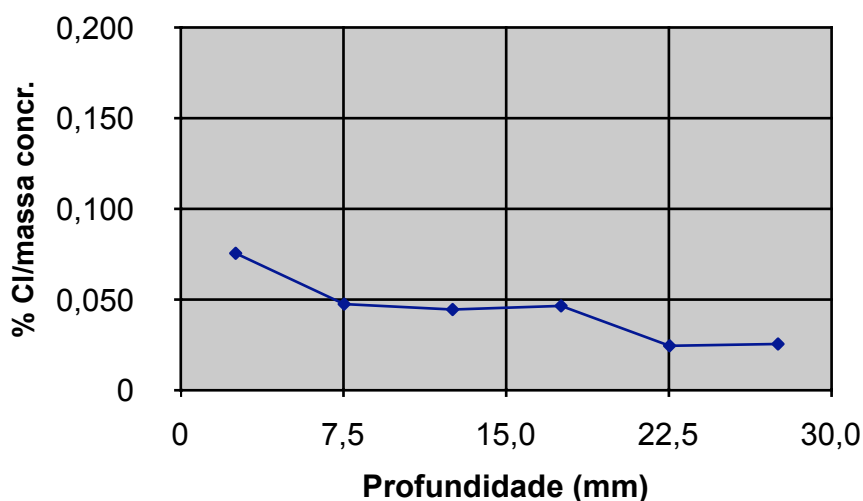


Figura 04 – Perfil de cloretos da viga do Terminal Turístico – lado noroeste

2.2. Segundo estudo de caso

2.2.1 Ação ambiental

A segunda peça estrutural utilizada nesta pesquisa é a laje de cobertura da casa de bombas da EMA (Estação Marítima de Aquacultura – FURG) localizada na Querência, com distância horizontal do mar de 160 m, traço de concreto a ser resgatado localizada em zona de névoa marinha (Fig. 05).



Figura 05 – Casa de bombas da EMA – Praia do Cassino - Rio Grande - RS

2.2.2. Características do concreto

O traço do concreto será resgatado na continuidade da pesquisa, serão extraídos testemunhos conforme ASTM C-42-94 - Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled and Sawed Beams of Concrete.

2.2.3. Metodologia Amostral

Foram realizados 20 furos, diâmetro de 1/2” a cada 5 mm, até profundidade de 30 mm, para retirada de amostra pulverizada.

Com esse material foi feita análise de teor de íons cloreto solúveis em ácido, conforme ASTM C 1152/90.

A extração foi feita nas faces noroeste (Fig. 06), sudeste (Fig. 07), nordeste (Fig. 08) e sudoeste (Fig. 09).

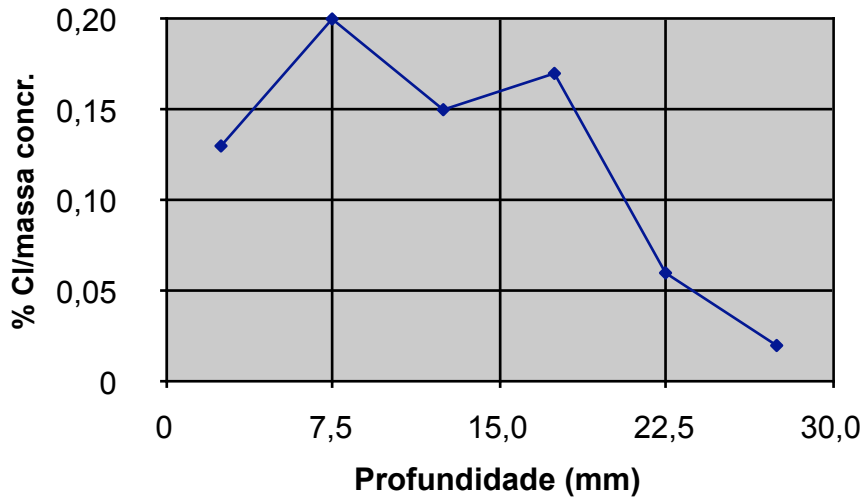


Figura 06 – Perfil de cloretos na face lateral da laje da EMA – lado noroeste

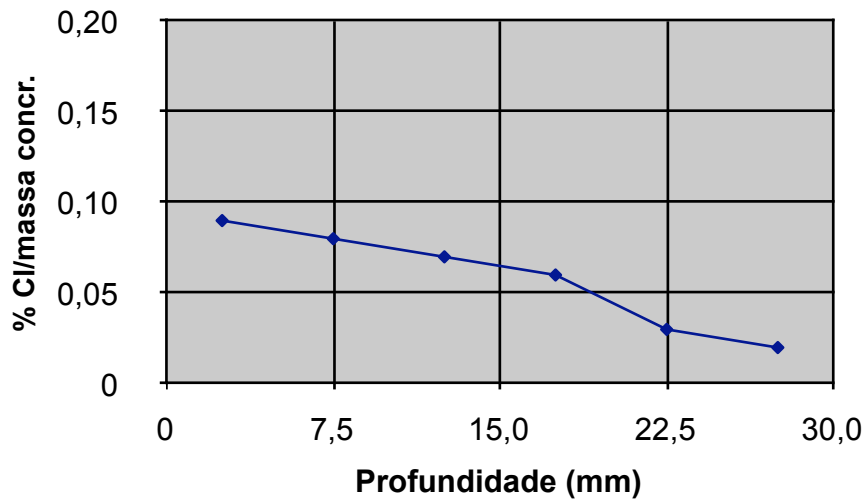


Figura 07 – Perfil de cloretos na face lateral da laje da EMA – lado sudeste - face voltada para o mar

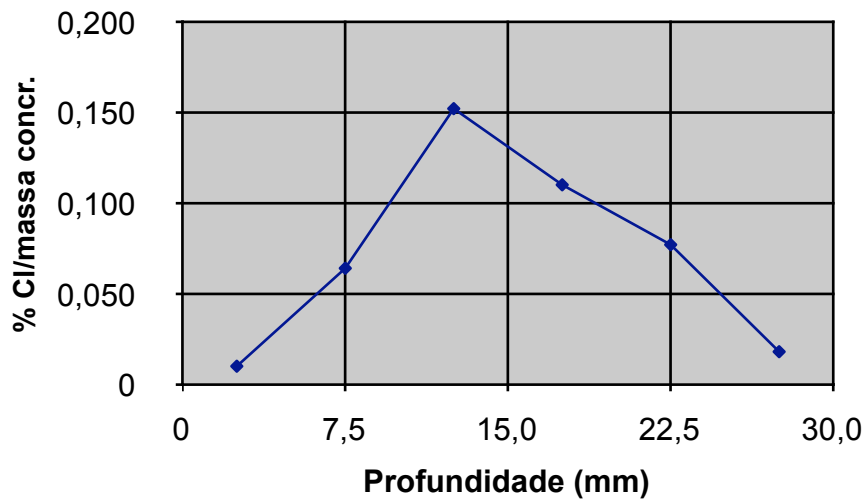


Figura 08 – Perfil de cloretos na face lateral da laje da EMA – lado nordeste

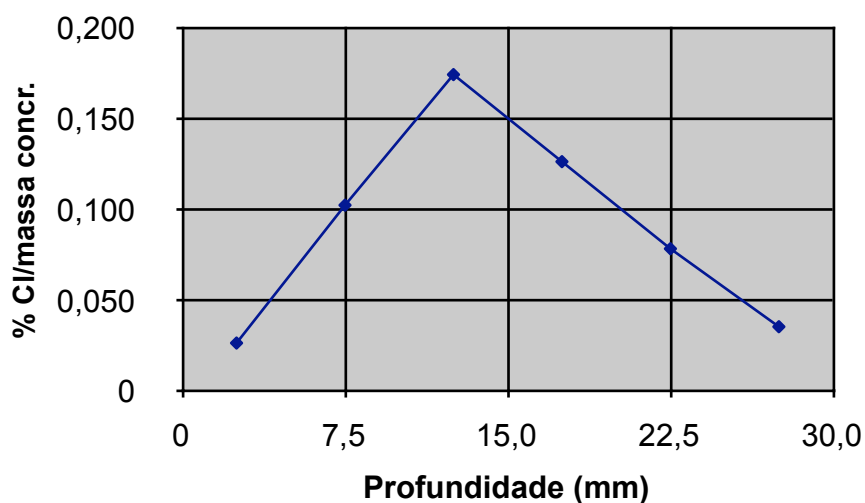


Figura 09 – Perfil de cloretos na face lateral da laje da EMA – lado sudoeste

2.3. Estudo de caso de GUIMARÃES [6] - TECON

2.3.1. Meio ambiente

O elemento estrutural pesquisado por GUIMARÃES (2000) é a viga de um trecho do paramento do cais do Terminal de Containers-TECON, que se situa em zona de névoa. O cais está localizado em porto marítimo da cidade do Rio Grande – Brasil (Fig. 01).

A distância no sentido horizontal da água do canal do Rio Grande é nula, sendo sua altura em relação a média das marés máximas para medições de 1965 a 1975 é de 2,02 m (GUIMARÃES, 2000). A média anual da salinidade da água do canal do Rio Grande próximo ao cais do TECON é de 9,71 ‰, sendo o da água do mar de 34 ‰ (BAUMGARTEN, 1987).

2.3.2. Características do concreto

Foram extraídos testemunhos, conforme ASTM C 42-94 - Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete, e realizados ensaios de caracterização, além dos dados obtidos em relatórios de execução da obra. Obteve-se o perfil do teor de cloretos com material extraído com furadeira a cada 5 mm de profundidade (20 furos em cada um dos seis pontos dos 50 m de um trecho do cais que tem um total de 300 m).

O concreto da estrutura foi executado com agregado graúdo de origem granítica britada com diâmetro máximo ($D_{máx}$) de 38 mm e a areia é quartzosa.

O aglomerante utilizado é pozolânico com 34% de cinza volante com um consumo de 403 kg/m³. A relação a/c é de 0,44 obtendo-se um f_{ck} de 23,4 MPa, conforme NBR 7680-83 - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto.

Com 22 anos de uso (idade da extração) apresentou massa específica de 2275 kg/m³ e absorção por imersão e após ferver de 5,28 % conforme ASTM C 642-90 - Standard test method for specific gravity, absorption, and voids in hardened concrete.

O perfil de penetração de cloretos solúveis em ácido em relação a massa de concreto, correspondente a face leste, é mostrado na Fig. 10, sendo que a concentração de 0,07% de

cloretos em relação à massa de concreto equivale a concentração de 0,4 % de cloretos em relação a massa de cimento.

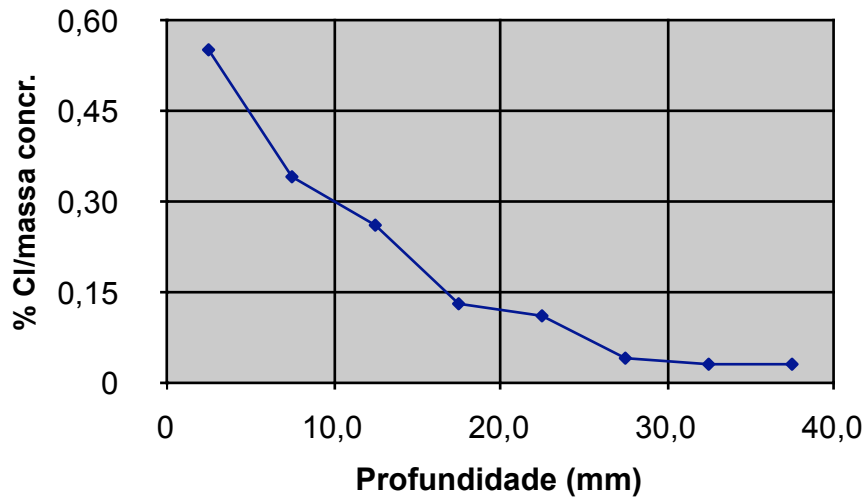


Figura 10 – Perfil de cloretos na face vertical da viga do paramento do TECON [6]

2.4. Estudo de caso de [3] – Torre de Telecomunicações

2.4.1. Meio ambiente

A torre de telecomunicações possui 62 metros de altura de forma cilíndrica, com acesso ao topo por escada interna.

Foram pesquisados quatro pontos a 40 metros de altura situados ao norte, sul, leste e oeste da torre.

A menor distância no sentido horizontal, a leste da torre de telecomunicações, até o canal do Rio Grande é de 2200 m (Fig. 01).

A média anual da salinidade da água do canal do Rio Grande próximo a esse ponto é de 7,16 ‰, sendo o da água do mar de 34 ‰ [1]. A menor distância no sentido horizontal, ao norte da torre de telecomunicações, até o canal do Rio Grande é de 450 m (Fig. 01). A média anual da salinidade da água da Lagoa dos Patos próximo a esse ponto é de 7,17 ‰ [1].

2.4.2. Características do concreto

Foram extraídos testemunhos, conforme ASTM C 42-94, e realizados ensaios de caracterização, além dos dados obtidos em relatórios de execução da obra. O concreto da estrutura foi executado com sistema de fôrmas deslizantes utilizando cimento Portland comum.

A resistência a compressão de projeto é de 15 MPa e a estimada com a extração de testemunhos é de 25,4 MPa aos 30 anos (idade da extração) e 21,2 MPa aos 28 dias (conforme NBR 7680-83).

Com 30 anos de uso apresentou massa específica de 2345 kg/m³ e absorção por imersão após fervura de 3,45% conforme ASTM C 642-90.

Obteve-se o perfil do teor de cloretos com material extraído com furadeira a cada 5 mm de profundidade (25 furos em cada um dos quatro pontos pesquisados).

Nos quatro pontos pesquisados os perfis foram obtidos por medições de teor de cloretos solúveis em ácido (ASTM C 1152-90). Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Química dos Materiais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT.

Em todos os pontos pesquisados nessa estrutura o teor de cloreto foi bastante reduzido, sendo o ataque mais intenso é apresentado na Fig. 11, que corresponde ao perfil do lado leste.

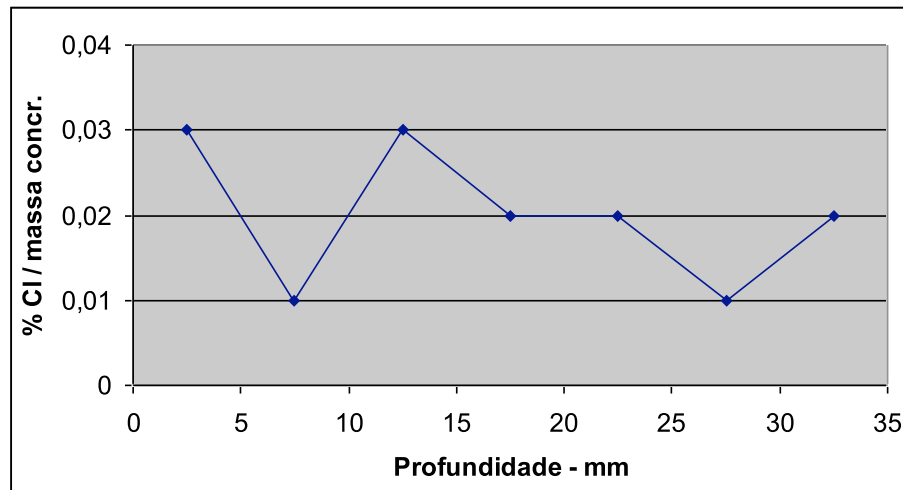


Figura 11 – Perfil de cloretos solúveis em ácido na face leste – Torre de Telecomunicações [3]

3. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Para avaliar-se os resultados serão comparados os maiores teores de cloretos próximos à superfície de cada estrutura.

Foi considerado que normalmente o teor de cloretos em relação à massa de cimento equivale entre 5 a 6 vezes o teor de cloretos em relação a massa de concreto.

No concreto do Terminal Turístico o percentual de cloretos totais máximo é de 0,11% em relação à massa de concreto que equivale a 0,55% a 0,66% em relação à massa de cimento e encontra-se a uma profundidade de 7,5 mm.

No concreto da EMA o percentual de cloretos totais máximo é de 0,20% em relação à massa de concreto, que equivale a 1,0% a 1,2% em relação a massa de cimento, encontrando-se uma profundidade de 7,5 mm.

No TECON o teor de cloretos solúveis em ácido mais alto foi obtido na primeira camada, sendo seu valor de 0,55% em relação à massa de concreto que equivale a 3,10% em relação a massa de cimento.

Na Torre de Telecomunicações o teor mais alto também foi na camada mais externa sendo seu valor de 0,03% em relação à massa de concreto, que equivale a 0,15% a 0,18% em relação à massa de cimento.

Na Fig. 12 são comparados os valores obtidos no TECON, EMA e Terminal Turístico, pois são estruturas pesquisadas com baixas alturas em relação ao nível do mar. Observa-se uma

grande influência da distância da água do mar sobre o teor de cloretos depositados nas camadas mais externas do concreto.

A Torre de Telecomunicações apresenta uma menor intensidade de ataque sendo que além da distância da água do mar, o ponto pesquisado encontra-se a uma altura relativamente alta.

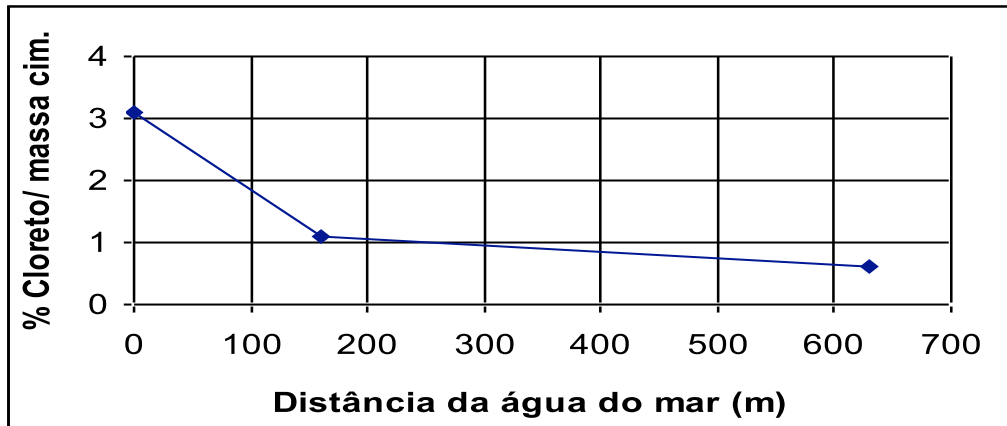


Figura 12 – Teor de cloreto em relação a massa de cimento nas camadas mais externas da estrutura de concreto em função da distância da água do mar – TECON: distância de zero metros; EMA: distância de 160 m; Terminal Turístico: distância de 630 m

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa mostra que mesmo considerando por um longo período o efeito da secagem e molhagem, a distância da água do mar é um fator importante na intensidade de ataque.

O valor do teor de cloretos nas camadas mais próximas da superfície do concreto diminui acentuadamente até a distância de 630 m da água do mar.

Esse estudo terá continuidade avaliando os traços a serem reconstituídos e calculando por regressão dos perfis obtidos, os valores do teor de íons cloreto na superfície externa das estruturas pesquisadas.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FAPERGS e FURG pelo apoio indispensável a realização desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

1. BAUMGARTEN, M. G. Z. **Avaliação de *Balanus improvisus* como indicador dos níveis metálicos do estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil)**. Rio Grande, 1987. Tese (Mestrado), Fundação Universidade do Rio Grande, Oceanografia Biológica.
2. BICZÓK, I. **Corrosion y proteccion del hormigon**. Trad. Emilio J. Dócon Asensi. Bilbao, Ediciones Urmo, 1972.
3. CASTAGNO JUNIOR, R. **Durabilidade do concreto armado em atmosfera marinha**. Rio Grande, 2002. Dissertação (Mestrado), Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Engenharia Oceânica.
4. CASTRO, P.; DE RINCÓN, O. T.; PAZINI, E. Chloride penetration profiles in Marini environments. In: II INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH-PERFORMANCE

CONCRETE, AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, Gramado. **Anais**. ACI SP-186, p. 371-389, 1999.

5. COSTA, E. A. L. **Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador**. Porto Alegre, 2001. Tese (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Civil.
6. GUIMARÃES, A. T. C. **Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos**. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Engenharia Civil.
7. MEIRA, G. R.; PADARATZ, I. J.; ALONSO, M. C.; ANDRADE, M. C. Agressividade por cloretos em estruturas de concreto em ambientes de atmosfera marinha. In.: 45^o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Vitória. **Anais**. IBRACON, 2003.