

PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETOS EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS GERADA PELA AÇÃO DO AEROSSOL MARINHO EM NATAL/RN.

Alexs Melo dos Santos¹
Hugo Mozer Barros Eustáquio²

RESUMO: As estruturas localizadas em regiões marítimas sofrem constantemente ataques por agentes agressivos, sendo os íons cloretos os causadores dos maiores danos quando atingem níveis elevados. A ação do íon cloreto, em conjunto com as características climatológicas, pode vir a causar danos irreversíveis a uma estrutura de concreto armado. O principal objetivo deste estudo é avaliar a interação da ação de cloretos nas estruturas de argamassas situadas na cidade de Natal/RN. Para fundamentar a pesquisa, foram realizados ensaios químicos para determinar a profundidade de penetração dos cloretos em corpos de provas de argamassa, através da aspersão de solução de nitrato de prata. Obtiveram-se resultados satisfatórios com o método colorimétrico, havendo um aumento gradual do teor de cloretos à medida que se aproxima do mar.

Palavras-chave: Íons cloretos. Agentes agressivos. Corrosão.

ABSTRACT: The structures located in marine regions are constantly attacked by aggressive agents, with chloride ions causing the greatest damage when they reach high levels. The action of the chloride ion in conjunction with the climatological characteristics may cause irreversible damage to an reinforced concrete structure. The main objective of this study is to evaluate the interaction of chloride action in mortar structures located in the city of Natal / RN. To substantiate the research, chemical tests were carried out to determine the depth of penetration of the chlorides in bodies of mortar proofs, through the sprinkling of silver nitrate solution. It was possible to obtain satisfactory results with the colorimetric method, there was a gradual increase of the chloride content as it approaches the sea.

Keywords: Chloride ions. Aggressive agentes. Corrosion.

1 INTRODUÇÃO

A zona marinha de Natal apresenta um perfil de exposição que deve ser cuidadosamente analisada pelos engenheiros projetistas, a fim de garantir a vida útil das estruturas localizadas nessas regiões.

¹ Engenheiro Civil formado no Centro Universitário UNIFACEX. E-mail: alexmelo_18@hotmail.com.

² Engenheiro de Materiais (UFRN) com graduação também em Tecnologia em Controle Ambiental (IFRN) e Mestrado em Engenharia Sanitária (UFRN). Atualmente é Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais-UFRN (Conceito 6 - CAPES). Sua pesquisa esta concentrada na área de desenvolvimento de materiais cerâmicos e materiais adsorventes. Atua como professor no Centro Universitário UNIFACEX, nas disciplinas de Materiais de Construção e Saneamento ambiental, nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura. E-mail: hugoeustaquio@unifacex.edu.br.

Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 03 de Maio de 2018; aprovado em 02 de Julho de 2018.

Para verificar qual ambiente necessita de uma maior atenção, são desenvolvidas classificações que identificam a agressividade ambiental, as quais estão vinculadas a um determinado tipo de ambiente e ao risco de deterioração que os agentes agressivos correspondem.

De acordo com a norma brasileira NBR 6118 (2014), existem quatro classes para classificar agressividade do ambiente a estruturas. A partir dessas classes é possível constatar que o ambiente da cidade do Natal está inserido em três categorias, que são elas: II (Risco moderado: Urbana), III (Risco forte: Marinha e Industrial) e na classe IV (Risco muito forte: Respingo de maré e industrial), (Tabela 1).

A visão estrutural frente ao aerossol marinho não apresenta um caráter realista, dado que os projetistas trabalham sem subsídios científicos a nível local, adotam parâmetros de superdimensionamento, gerando um custo excessivo e desnecessário para a obra. Segundo Silva (2011), o ambiente marinho pode ser enquadrado dentro da classe III, onde há presença de névoa salina, ou dentro da classe IV, que corresponde a uma zona de respingos de maré.

De acordo com Helene (1986), a corrosão da armadura em ambientes marinhos é cerca de 30 a 40 vezes maior do que a que ocorre em atmosfera rural, considerada pura (sem contaminantes). O teor de íons cloreto no ar atmosférico poderia ser utilizado como um novo critério para o projeto de estruturas de concreto em zonas de atmosfera marinha (SILVA, 2011).

Nesse sentido, torna-se necessário, em Natal, estudos que busquem o mapeamento da presença de agentes agressivos oriundos da contribuição salina, caracterizando, assim, o alcance da maresia e sua contribuição nas concentrações de cloretos nas estruturas de concreto.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a presença de cloretos em materiais cimentícios gerada pela ação do aerossol marinho. Apresentando o nível de exposição das estruturas da orla de Ponta Negra Natal/RN, onde se leva em consideração a distância em relação ao mar.

Para tal, serão necessários:

- Identificar de modo qualitativo a concentração de cloretos em diferentes regiões da área estudada;
- Reproduzir no laboratório as condições de concentração de cloreto reais identificadas e analisar as consequências em concreto e armações;
- Realizar ensaio colorimétrico.

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|--|------------------------------------|
| I | Fraca | Rural | Insignificante |
| | | Submersa | |
| II | Moderada | Urbana a, b | Pequeno |
| III | Forte | Marinha a | Grande |
| | | Industrial a, b | |
| IV | Muito forte | Industrial a, c | Elevado |
| | | Respingos de maré | |

a *Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).*

b *Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.*

c *Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.*

Fonte: adaptação da NBR- 6118, 2014.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

A cidade do Natal está localizada na latitude 05°47'42'' e longitude 35°12'34'', com altitude média de 30 m acima do nível do mar, (FIGUEIREDO, 2008). Ao leste é delimitado pelo Oceano Atlântico, tendo sua faixa litorânea estendendo-se pela zona Norte, Leste e Sul, distribuída por uma distância de aproximadamente de 21 km, sendo as zonas Leste e Sul detentoras da maior densidade de grandes edifícios em concreto armado. A localização da cidade do Natal é um grande fator que torna o ambiente agressivo às estruturas.

2.1 A DURABILIDADE E A AGRESSIVIDADE DO MEIO AMBIENTE

A NBR 6118 (2014) expõe que a durabilidade consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de laboração do projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

Para uma melhor compreensão da agressividade marinha, vários autores (Helene, Mehta e Monteiro, 1994) dividem este ambiente em diferentes níveis de exposição de uma estrutura inserida em uma área salina. Assim é possível relacionar a localização da estrutura e o tipo de deterioração provocada pela exposição em cada zona, (Tabela 2).

O ambiente marinho apresenta vários agentes agressivos que atacam as estruturas, constituindo um alto risco de deterioração, os íons cloretos são um dos agentes mais agressivos. De acordo com HELENE (1986), o principal agente que ataca o concreto estrutural é o cloreto, oriundo de ambientes marinhos e dos compostos de fabricação do concreto.

Segundo Sousa (2005, apud FIGUEIREDO, 1993), ação dos íons cloreto é um dos problemas mais sérios que pode ocorrer em uma estrutura. Costa (2001), também alerta para a deposição de íons cloreto na estrutura, pois esta é catalisada pelo ambiente úmido e rico em oxigênio (O_2), podendo a corrosão desencadeada pelos cloretos ocasionar o colapso da estrutura.

Tabela 2- Correspondência entre a localização da estrutura de concreto e o tipo de deterioração observado (Helene, 1993; Mehta e Monteiro, 1994.).

| Área | Características | Tipos de deterioração |
|--|---|--|
| Zona de atmosfera marinha (névoa salina) | O concreto nunca está diretamente em contato com a água do mar, porém é atingido pela névoa salina que vem do oceano. O nível de cloretos normalmente cai à medida que as construções se afastam do mar, mas, em alguns casos, dependendo do tipo da costa e da direção preferencial dos ventos, a névoa salina pode penetrar até muitos quilômetros do litoral (com baixos teores). | <ul style="list-style-type: none"> ▪ corrosão da armadura induzida por cloretos ▪ danos causados pelo efeito do frio |
| Zona da variação das marés | O concreto está submetido à ação dos ciclos de molhagem / secagem, onde há uma combinação dos mecanismos absorção e difusão de íons no concreto, retendo uma grande quantidade de cloretos no interior do material. Além disso, existe o efeito físico do choque das ondas e partículas em suspensão, que podem causar lascamentos das camadas superficiais do material. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ corrosão da armadura induzida por cloretos ▪ abrasão pela ação das ondas, gelo ou outros objetos. ▪ ataque biológico causado por microorganismos ▪ ataque químico ao concreto |
| Zona submersa | O processo de difusão é o único mecanismo de transporte atuante. Contudo, o concreto pode estar sujeito à ação de ataques químicos, principalmente por íons magnésio ou sulfato, normalmente com baixa intensidade quando utilizados cimentos resistentes à sulfetos. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ ataque químico ao concreto ▪ ataque biológico causado por microorganismos |

Fonte: Souza, 2005.

2.2 FORMAÇÃO DO AEROSSOL MARINHO

A maior parte das águas do mar é razoavelmente uniforme em sua composição química, que se caracteriza pela presença de cerca de 3,5% de sais solúveis em sua massa (MEHTA e MONTEIRO 2014). Os mesmos autores ainda ressaltam que as concentrações de Na^+ e Cl^- são as mais altas, normalmente 11.000 e 20.000 mg/l, respectivamente. A norma DIN 4030 (1991) apresenta as quantidades dos principais íons contidos no Oceano Atlântico, (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição iônica do Oceano Atlântico (DIN 4030 (1991)).

| Íons | Quantidade de íons(mg/L) |
|-----------------|--------------------------|
| SO ₄ | 2.800 |
| Mg | 1.300 |
| Ca | 400 |
| CT | 19.900 |
| Na | 11.000 |
| K | 400 |

Fonte: DIN 4030,1991.

Segundo Fitzgerald (1991), a formação do aerossol marinho tem origem na agitação da superfície do mar ocasionada pelo vento. Esse efeito gera bolhas de ar que logo explodem, produzindo gotículas em forma de jorro, película ou espuma.

Na zona de quebra das ondas, também geradas pelos ventos e movimentos das marés, há formação elevada dessas gotículas, compostas de sais cristalizados, que em seguida são transportados em direção ao continente.

O aerossol, quanto ao tamanho de suas partículas, pode ser dividido em dois grandes grupos: o primeiro, formado por partículas depositáveis ($\varnothing \geq 10 \mu\text{m}$) e outro, formado por partículas flutuantes ($\varnothing < 10 \mu\text{m}$), (MORCILLO, 2000).

2.2.1 Fatores que influenciam o transporte do aerossol marinho

O vento tem um papel muito importante na formação das ondas e, por consequência, do aerossol marinho. Existe uma relação direta entre a velocidade do vento com a quantidade do aerossol, quando a velocidade do vento aumenta há um aumento na quantidade de partículas presentes no aerossol, contribuindo para o acréscimo da concentração salina (SILVA, 2001).

Segundo Meira (2006), o vento em velocidades a partir de 3 m/s desenvolve efeito acentuado na deposição de cloretos, apresentando maior concentração salina em determinadas épocas do ano e dependendo de cada região. Em regiões com elevado grau de agressividade, a velocidade do vento pode ser um acelerador deste processo.

De acordo com Garcia (2008), o vento tem uma grande importância como agente de degradação, pois atua no transporte de íons, seja na forma de partículas sólidas e/ou através de

gotas de solução salina, nos ciclos de molhagem/secagem e, de maneira indireta, na formação de ondas e correntes.

Para Vitali (2013), o aerossol se move mais rapidamente com ventos mais fortes e, portanto, as partículas com maior tempo de residência, podem viajar mais longe, o que faz com que a zona de atmosfera marinha tenha sua faixa alargada.

A altitude é outro fator que influencia na movimentação do aerossol. De acordo com Blanchard (1984), há um decréscimo na concentração de sais à medida que se aumenta a altitude em relação à superfície do mar, o que se acentua nos metros mais próximos à orla.

Isso é chamado de perfil vertical do aerossol, as diferentes alturas (2, 3, 4 e 5 metros) em relação ao mar, para velocidades de vento variando de 7,9 m/s a 9,2 m/s, observa-se que o aumento brusco da concentração salina de dois para três metros de altura deve-se ao fato que os jatos das bolhas de ar que estouram das ondas são lançados a alturas de até três metros do mar, concentrando o aerossol nesta faixa de altura.

A distância em relação ao mar é o parâmetro mais importante no estudo da corrosão ocasionada pelos agentes agressivos presente na zona de atmosfera marinha, permite visualizar a redução da agressividade por cloretos com o distanciamento em relação ao mar.

Pontes (2006) realizou uma pesquisa na Praia de Boa Viagem, em Recife – PE e concluiu que a deposição de cloretos decresce à medida que há um distanciamento em relação ao mar, numa relação exponencial, do tipo $y = a \cdot e^{-bx}$, onde, y é a deposição de cloretos, expressa em $\text{mg/m}^2 \cdot \text{dia}$, x é a distância em relação ao mar, a e b são constantes que podem assumir qualquer valor, dependendo do ambiente analisado.

Segundo Pontes (2006, apud Gustafsson e Franzén, 1996; Morcillo et al., 2000), à medida em que há um distanciamento em relação ao mar, o efeito gravimétrico e a fricção com obstáculos do aerossol marinho assumem maior participação no fenômeno, contribuindo para que haja uma diminuição da concentração salina com o aumento da distância em relação ao mar.

De acordo com estudo realizado por Costa (2001), para a determinação do Potencial de Agressão dos Sais Marinhos sobre as Argamassas de Revestimento na Região Metropolitana de Salvador, por meio de ensaios em corpos-de-prova de argamassa, expostos às distâncias de 72 m a 4705 m em relação ao mar e localizados na região metropolitana de Salvador/BA, conclui-se que o potencial de agressão aos materiais expostos ao aerossol marinho é aproximadamente oito vezes maior para distâncias até 500 m em relação ao mar.

2.3 ATAQUE DE ÍONS CLORETOS

Diversos estudos sobre durabilidade de estruturas apontam a ação dos íons cloretos como um dos principais causadores da corrosão das armaduras do concreto.

Os íons cloretos podem chegar até o concreto de diversas formas, as principais são o uso de aceleradores de pega que contêm CaCl_2 , impureza na água de amassamento e nos agregados, processos industriais e água do mar e aerossol marinho (SILVA, 2001).

De acordo com Andrade (1992), os íons cloreto podem ser encontrados em duas formas: livres na água dos poros e/ou combinados C_3A e o C_4AF do cimento, formando os cloroaluminatos e cloroferratos. O conjunto de cloretos livres e cloretos combinados é chamado de cloretos totais.

Segundo Andrade (1992), apenas os cloretos livres são os agentes nocivos à armadura, mas os cloretos combinados na forma de cloroaluminatos e cloroferratos podem tornar-se livres através de reações, como, por exemplo, a carbonatação devido à elevação da temperatura do concreto.

Para SILVA (2006) dependendo da concentração dos íons cloreto e das características dos elementos de concreto como porosidade e permeabilidade, sua ação poderá ser nefasta sobre a armadura do concreto. Os íons cloreto atacam de forma pontual, ocasionando uma corrosão localizada, ou por pites, (Figura 1).

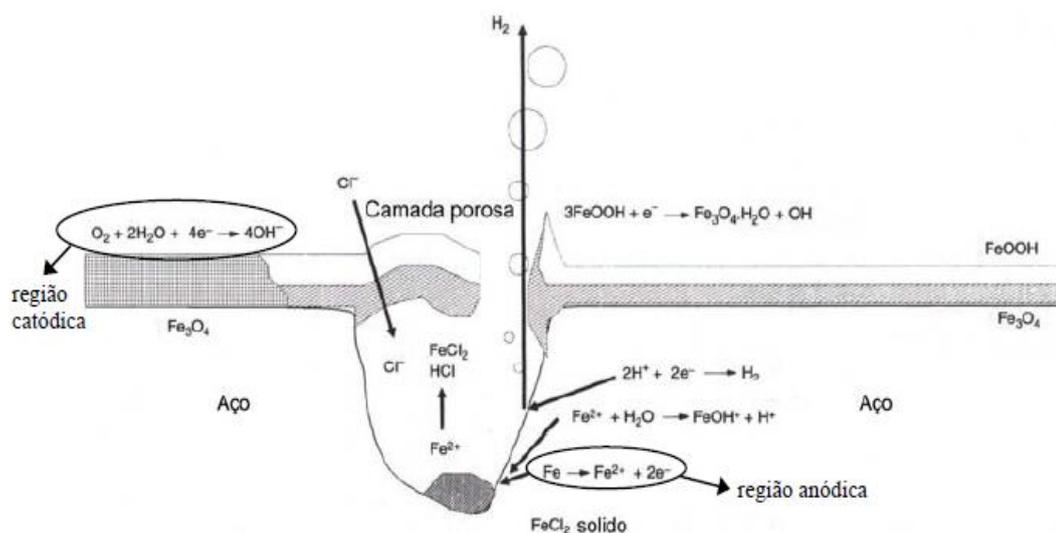
A quantidade de íons cloretos necessários para romper a camada de óxidos passivantes e depois iniciar o processo de corrosão das armaduras não é um valor preciso. A NBR 6118 (2014) não se reporta ao teor de cloretos, chamando somente a atenção quanto ao uso de aditivos contendo cloretos.

As recomendações britânicas, segundo Page et al. (1981), fixam os limites de risco de corrosão para concretos fabricados com cimento Portland comum sem adição de aditivos, em:

- Baixo risco: $\text{Cl} < 0,4\%$, em massa de cimento;
- Risco intermediário: $0,4\% < \text{Cl} < 1\%$, em massa de cimento;
- Alto risco: $\text{Cl} > 1\%$, em massa de cimento.

Já como adição de aditivos, fixa os limites em 0,2% de cloreto, em massa de cimento resistente a sulfatos, e em 0,4% de cloreto, em massa de cimento Portland comum.

Figura 1 - Representação esquemática da corrosão na presença de cloretos: mecanismo de formação e propagação.



Fonte: Silva, 2006.

A norma brasileira NBR 12655 (ABNT, 2015) determina o teor máximo de cloretos sobre a massa de cimento no concreto protendido em 500 mg/l (0,05%), sendo considerada a contribuição de todos os componentes do concreto, (Tabela 4).

Tabela 4 – Teor máximo de cloretos permitidos em concretos.

| Tipo de estrutura | Teor máximo de íons cloreto (Cl-) no concreto % sobre a massa de cimento |
|--|--|
| Concreto protendido | 0,05 |
| Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura | 0,15 |
| Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura) | 0,4 |
| Outros tipos de construção com concreto armado | 0,3 |

Fonte: Adaptação da NBR- 12655,, 2015.

Romano (2009) apresenta alguns valores limites estabelecido por normas internacionais, (Tabela 5).

Tabela 5 - Limites normatizados para o teor de cloreto no concreto.

| Norma | País | Ano | Teor limite de cloretos |
|--------------------|------------|------|--|
| NBR 6118 (ABNT) | Brasil | 2014 | Não se reporta ao teor de cloretos. |
| | | | $\leq 0,15\%$ em relação à massa de cimento, em ambiente com cloretos. |
| ACI 318-21 | USA | 2001 | $\leq 0,3\%$ em relação à massa de cimento, em ambiente normal. |
| | | | $\leq 1\%$ em relação à massa de cimento, em ambiente seco. |
| | | | $\leq 0,06\%$ em relação à massa de cimento (concreto protendido). |
| CEB | Europa | 1991 | |
| ENV 206 | Portugal | 1991 | 0,4% em relação à massa de cimento. |
| BS 8110:1 | Inglaterra | 1985 | |
| JCSE-SP2 | Japão | 1986 | $\leq 0,60 \text{ kg/m}^3$ de concreto. |

Fonte: Romano, 1992.

2.3.1 Mecanismos de ingressos de cloretos nas estruturas

Considerando a penetração de cloretos a partir do ambiente externo, os mecanismos de transporte que levam ao movimento e concentração iônica dos cloretos no concreto são os seguintes: absorção capilar, difusão iônica, permeabilidade sob pressão e migração iônica (CASCUDO 1998).

- Absorção: é o processo de migração de soluções salinas externas através dos poros do concreto. A penetração depende da porosidade da superfície, viscosidade da solução e tensão superficial.
- Difusão iônica: ocorre devido a diferença entre concentrações de cloreto na face externa do concreto (maior) e dentro dos poros (menor). Essa diferença promove o movimento dos íons para dentro do concreto em busca do equilíbrio.
- Permeabilidade: é o processo caracterizado pelo transporte de cloretos externos para a massa de concreto por meio de pressão hidráulica, ou seja, acontece em situações em que a estrutura estar submersa, em contato com as ondas, semienterradas com a presença de lençol freático ou em contenção de solos.

- Migração iônica: a movimentação dos íons cloretos para o interior do concreto dá-se pela corrente elétrica do processo eletroquímico, uma vez que os íons possuem carga elétrica negativa.

Desse modo, observa-se que a corrosão por íons cloreto envolve muitos fatores, os quais devem ser analisados minuciosamente, considerando todo o meio em que a estrutura está construída.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolver este trabalho foi necessário realizar um ensaio acelerado de exposição a uma solução composta por íons cloretos. O método escolhido para identificar a ação os íons cloretos livres e totais, ao longo da profundidade dos corpos de prova, foi o método colorimétrico.

Segundo Mota (2011):

O método colorimétrico é baseado em nitrato de prata (AgNO_3) para medição da profundidade de penetração de cloretos em matriz cimentícia é prático, porém, sua eficiência e condições de aplicação devem ser bem entendidas para fazer o método proporcionar as possíveis vantagens de aplicação desta técnica.

Este procedimento foi desenvolvido por Colleoardi em 1970 na Itália, é um método qualitativo para identificar a presença de cloreto em materiais com base cimentícia, foi normatizado (UNI 7928), mas por não apresentar resultados seguros foi retirada de operação sem previsão de substituição.

As condições do ensaio acelerado se basearam em dados de pontos com distâncias em relação ao mar e suas respectivas concentrações de cloretos apresentadas em estudos realizados em cidades vizinhas como Recife/PE, Fortaleza/CE e Salvador/BA, as quais apresentam condições ambientais semelhantes à cidade de estudo.

Os pontos escolhidos para análises levaram também em consideração as zonas de agressividade marinha e a disposição das edificações na orla, o primeiro ponto está localizado a 50 m de distância do mar, já o segundo ponto está afastado do mar 300 m, enquadrando-se na zona de atmosfera marinha, (Figura 2).

Foram escolhidas duas relações água/cimento (A/C), uma relação de 0,50 em que há uma tendência de apresentar baixos índices de vazios e a outra a/c foi de 0,65, essa, por sua vez, apresenta grande quantidade de vazios.

Figura 2 - Pontos analisados.



Fonte: Google Earth Pro, 2017.

Determinados os pontos e a relação água/cimento, foi dado início à fabricação dos corpos de provas (CP's) de argamassa em formato cilíndrico nas dimensões de 5 x 10 cm, utilizando cimento portland CII-Z-32, areia média e água destilada.

Em seguida, houve a exposição dos corpos de prova a uma solução de água destilada e NaCl (Figura 3), A concentração utilizada para a distância de 50 m foi de 10,65g/L de NaCl e para a distância de 300 m foi de 7,47g/L de NaCl, essas concentrações foram baseadas no ensaio de vela úmida realizado pela Universidade Federal do Ceará o trabalho intitulado *Avaliação do teor de íons cloreto no ar atmosférico da praia do futuro em fortaleza/ce.*

Figura 3 – Corpos de prova exposto a solução de NaCl.



Fonte: Autoria própria, 2017.

Os CP's foram analisados em três idades diferentes, 7, 14 e 28 dias. Em cada idade foi avaliado doze amostras, seis na distância 50 m e mais seis na distância de 300 m sendo três, com a relação água/cimento de 0,50 e os outros três com (A/C) de 0,65, totalizando um montante de 36 CP's produzidos.

Ao término desse período de exposição, os corpos de provas foram avaliados para identificação da profundidade de ação dos cloretos. Para determinar a presença do cloreto nos corpos de provas foi necessário parti-los ao meio e aplicar a solução de nitrato de prata, decorrido o tempo de uma hora foi possível medir a profundidade de penetração do cloreto (Figura 4).

Figura 4 – Corpos de prova após aspersão de nitrato de prata.



Fonte: Autoria própria, 2017.

3.1 COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS REALIZADOS IN LOCO EM PONTA NEGRA.

Os resultados dos ensaios acelerados foram comparados com os obtidos pelo mesmo autor em um estudo desenvolvido em 2016 através do Programa de Iniciação Científica (PROIC), promovido pelo Unifacex, a pesquisa *in loco* intitulada Presença de cloretos em materiais cimentícios gerada pela ação ambiental.

A área estudada foi a região de ponta negra, onde foram observados 3 pontos com distância em relação ao mar de 50, 80 e 300 m no período de 5 meses. Os corpos de prova que foram utilizados tinham dimensões de 5x10 cm, relação água/cimento de 0,50, 0,57 e 0,65.

Como há semelhanças de duas relações A/C e duas distâncias em relação ao mar, os dados da pesquisa de 2016, serviram para validar os resultados do trabalho atual.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Depois do período de 7, 14 e 28 dias em contato com os íons cloretos, os CP's foram analisados em laboratório através do método colorimétrico, após a aspersão da solução de nitrato de prata foi possível medir a presença do cloreto. Foram retirados 8 medidas em cada CP, depois feito a média e o desvio padrão.

Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 03 de Maio de 2018; aprovado em 02 de Julho de 2018.

Na análise do décimo quarto dia no ponto de 50 m, os CP's apresentarão uma coloração preta muito diferente da esperada que é embranquecida, tomando impossível a verificação da penetração dos cloretos.

As tabelas 6 e 7 expõem os resultados obtidos para os pontos de 50 e 300 m de exposição respectivamente.

Os resultados obtidos mostram que o método colorimétrico é uma técnica muito valiosa na determinação da penetração dos íons cloretos, com ela é possível obter resultados quase que imediato.

Durante o tempo de análise observa-se claramente o aumento gradual da penetração dos cloretos à medida que se aproxima do mar, isso comprova a teoria de Meira (2004), os níveis de agressividade elevada, ficando nos primeiros 100 metros em relação ao mar.

Analisando os perfis de penetração dos cloretos, os que apresentaram resultados menos danosos para as argamassas estudados foram aqueles com menor relação água/cimento. Ao comparar os resultados dos ensaios acelerados com o resultado obtido *in loco*, percebe-se uma coerência significativa.

Em 2016, como apresentado nas tabelas 8 e 9, os pontos mais próximos ao mar sofreram uma maior influência ambiental na penetração de cloretos. Também se percebe que, nesses pontos, a influência foi mais rápida, em dois meses, em que a penetração já atingiu os valores em centímetros iguais aos encontrados em cinco meses.

Esse fato denota uma rápida saturação dos poros do material cimentício em pouco espaço de tempo, comportamento esse registrado em todas as relações água/cimento utilizadas.

Dessa forma, pode-se concluir que a pesquisa em laboratório pode conduzir a resultados semelhantes a uma pesquisa *in loco* e confiáveis com a vantagem do retorno em um menor espaço de tempo.

Tabela 6 – Penetração do Cloreto no primeiro ponto (50 m em relação ao mar)

| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | |
|--|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|---------------|
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,50 | | | | | | | | | | |
| 7 dias | Medidas em mm | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 4,3 | 5,8 | 8,0 | 6,7 | 6,0 | 6,3 | 5,4 | 4,4 | 5,86 | 1,21 |
| CP 2 | 4,9 | 6,3 | 6,6 | 7,1 | 6,2 | 5,0 | 6,0 | 3,9 | 5,75 | 1,06 |
| CP 3 | 5,0 | 4,6 | 6,5 | 7,0 | 8,0 | 5,0 | 4,8 | 5,8 | 5,84 | 1,22 |
| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | |
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,65 | | | | | | | | | | |
| 7 dias | Medidas em mm | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 5,6 | 6,0 | 6,8 | 8,4 | 6,8 | 5,0 | 6,1 | 6,0 | 6,34 | 1,02 |
| CP 2 | 6,1 | 5,5 | 8,3 | 7,7 | 6,7 | 5,6 | 6,0 | 5,8 | 6,46 | 1,03 |
| CP 3 | 6,0 | 5,5 | 6,8 | 7,0 | 7,7 | 8,0 | 5,0 | 5,8 | 6,48 | 1,07 |
| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | |
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,50 | | | | | | | | | | |
| 28 dias | Medidas em mm | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 9,0 | 9,0 | 6,6 | 7,2 | 6,3 | 6,0 | 7,5 | 8,3 | 7,49 | 1,18 |
| CP 2 | 8,0 | 8,4 | 9,0 | 7,4 | 6,7 | 6,0 | 6,4 | 7,1 | 7,38 | 1,03 |
| CP 3 | 7,8 | 8,0 | 8,3 | 8,8 | 7,3 | 7,0 | 6,2 | 6,0 | 7,43 | 0,99 |
| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | |
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,65 | | | | | | | | | | |
| 28 dias | Medidas em mm | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 7,8 | 8 | 8,6 | 7 | 6,5 | 8,1 | 9 | 8,2 | 7,90 | 0,81 |
| CP 2 | 8,8 | 9,4 | 8 | 7,5 | 7 | 5,8 | 8,7 | 7,7 | 7,86 | 1,14 |
| CP 3 | 9,6 | 8,2 | 7,7 | 8 | 8,6 | 8,8 | 5,6 | 6,6 | 7,89 | 1,27 |

Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 7 – Penetração do Cloreto no primeiro ponto (300 m em relação ao mar)

| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------------|---------------|
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,50 | | | | | | | | | | | |
| 7 dias | Medidas em mm | | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 4,5 | 3,3 | 3,4 | 4,0 | 3,0 | 2,3 | 4,3 | 4,8 | 3,70 | 0,85 | |
| CP 2 | 3,4 | 3,3 | 3,0 | 4,2 | 4,0 | 3,1 | 5,0 | 4,0 | 3,75 | 0,68 | |
| CP 3 | 2,7 | 4,0 | 3,6 | 3,2 | 5,1 | 5,0 | 4,1 | 3,0 | 3,84 | 0,89 | |
| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | | |
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,65 | | | | | | | | | | | |
| 7 dias | Medidas em mm | | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 3,8 | 4,2 | 3,5 | 3,3 | 3,6 | 4,0 | 4,3 | 5,6 | 4,04 | 0,72 | |
| CP 2 | 4,0 | 3,7 | 3,0 | 4,2 | 3,2 | 3,9 | 4,6 | 4,9 | 3,94 | 0,65 | |
| CP 3 | 4,2 | 4,0 | 3,6 | 3,3 | 3,4 | 4,4 | 4,0 | 4,1 | 3,88 | 0,40 | |
| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | | |
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,50 | | | | | | | | | | | |
| 14 dias | Medidas em mm | | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 5,3 | 3,7 | 5,0 | 3,9 | 3,0 | 5,0 | 4,0 | 4,4 | 4,29 | 0,78 | |
| CP 2 | 4,4 | 2,9 | 3,4 | 6,0 | 5,3 | 5,0 | 3,5 | 4,0 | 4,31 | 1,06 | |
| CP 3 | 2,7 | 3,0 | 5,5 | 4,0 | 4,7 | 3,3 | 6,0 | 5,0 | 4,28 | 1,21 | |
| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | | |
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,65 | | | | | | | | | | | |
| 14 dias | Medidas em mm | | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 4,3 | 3,0 | 5,0 | 4,4 | 6,0 | 3,6 | 5,2 | 5,4 | 4,61 | 0,99 | |
| CP 2 | 5,0 | 4,2 | 3,9 | 4,2 | 5,7 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 4,56 | 0,62 | |
| CP 3 | 3,4 | 5,0 | 5,4 | 3,0 | 3,6 | 5,5 | 5,0 | 6,0 | 4,61 | 1,12 | |
| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | | |
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,50 | | | | | | | | | | | |
| 28 dias | Medidas em mm | | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 4,4 | 4,7 | 3,8 | 5,2 | 5,1 | 5 | 5,4 | 4,4 | 4,75 | 0,53 | |
| CP 2 | 4,9 | 3,8 | 6,1 | 5,1 | 3,9 | 5,3 | 3,6 | 6,3 | 4,88 | 1,03 | |
| CP 3 | 3,2 | 4,1 | 5,5 | 6,1 | 4,6 | 5,8 | 5 | 4,3 | 4,83 | 0,97 | |
| Penetração do Cloreto em Corpo de Prova (CP) de Argamassa | | | | | | | | | | | |
| Relação Água/Cimento (A/C) = 0,65 | | | | | | | | | | | |
| 28 dias | Medidas em mm | | | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| CP 1 | 5,3 | 6,0 | 3,1 | 4,6 | 4,8 | 5,6 | 4,3 | 6,6 | 5,04 | 1,09 | |
| CP 2 | 4,4 | 4,0 | 6,4 | 4,6 | 5,0 | 6,2 | 5,6 | 4,7 | 5,11 | 0,87 | |
| CP 3 | 5,4 | 6,0 | 3,8 | 4,5 | 4,8 | 5,6 | 6,7 | 4,3 | 5,14 | 0,96 | |

Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 8 – Profundidade de penetração dos cloretos livres em função dos pontos de exposição e da relação água/cimento no tempo de exposição de dois meses.

| Corpos de prova expostos por 2 meses | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|------------------|
| Relação A / C | Medidas em mm | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| Primeiro ponto | | | | | | | | | |
| 0,50 | 1,2 | 2,3 | 4,2 | 3,3 | 3,0 | 4,5 | 1,0 | 2,79 | 1,37 |
| 0,57 | 2,3 | 2,0 | 4,0 | 2,5 | 2,5 | 3,5 | 3,4 | 2,89 | 0,74 |
| 0,65 | 3,0 | 3,6 | 2,5 | 3,3 | 4,0 | 2,1 | 2,4 | 2,99 | 0,69 |
| Segundo ponto | | | | | | | | | |
| 0,50 | 2,0 | 1,6 | 3,1 | 2,1 | 1,5 | 1,9 | 2,4 | 2,09 | 0,54 |
| 0,57 | 2,6 | 2,5 | 3,0 | 1,7 | 2,7 | 2,1 | 2,3 | 2,41 | 0,43 |
| 0,65 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 1,0 | 1,0 | 2,8 | 2,7 | 2,57 | 1,16 |
| Terceiro ponto | | | | | | | | | |
| 0,50 | 2,3 | 4,0 | 3,9 | 3,0 | 2,0 | 3,5 | 4,0 | 3,24 | 0,83 |
| 0,57 | 2,0 | 2,0 | 4,5 | 2,0 | 2,7 | 4,9 | 5,0 | 3,30 | 1,43 |

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 9 – Profundidade de penetração dos cloretos livres em função dos pontos de exposição e da relação água/cimento no tempo de exposição de cinco meses.

| Corpos de prova expostos por 5 meses | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|------------------|
| Relação A/C | Medidas em mm | | | | | | | Média em mm | Desvio padrão |
| Primeiro ponto | | | | | | | | | |
| 0,50 | 2,0 | 3,5 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 2,8 | 3,0 | 2,69 | 0,69 |
| 0,57 | 2,5 | 3,0 | 4,6 | 1,6 | 1,0 | 3,0 | 3,6 | 2,76 | 1,21 |
| 0,65 | 4,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 3,0 | 2,0 | 2,86 | 0,90 |
| Segundo ponto | | | | | | | | | |
| 0,50 | 2,0 | 3,0 | 2,4 | 2,0 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 2,41 | 0,45 |
| 0,57 | 3,5 | 2,3 | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 2,0 | 2,54 | 0,62 |
| 0,65 | 4,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 2,0 | 1,0 | 5,0 | 2,71 | 1,38 |
| Terceiro ponto | | | | | | | | | |
| 0,50 | 2,0 | 3,7 | 3,0 | 3,0 | 3,3 | 4,2 | 4,0 | 3,31 | 0,74 |
| 0,57 | 2,5 | 3,0 | 5,0 | 3,5 | 1,5 | 3,8 | 4,5 | 3,40 | 1,19 |
| 0,65 | 3,8 | 2,6 | 5,0 | 3,0 | 4,0 | 3,7 | 3,0 | 3,59 | 0,81 |

Fonte: Autoria própria, 2016.

5 CONCLUSÃO

Com a realização deste estudo foi possível alcançar o objetivo principal desta pesquisa, que é avaliar o perfil de penetração dos íons cloretos no interior dos CP's de argamassa, tanto em *in loco* como em laboratório. É possível afirmar que existe uma redução da penetração dos íons cloretos em relação ao distanciamento do mar.

Com isso, é possível adotar novos parâmetros para prolongar a vida útil das novas estruturas quem venham a ser construídas no ambiente marinho, visto que a ocorrência de algumas patologias, em argamassas e concretos, é decorrente da presença de íons cloretos, presentes no aerossol marinho.

A ação dos cloretos pode ser parcialmente controlada através de escolhas como uma menor relação água/cimento e um maior cobrimento, isso pode aumentar a vida útil das estruturas localizadas em regiões com influência do aerossol marinho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro, 2015.

ANDRADE, M. C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Trad. Antônio Carmona e Paulo Helene. São Paulo: Pini, 1992.

BLANCHARD, D. C.; CIPRIANO, R. J. **The vertical distribution of the concentration of sea salt in the marine atmosphere near Hawaii**. Tellus, v. 36B, p. 118-125, 1984.

CASCUDO, O. **Controle da corrosão de armaduras em concreto** – Inspeção e Técnicas eletroquímicas. São Paulo: Pini, 1998.

COSTA, Eduardo Antônio Lima. **Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador**. 2001. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DIN-4030 Part. 1 (1991). **Assessment of water, soil and gases for their aggressiveness to concrete**: principles and limiting values.

FITZGERALD, J. W. Marine aerosols: a review. **Atmospheric Environment**, v. 25A, n. 3/4, p. 533-545, 1991.

FIGUEIREDO, Jonilson de Souza. **Recursos hídricos – semarh instituto de desenvolvimento sustentável e meio ambiente do rio grande do norte – IDEMA-RN**. 2008. Disponível em:

Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 03 de Maio de 2018; aprovado em 02 de Julho de 2018.

<<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000013948.PDF>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

GARCIA, R.B. **Avaliação da Atmosfera marinha em estruturas de concreto na região de Florianópolis–SC**. Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo:

Pini. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Nicole Pagan Hasparyk, 2014. 742 p. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG.

MEIRA, G.R. **Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto**. Doutorado em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

MEIRA et al. **Deposição de cloretos em zona de atmosfera marinha: comportamento sazonal e sua relação com estruturas de concreto**. Trabalho apresentado no XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído p. 3020 – 3028. Florianópolis, 2006.

MORCILLO, M.; CHICO, B.; MARIACA, L.; OTERO, E. **Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site**. Corrosion Science, n. 42, p. 91-104, 2000.

MOTA, A. C. M. (2011), **Avaliação da presença de cloretos livres em argamassas através do método colorimétrico de aspersão da solução de nitrato de prata**. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.

PAGE, C. L. et al. **Diffusion of chloride ions in hardened cement pastes**. Cement and concrete research. v. 11, p. 395-406, 1981.

PETELSKI, Tomasz. **Marine aerosol fluxes over open sea calculated from vertical concentration gradients**. Journal Aerosol, 2002.

PONTES, Ronaldo Bezerra. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de boa viagem, Recife-PE**. 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2006.

ROMANO, Fátima Sequeira. **Estudo do ingresso de cloretos em concretos localizados no litoral norte do Rio Grande do Sul**. 2009. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, Fernanda Giannotti da. **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos**. 2006. 236 f. Teses (Doutorado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, Edvaldo Pereira da. **Avaliação do potencial de corrosão de concretos estruturais produzidos segundo as prescrições da nbr 6118, submetido a ensaio de corrosão acelerado**. 2010. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SILVA, Felipe Alisson de Sousa e. **Avaliação do teor de íons cloreto no ar atmosférico da praia do futuro em fortaleza/ce**. 2011. 71 f. Monografias (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 03 de Maio de 2018; aprovado em 02 de Julho de 2018.

SOUZA, Karen Nunes de. **Estudo experimental e probabilístico da vida útil de estruturas de concreto armado situadas em ambiente marítimo:** influência do grau de saturação do concreto sobre a difusividade de cloretos. 2005. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

VITALI, Maria Rosane Vilpert. **Efeito do distanciamento ao mar da contaminação do concreto por cloretos.** 2013. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.