Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

RESULTADOS PRELIMINARES DE MEDIÇÃO DO TEOR DE ÍONS CLORO NO AR ATMOSFÉRICO NA CIDADE DE FORTALEZA/CE

A. M. R. CAMPOS
Arquiteta e Urbanista
Universidade Federal do Ceará
Ceará; Brasil
maracampos86@gmail.com

M. P. PAIVA
Graduando em Tecnologia em Estradas
Instituto Federal do Ceará
Ceará; Brasil
mateus71314@gmail.com

A. E. B. CABRAL
Engenheiro Civil
Universidade Federal do Ceará
Ceará; Brasil
eduardo.cabral@ufc.br

RESUMO

As estruturas de concreto armado, localizadas em ambientes de atmosfera marinha, se degradam mais precocemente que aquelas mais afastadas do oceano. Esta degradação ocorre mais rapidamente nessas estruturas, devido à influência de íons cloro presentes na névoa salina, os quais, em conjunto com as condições climáticas adversas, propiciam ação deletéria nas mesmas, podendo desencadear o processo de corrosão do aço de suas armaduras. Este trabalho visou à avaliação do teor de íons cloro no ar atmosférico da praia de Iracema e da praia do Futuro, em Fortaleza-CE, em relação à distância do mar, bem como a comparação com outras cidades litorâneas brasileiras. Para a quantificação do teor de íons cloro, foi utilizado o método da vela úmida, normatizado pela NBR 6211/2011. Foram estabelecidos pontos para coleta de dados colocados nas distancias de 50m, 250m, 500m, 1000m, 2000m e 4000m distantes do mar. Verificou-se que o teor de íons cloro decai exponecialmente em função da distância do mar; que a agressividade do meio ambiente em Fortaleza é bastante elevada em relação a outras cidades avaliadas e que foi possível constatar que a praia do Futuro apresenta uma agressividade bastante superior em relação à praia de Iracema.
Palavras-chave: Íons Cloro, Corrosão, Agressividade

ABSTRACT

The reinforced concrete structures located in marine atmosphere environments degrade earlier than those further away from the ocean. This degradation occurs more rapidly in these structures due to the influence of chloride ions present in the salt spray, which, together with the adverse weather conditions, provide deleterious effects in them, which can trigger the steel corrosion process of their armor. This study aimed to assess the chlorine ion content in the atmospheric air from the Iracema Beach and Futuro beach in Fortaleza, in relation to the distance from the sea, as well as comparison with other coastal cities. To quantify the chlorine ion content, we used the method of wet sail, regulated by the NBR 6211/2011. points were established for data collection put in 50m distances, 250m, 500m, 1000m, 2000m and distant sea 4000m. It was found that the content of chlorine ions decays exponentially as a function of distance from the sea; the aggressiveness of the environment in Fortaleza is quite high compared to other cities evaluated and it was found that the beach of the Future has a much higher aggressiveness in relation to Iracema Beach.
Keywords: Ion chlorine, corrosion, Aggressiveness

1. INTRODUÇÃO

A construção civil já passou por momentos de crescimento acelerado no mundo, o que, segundo Souza e Ripper [1], provocou a necessidade de inovações, as quais trouxeram como consequência a aceitação implícita de maiores riscos nas obras civis. A progressão do desenvolvimento tecnológico aconteceu então naturalmente, e, com ela, o aumento do conhecimento sobre estruturas e materiais. Apesar disto, algumas estruturas e materiais ainda têm desempenho insatisfatório, se avaliadas à luz das finalidades a que são destinadas, pois passam por um processo de deterioração estrutural considerável, que implica em uma vida útil reduzida das construções.

De acordo com Helene [2], as causas deste problema supracitado podem ser diversas: cargas, variação da umidade, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas ao concreto, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos, dentre outros. A engenharia de estruturas, segundo Souza e Ripper[1], viu-se assim confrontada

com a necessidade de se pesquisar outros parâmetros importantes de análise da qualidade das obras além dos que já se usavam inicialmente, para garantir o sucesso das construções.

Passaram-se então a se considerar os materiais empregados e os métodos construtivos utilizados, tendo em vista o ambiente de construção da estrutura, principalmente o de cidades cosmopolitas, as quais, em sua maioria, são localizadas em região marítima. Pontes [3] citou, reforçando esta ideia, que as obras expostas ao ambiente marinho se deterioram mais cedo devido ao ambiente altamente agressivo que as envolve. Segundo Portella [4] também, em ambiente marinho, os cloretos, contidos na névoa salina, se constituem a causa mais significativa das manifestações patológicas, em virtude da sua agressividade às armaduras.

De acordo com Pontes [3], as estruturas marítimas nos Estados Unidos, construídas no período de 1896 a 1916, com 20 a 30 anos, já apresentavam problemas significativos de deterioração. Em Hong Kong, na década de 50, utilizaram água do mar para amassamento, o que reduziu a vida útil de estruturas para 15 anos. A Noruega, a África do Sul e a Suécia, bem como outros países, apresentaram igualmente histórico de construções portuárias, pontes e estruturas a beira-mar com deterioração precoce. Além dos países mencionados, o Brasil também merece atenção. Ele apresenta uma extensa costa marítima, que está entre as maiores do mundo, a qual, segundo o IBGE [5], possui uma extensão de 7367 km, que é banhada pelo Oceano Atlântico e que contém grandes cidades portuárias importantes e estratégicas, incluindo, dentre elas, Fortaleza.

Fortaleza, segundo Albuquerque e Otoch [6], artigos datados da década de 80 já alertavam para a agressividade ambiental desta cidade, em razão da sua elevada salinidade marítima e pelo fato de que, na década de 90, algumas medições foram feitas, nas quais se verificaram notável concentração de cloretos, sulfatos e partículas sedimentáveis no ar atmosférico. É importante destacar, além do mais, que atualmente os limites de separação entre os ambientes marinho e urbano ainda não foram estabelecidos na cidade de Fortaleza, conforme Portella [4], e esta constatação impõe a necessidade de se saber até onde se estende a zona de ambiente marinho, a fim de se conhecer o comportamento da intrusão do aerossol, à medida que se vai afastando-se do mar e adentrando-se no continente.

A motivação desta pesquisa então se deu através da necessidade de se conhecer os níveis de concentração de íons de cloro na cidade de Fortaleza como um todo, pois tal conhecimento permitirá o desenvolvimento de projetos de estruturas em concreto armado de forma mais adequada, tratando de forma preventiva o surgimento de corrosão da armadura pela ação de íons cloro, mantendo assim a vida útil destes concretos e primando pela sua durabilidade.

O objetivo geral desta pesquisa é mapear a agressividade do ar avaliando-se o teor de deposição de íons cloro no ar atmosférico da cidade de Fortaleza, em relação à distância ao mar, por meio do método da vela úmida, nos meses de novembro e dezembro de 2015. Para isto, foram estabelecidos alguns objetivos específicos, tais como:

- Quantificar o teor de íons cloro presente na atmosfera da cidade de Fortaleza, através da coleta de dados em 47 pontos da cidade, por meio do ensaio de vela úmida, estabelecido pela ABNT NBR 6211:2001 [7], durante um período de 12 meses consecutivos e estabelecer modelos de correlação em função da distância ao mar. No entanto, para este artigo serão apresentados resultados de 12 pontos de coleta de dados durante o período dos dois primeiros meses de pesquisa.

- Fazer uma análise comparativa dos dados obtidos neste estudo com dados de estudos anteriores realizados na Praia do Futuro e Praia de Iracema, ambas dentro da cidade de Fortaleza, bem como com estudos de outras cidades brasileiras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto como material estrutural durável

Consoante Monteiro e Mehta [8], “o concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinados partículas ou fragmentos de agregado. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado de uma mistura de cimento hidráulico e água”. O concreto é um material que é utilizado em larga escala na construção civil. Estima-se que o consumo atual de concreto no mundo seja da ordem de 19 milhões de toneladas ao ano. Ele é tão utilizado devido a pelo menos três razões: À excelente resistência do concreto à água, a facilidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos e pelo baixo custo, normalmente, e a rápida disponibilidade do material para uma obra.

Segundo Portella [4], a durabilidade de uma estrutura de concreto é a capacidade de resistir à ação das intempéries, a ataques químicos, a esforços mecânicos ou a qualquer outro processo de deterioração previsto e manter-se em serviço, desempenhando as funções para as quais foi projetado e construído, quando expostos ao uso e ao seu meio ambiente, durante um determinado período de tempo especificado previamente. Segundo CBIC [9], a durabilidade depende de muitos fatores que vão interferir isolada ou conjuntamente, desde a concepção e projeto até o uso e conservação.

No Brasil, não havia um referencial sobre o prazo que deveria durar uma estrutura até o advento da ABNT NBR 15575/2013 [10] – Norma de desempenho de Edificações Habitacionais. Para essa norma, a durabilidade está diretamente ligada ao custo global do bem imóvel. A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de atender às funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja quando sua função se torna obsoleta.

Chama-se de vida útil o período de tempo contado entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender aos requisitos do usuário preestabelecidos. Tuutti *apud* Pontes [3] propôs um modelo de durabilidade, como segue na Figura 01. Entende-se que a previsão de vida útil das estruturas, em função do grau de corrosão das armaduras, se dá através da soma dos períodos de propagação e iniciação, sendo que os mesmos são consecutivos. O período de iniciação é o tempo decorrido desde a execução do concreto armado até o momento em que os agentes agressivos atingem a barra de aço, provocando a despassivação, enquanto que o período de propagação se inicia ao final do período de iniciação e vai até a deterioração atingir um grau de corrosão inaceitável, necessitando de manutenção e reparos obrigatórios. Logo, a vida útil é o tempo decorrido desde a execução do concreto até quando o seu grau de corrosão torna-se inaceitável.

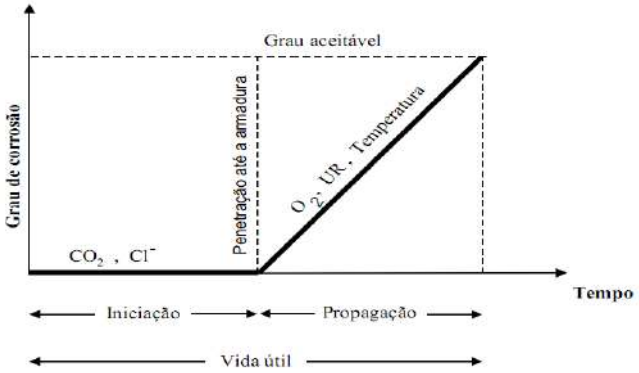


Figura 1: Modelo de Vida Útil (TUUTTI, 1980 *apud* Pontes, 2006)

Segundo Pontes [3], algumas características devem ser observadas para se obter um concreto durável em ambiente marinho, tais como:

- Fissuras – podem ocorrer devido a movimentos internos do concreto, à expansão do material no interior do concreto e às condições expostas externamente;
- Relação água/cimento – devido a sua grande relação com a resistência mecânica e sua permeabilidade, pois apresenta grande relação com a porosidade do concreto;
- Tipo de cimento – é um fator importante, pois pode implicar em economia na execução de concreto armado, quando se estabelece uma vida útil de projeto;
- Resistência à compressão – é uma característica significativa, já que esta tem uma correlação com a permeabilidade do concreto;
- Cobrimento da armadura – se considera o cobrimento mínimo aquele com menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento de concreto, sendo que se constitui num critério de aceitação. O cobrimento nominal é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (possível erro de execução), garantindo assim o cobrimento ideal.

2.2 Causas de degradação do concreto

Segundo a NBR 6118/2014 [11], as causas do envelhecimento e deterioração relativas ao concreto são a lixiviação, a expansão por sulfato e a reação álcali-agregado. As causas relativas à degeneração da armadura são a despassivação por carbonatação e despassivação por ação de cloretos.

1.1.1 Lixiviação

Segundo a NBR 6118/2014 [11], é o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Para prevenir sua ocorrência, recomenda-se restringir a fissuração, de forma a minimizar a infiltração de água, e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como os hidrófugos. Além disso, se faz necessário diminuir relação a/c, usar de adições e investir no melhoramento das condições de cura e Impermeabilização.

1.1.2 Ataque de Sulfatos

Conforme a NBR 6118/2014 [11], é a expansão por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado, o que resulta na desagregação por expansão e fissuração, na perda de resistência do concreto devido à perda de coesão na pasta de cimento e à perda de aderência entre a pasta e as partículas de agregado. A prevenção pode ser feita pelo uso de cimento resistente a sulfatos, conforme ABNT NBR 5737. Os dois principais meios de ataque por sulfatos são: reação com os produtos de hidratação do aluminato tricálcico não hidratado produzindo etringita; e reação com o hidróxido de cálcio produzindo gipsita. A NBR 12655/2015 [12] diz que, além da necessidade do concreto ser preparado com um cimento resistente a sulfatos, no que concerne à relação água/cimento e a resistência característica à compressão, devem ser atendidos os requisitos expostos na Tabela 1, desta norma.

Tabela 1- Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO4) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel em água (SO4) presente na água ppm	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal*	Mínimo fck (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	-	-
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1500	0,45	40

*Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.
**Água do mar.
***Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

1.1.3 Reação Álcali-Agregado

Segundo a NBR 6118/2014 [11], é a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e os agregados reativos. Como resultado da reação, na presença de umidade, são formados produtos que são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo comprometer as estruturas de concreto.

Para Cabral [13], é um processo químico em que alguns constituintes mineralógicos do agregado reagem com hidróxidos alcalinos que estão dissolvidos nas soluções dos poros do concreto, formando um gel expansivo. Os tipos são: Reação álcali-sílica – opala, trimidita, cristobalita; reação álcali-silicato – feldspato, quartzito, ardósia , xisto; Reação álcali-carbonato – agregado calcário-domilítico. As condições para a ocorrência são: Agregado potencialmente reativo, umidade e álcalis, além de fatores complementares como: temperatura, área de superfície do material, tensões confinantes e contribuição de álcalis externos. Na Tabela 2 apresentam-se as medidas de mitigação, conforme a NBR 15577/2008 [14].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Tabela 2 - Medidas de mitigação

Intensidade da ação preventiva	Medidas de mitigação
Mínima	1) Limitar o teor de álcalis do concreto a valores menores do que 3,0 Kg/m³ de Na2O equivalente a) b), ou 2) Utilizar cimentos CP II-E ou CP II-Z, conforme ABNT NBR 11578, ou CP III, conforme ABNT NBR 5735, ou CP IV, conforme ABNT NBR 5736, ou 3) Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de intensidade moderada.
Moderada	1) Limitar o teor de álcalis do concreto a valores menores do que 2,4 Kg/m³ de Na2O equivalente a) b), ou 2) Utilizar cimentos CP III, com no mínimo 60% de escória conforme ABNT NBR 5735 ou 3) Utilizar cimento CP VI, com no mínimo 30% de pozolana conforme ABNT NBR 5735 ou 4) Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de intensidade forte.
Forte	1) Utilizar materiais inibidores da reação de acordo com a tabela 3, comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio previsto ou 2) Substituir o agregado em estudo.
a) Aceita-se considerar o aporte de álcalis trazido ao concreto pelo cimento (álcalis totais determinados pelas ABNT NBR NM 11-2, ABNT NBR NM 17 ou ABNT NBR 14656), na ausência dos ensaios de todos os componentes do concreto. b) Na2Oeq = 0,658 K2O + Na2O	

1.1.4 Carbonatação

Segundo Pauletti [15], a carbonatação é um fenômeno físico-químico que ocorre principalmente entre os hidratos do cimento e o CO_2 da atmosfera. A carbonatação provoca uma série de alterações na microestrutura dos materiais cimentícios, sendo que as duas consequências maiores são a queda do pH e a mudança na permeabilidade. No caso do concreto armado, a carbonatação pode se tornar crítica para a corrosão da armadura, quando forem reunidas condições como: presença de água, diferença de potencial, acesso ao oxigênio. Segundo a NBR 6118/2014 [11], a carbonatação causa despassivação por ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de baixa porosidade.

Segundo Pauletti [15], a carbonatação do concreto é um das principais causas para o início do processo de corrosão das armaduras, uma das manifestações patológicas que mais afeta as estruturas de concreto armado, além de ser de difícil intervenção e reparo. Para Neville [16] a reação de carbonatação é mais intensa, quanto maior for a concentração de CO_2 na atmosfera. Apesar de não ser responsável diretamente por patologias, sob a ótica da durabilidade do concreto armado, a carbonatação, através da redução do pH da solução dos poros, faz com que a película passivadora do aço seja removida, podendo levar ao início do processo de corrosão das armaduras, desde que estejam presentes a umidade e o oxigênio .

1.1.5 Ataque de cloretos e corrosão de armaduras

O processo de corrosão das armaduras no interior do concreto ocorre através de reações químicas, que envolvem a condução de cargas (elétrons) entre regiões diferentes de um mesmo metal. Em uma região, ocorrem as reações de perdas de elétrons (região anódica), enquanto em outras se processam as reações de consumo de elétrons (região catódica). A circulação de íons ocorre pelo eletrólito, que, no caso, do concreto é a solução contida nos seus poros. Para Pereira [17] na região anódica, ocorrem as reações de oxidação do metal, que consistem na dissolução do átomo metálico ou na liberação de íons metálicos para o eletrólito e estabelecimento de um fluxo de elétrons através do eletrodo (metal) para a região catódica, o que leva a deterioração da armadura, causando, com o tempo, perda de aderência entre os dois materiais e redução da seção transversal das barras de aço, podendo levar a estrutura à falência.

Em condições normais, a armadura no interior do concreto encontra-se protegida química e fisicamente. Essa situação de proteção pode durar indefinidamente, desde que o concreto apresente boa qualidade e não fissure, mas, caso não sejam atendidas essas condições, a degradação das estruturas de concreto armado se dará em decorrência da penetração, através dos poros e fissuras, de substâncias agressivas na forma de gases, vapores e líquidos, que interagem com os materiais constituintes do concreto, confome diz Nepomuceno[18]. Os cloretos dissolvidos presentes no meio

ambiente externo podem penetrar no concreto, através dos seguintes mecanismos clássicos de penetração de água e transporte de íons no concreto: permeabilidade, absorção capilar, difusão iônica e migração iônica.

A problemática da deterioração de estruturas de concreto devido à corrosão de armaduras desperta maior preocupação em zonas costeiras, pois se encontram em meios particularmente agressivos devido à presença de cloretos. Para Pereira [17], os íons cloro são considerados os agentes mais problemáticos no processo de corrosão de armaduras, incluindo tanto o período de iniciação quanto o de propagação. Em ambientes agressivos, a quantidade de íons cloro tende a ser incrementada gradualmente, e o mesmo pode chegar, após certo tempo, a atacar toda a superfície da armadura do concreto armado, podendo provocar velocidades de corrosão intensas e perigosas, diminuindo sensivelmente sua vida útil (ANDRADE [19]).

Segundo Portella [4], os principais fatores que influenciam o ingresso e a ação dos íons cloro no interior do concreto, desencadeando o processo de corrosão das armaduras do concreto armado, são: composição e tipo de cimento, relação água/cimento, grau de hidratação do cimento e cura do concreto, cobrimento da armadura, carbonatação, porosidade do concreto, ambiente marinho, a umidade relativa do ar e a temperatura, a ação do vento, o distanciamento do mar, resistividade elétrica. A NBR 12655/2015 [12] estabelece o limite crítico de cloretos no concreto em porcentagem sobre a massa de cimento, conforme Tabela 3. Não se devem exceder os limites do valor máximo de concentração de íons cloro no concreto endurecido, pois este já considera a contribuição de todos os componentes do concreto, a fim de proteger as armaduras do concreto.

Tabela 3 - Limite crítico de cloretos no concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloro 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)	0,40
Outros tipos de construção com concreto armado	0,30

1.2 Agressividade Ambiental

Para Vilas Boas e Machado [20], a agressividade ambiental é normalmente o termo utilizado para descrever o potencial de aporte de substâncias deflagradoras de processos oxidativos (principalmente oxigêncio e cloretos) em estruturas de concreto armado. Para Brandão [21], o estudo da agressividade ambiental visa conhecer o comportamento das estruturas e dos seus materiais componentes (concreto e aço), em face dos ataques por agentes externos agressivos presentes no meio ambiente, de modo que possam ser tomadas as respectivas medidas preventivas de proteção, com o intuito de assegurar que as estruturas apresentem durabilidade.

A NBR 6118/2014 [11], por sua vez, diz que a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas. Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado no Quadro 1 e pode ser avaliada, simplificadamente, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Quadro 1 - Classe de Agressividade Ambiental

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 [1] [2]	Pequeno
III	Forte	Marinha [1]	Grande
		Industrial [1] [2]	
IV	Muito Forte	Industrial [1] [3]	Elevado
		Respingo de Maré	
[1] - Pode-se admitir um microclima com classe de agressividade um nível mais branda 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).			
[2] - Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegida da chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.			
[3] - Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em industrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Este quadro de classe de agressividade ambiental, nos mostra uma classificação ambiental genérica, ficando sujeita as interpretações, que pode subjetivamente adotar uma ou outra classificação, expondo às vezes a estrutura a uma agressividade à qual não está adequada. É necessária uma análise criteriosa dos microclimas no qual a estrutura será inserida, para dar suporte ao projetista na identificação de possíveis patologias associadas, a fim de que o mesmo utilize mecanismos de proteção em seu projeto.

O primeiro trabalho sobre deposição de cloretos no Brasil foi citado por Albuquerque e Otoch [6], trabalho realizado em Fortaleza/Ce, no início da década de 90. A tese de doutorado do prof. Gibson Rocha Meira, pela Universidade Federal de Santa Catarina, incluiu um estudo sobre deposição de cloretos, e avaliou a agressividade de cloretos em zonas de ambiente marinho na cidade de João Pessoa, o que deu origem ao artigo publicado por Meira e Padaratz [22]. Outros estudos se seguiram, como o de Pontes [3], que avaliou a disseminação de íons cloro na orla marítima do bairro Boa Viagem, em Recife/Pe. Outro estudo foi de Garcia, Padaratz e Spoganicz, [23], que foi realizado em Florianópolis/SC. Borba Júnior [24], em seu trabalho, faz um comparativo dos resultados destas cidades, como segue no Quadro 2.

Quadro 2 - Comparativo de resultados

Pontes *et al.*, 2006 (Recife, PE)		Meira *et al.*, 2006 (João Pessoa, PB)		Garcia, Padaratz e Spoganicz, 2007 (Florianópolis, SC)	
Dist. ao mar (m)	Dep. Cl^- ($mg/m^2.d$)	Dist. ao mar (m)	Dep. Cl^- ($mg/m^2.d$)	Dist. ao mar (m)	Dep. Cl^- ($mg/m^2.d$)
7	554,4	10	480,3	10	1.096,0
100	393,0	100	117,6	100	11,5
160	145,1	200	19,0	200	21,1
230	40,8	500	13,8	400	15,0
320	44,1	-	-	600	6,5
-	-	-	-	1.000	23,7

O trabalho de Vilasboas [25] mostra uma classificação da agressividade ambiental presente nas diferentes localidades de Salvador, demonstrando o comportamento da salinidade, em função da distância à costa marítima, obtidos a partir de mapas de corrosão atmosférica. Em Fortaleza/Ce, foram realizados alguns trabalhos que quantificaram os íons cloro presentes em pontos específicos, como a dissertação de Portella [4], que fez coleta de dados na praia do Futuro; o trabalho de Oliveira [26] na praia de Iracema e o trabalho de Santos [27] na praia do Porto das Dunas, em Aquiraz/Ce, sendo que estes trabalhos foram realizados em regiões pontuais da região metropolitana de Fortaleza, e ainda faltam dados globais, que é o objetivo do trabalho que está sendo realizado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA

3.1 Ensaio pelo Método da Vela Úmida

Para se determinar o teor de cloretos em suspensão e disseminados no ar atmosférico da cidade de Fortaleza/CE, foi utilizado o ensaio pelo método da vela úmida, prescrito pela norma ABNT NBR 6211/2001 [7] – Corrosão atmosférica – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida. Para isto, foram determinados 47 pontos estratégicos espalhados pela cidade (Figura 2), onde os dados serão coletados por um período de 12 meses. Para este artigo, serão apresentados resultados referentes a 12 pontos de coleta de dados, durante o período dos dois primeiros meses de pesquisa, que são respectivamente, novembro e dezembro de 2015.

3.2 Pontos de coleta de dados

As velas úmidas foram colocadas na cidade conforme malha pré-estabelecida. A distribuição foi determinada de forma que os pontos fossem distribuídos de forma homogênea pela cidade, com intuito de coletar dados na maior área possível, havendo uma concentração maior de pontos nas proximidades da faixa litorânea. A distribuição foi feita a partir da projeção de 08 (oito) linhas correspondente à margem da cidade, distanciando-se da orla nas distâncias: 50m (cinquenta metros); 250m (duzentos e cinquenta metros); 500m (quinhentos metros); 1000m (mil metros); 2000m (dois mil metros); 4000m (quatro mil metros); 6000m (seis mil metros); e 8000m (oito mil metros). A partir destas linhas foram traçadas 06 (seis) linhas perpendiculares distantes 2500m (dois mil e quinhentos metros) entre si. O cruzamento das linhas de projeção da margem com as linhas perpendiculares deu origem a 48 pontos, dos quais foram escolhidos 47. Onde serão colocados os suportes, com as velas úmidas, para a realização do ensaio. O ponto número 47 foi colocado dentro do LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFC (Universidade

Federal do Ceará) no campus do Pici, para a realização do ensaio em branco. Este ensaio é serve de referência na determinação de íons cloro presentes nas outras velas expostas na cidade. Para este trabalho serão demonstrados dados recolhidos na linha 01 e linha 05 da malha, conforme demarcados na Figura 2.



Pontos de coleta de dados
Pontos demonstrados neste artigo

Figura 2: Pontos de coleta de dados na cidade de Fortaleza/Ce.

3.3 Vela Úmida

A vela úmida, conforme a ABNT NBR 6211/2001 [7], é composta de um cilindro envolvido com gaze cirúrgica e fixado a um frasco coletor por meio de uma rolha. O cilindro é constituído de material inerte como vidro ou polietileno, de aproximadamente 2,5 cm de diâmetro, sobre o qual é enrolada uma camada dupla de gaze cirúrgica. A área da superfície da gaze exposta à atmosfera deve ser de aproximadamente 100 cm² e cuidadosamente determinada e expressa em metros quadrados (S). O cilindro é introduzido numa rolha de borracha, ficando com uma altura de cerca de 15 cm acima desta. O frasco coletor utilizado é de vidro, com aproximadamente 1000 mL de capacidade, conforme Figura 3 e Figura 4.

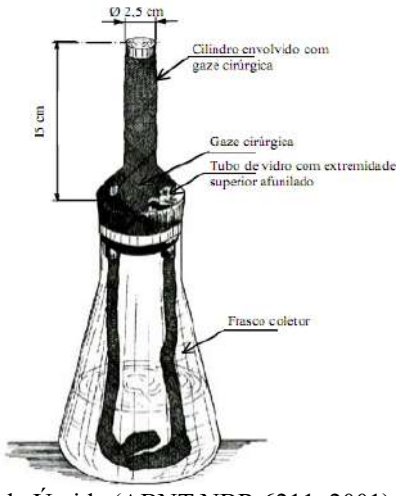


Figura 3 - Vela Úmida (ABNT NBR 6211, 2001)



Figura 4 - Vela Úmida

A vela foi preparada com luvas de PVC, em uma sala dentro no Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC, da Universidade Federal do Ceará, no campus do Pici. A ABNT NBR 6211/2001 [7] recomenda que a vela úmida seja instalada num suporte adequado, a uma altura mínima de 1m acima do nível do solo e em posição mais alta que todos os obstáculos localizados num raio de 3 m. A vela deve estar protegida por meio de uma cobertura de material inerte e opaco de, no mínimo, 50 cm x 50 cm, como também e ser colocada numa posição central e a uma distância de 20 cm do topo da cobertura. Para o desenvolvimento do trabalho, o suporte foi projetado conforme figura 5 e figura 6.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459


Figura 5 – Suporte metálico


Figura 6 – Suporte instalado

Para proteção contra os ventos, evitando desequilíbrio e queda, será colocado fixado no suporte um recipiente plástico com areia para colocação da vela, oferecendo mais estabilidade para o frasco coletor. Os reagentes que foram utilizados são os dispostos na ABNT NBR 6211/2001 [7], a fim de determinar o teor de cloretos.

Os resultados serão expressos em massa de cloreto por unidade de área e por unidade de tempo. Através da equação 1, conforme ABNT NBR 6211/2001 [7].

Equação 1 – Determinação do teor de cloretos

$$Cloreto\left(mg/\left(m^2.d\right)\right)=\frac{2(A-B).M.35{,}5.V_T}{V_a.S.t}$$

Onde:
A: volume gasto de solução-padrão de nitrato mercúrico com a alíquota, em mililitros;
B: volume gasto de solução-padrão de nitrato mercúrico com o branco, em mililitros;
M: concentração de solução-padrão de nitrato mercúrico, em molaridade;
VT: volume total da amostra após a diluição, em mililitros;
Va: volume de alíquota, em mililitros;
S: área da gaze exposta, em metros quadrados;
t: tempo de exposição, em dias.

4. RESULTADOS

Os resultados da determinação do teor de íons cloro pelo método da vela úmida nos dois ciclos analisados são apresentados no Quadro 5 a seguir:

Quadro 5: Resultados dos Ciclos

	Concentração de cloreto (mg/(m².d))					
Distância em relação ao mar (m)	CICLO 01		CICLO 02		MÉDIA	
	Praia de Iracema	Praia do Futuro	Praia de Iracema	Praia do Futuro	Praia de Iracema	Praia do Futuro
50	125,48	580,81	179,78	402,20	152,63	491,50
250	16,28	173,34	77,83	225,63	47,05	214,48
500	20,23	24,56	71,41	82,57	45,82	53,56
1000	22,62	40,23	21,58	73,89	22,10	57,06
2000	9,67	22,45	15,62	53,95	12,64	38,02
4000	8,90	10,06	22,07	39,46	15,48	24,76

Verifica-se a elevada concentração de íons cloro nos pontos mais próximos ao mar, e logo após o decréscimo da concretração de íons cloro, à medida que vai se aumentando a distância em relação ao mar, o que é bastante evidente, como observado no gráfico 1, resultante da média dos ciclos analisados:

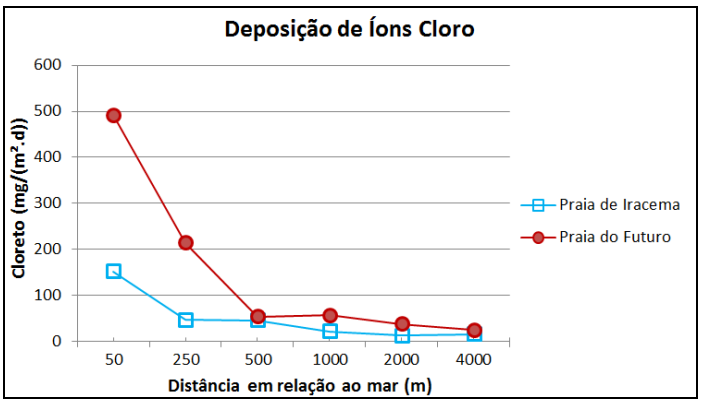


Gráfico 1: Deposição de íons cloro na cidade de Fortaleza

Verifica-se ainda a disparidade na diferença dos resultados da praia do Futuro em relação a praia de Iracema, nos primeiros metros de distância em relação ao mar. A praia do Futuro apresenta uma concentração 3,22 vezes maior que a concentração de íons cloro na praia de Iracema, o que nos mostra que a praia do Futuro é muito mais agressiva do que a praia de Iracema. No entanto, a partir dos primeiros 500 metros, observa-se que os resultados da praia do Futuro se assemelham aos da praia de Iracema, mesmo sendo bem mais agressiva nos seus primeiros metros.

Se comparada a outras capitais, com base nos resultados obtidos em estudos anteriores como o de: Pontes [3] em Recife, Meira e Padaratz [22] em João Pessoa, Costa [28] em Salvador e Borba Junior [24] em Vitória, expressos no quadro e gráfico abaixo, pode-se perceber que o comportamento da salinidade na cidade de Fortaleza é superior ao das outras cidades, havendo maior concentração nos primeiros metros de distância do mar e reduzindo exponencialmente após os primeiros 200 metros. Constata-se ainda tanto a praia de Iracema quanto a praia do Futuro apresenta resultados bem superiores a todas as outras cidades estudadas, conforme Quadro 6 e Gráfico 2.

Quadro 6: Comparativo com outras cidades

	Concentração de cloreto (mg/(m².d))					
Distância em relação ao mar (m)	**Fortaleza**		**Recife**	**João Pessoa**	**Salvador**	**Vitória**
	Praia de Iracema	**Praia do Futuro**				
50	152,63	491,50	413,55	111,40	8,82	298,22
200	-	-	99,46	67,90	8,31	42,43
250	47,05	214,48	-	-	-	-
500	45,82	53,56	5,75	25,23	7,37	0,86
1000	22,10	57,06	0,05	4,85	6,03	0,00
2000	12,64	38,02	-	-	-	-
4000	15,48	24,76	-	-	-	-

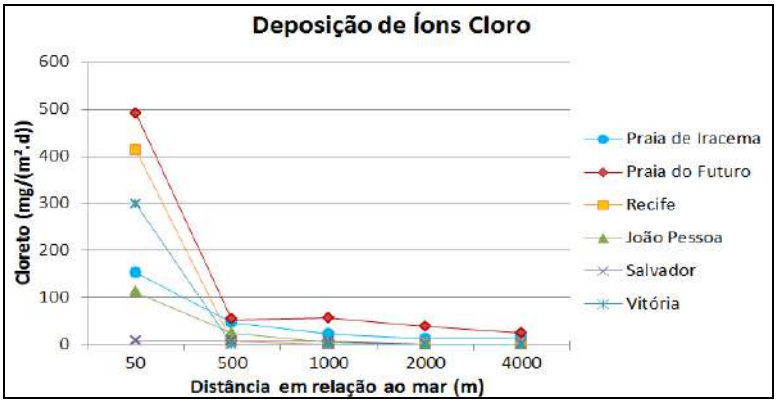


Gráfico 2: Comparativo com outras cidades

Verificamos que nos primeiros 50 m de distância do mar, a praia de Iracema está abaixo somente de Recife e Vitória, no entanto, na faixa dos 500 m verifica-se que a Praia de Iracema supera os valores das outras cidades ficando abaixo somente da praia do Futuro, ou seja, Tanto a praia de Iracema quanto a praia do Futuro a partir dos primeiros 500m apresentam valores superiores a outros estudos. Em relação ao resultado de João Pessoa, até então o maior resultado para esta distância, a praia de Iracema é 81,6% e a praia do Futuro 112,0% mais agressiva. Quando analisamos os resultados encontrados à 1000m de distância, verificamos que a praia de Iracema é 266,5% e a praia do Futuro é 805,71% mais agressiva que o maior valor encontrado, em Salvador.

Quadro 7: Comparativo de agressividade

Comparativo de agressividade					
Distância em relação ao mar (m)	**Praia de Iracema**	**Praia do Futuro**	**Maior Agressividade/distância**	**Praia de Iracema**	**Praia do Futuro**
	Cloreto (mg/m².dia)	Cloreto (mg/m².dia)	Cloreto (mg/m².dia)	% mais agressivo	% mais agressivo
50	152,63	491,50	413,55 (Recife)	-63,0%	+18,8%
500	45,82	53,56	25,23 (João Pessoa)	+81,6%	+112,0%
1000	22,10	57,06	6,03 (Salvador)	+266,5%	+805,71%

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Confirmou-se, com os resultados deste estudo, a alta agressividade do meio quanto à névoa salina, no que diz respeito a concentração de íons cloro, na cidade de Fortaleza. Verificou-se ainda que dentro da mesma cidade, o comportamento da agressividade é diferente, quando comparada a região da praia de Iracema com a região da praia do Futuro, sendo que esta última apresenta resultados mais elevados, inclusive quando se comparado a de outras cidades brasileiras. Confirmando que, devido à elevada concentração de íons cloro, a região é altamente agressiva, o que requer diretrizes construtivas com cuidados especiais para manter a durabilidade das construções.

Verificou-se também que a taxa de deposição de íons cloro tem um descrescimo exponencial a medida que se afastam do mar. Vale ressaltar que estes resultados correspondem somente a duas regiões, que são parte do mapeamento geral da cidade, onde já se percebe as diferenças de agressividade nas regiões da cidade.

6. REFERÊNCIAS

[1] SOUZA, Vicente Custódio; Ripper, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1998.

[2] HELENE, Paulo R. L**. Manual para reparo, reforço e proteção das estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

[3] PONTES, Ronaldo B. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, 2006.

[4] PORTELLA, Caio S. A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos segundo a ABNT NBR 6118:2007 e expostos aos cloretos disseminados em névoa salina na Praia do Futuro, em Fortaleza-Ce.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

[5] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em http://teen.ibge.gov.br/mao-na-roda/posicao-e-extensao. Acessado em 25/09/2014.

[6] ALBUQUERQUE, A.T; OTOCH, S.. **Proposta de Classificação da Agressividade do Ambiente na Cidade de Fortaleza.** 47º Congresso Brasileiro do Concreto. Pernambuco, 2005.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6211: Corrosão atmosférica - Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida.** Rio de Janeiro, 2001.

[8] MONTEIRO, P.J.M; MEHTA, P.K.; **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** 3ª ed. São Paulo: IBRACON 2013.

[9] CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção.** Brasília, 2013.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento** . Rio de Janeiro, 2007.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland –**

Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

[13] CABRAL, Antônio E. B. **Notas de aula da disciplina Patologia das Edificações.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2014.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577: Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto.** Rio de Janeiro, 2008.

[15] PAULETTI, C. **Estimativa da cabornatação natural de materiais cimentícios a partir de ensaios acelerados e de modelos de predição**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

[16] NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2ª ed. São Paulo. PINI, 1997.

[17] PEREIRA, Valéria G. A. **Avaliação do coeficiente de difusão de cloretos em concretos: Influência do tipo de cimento, da relação a/c, da temperatura e do tempo de cura.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

[18] NEPOMUCENO, A. A. **Mecanismo de transporte de fluídos no Concreto.** In: CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações, cap. 26. Edição ISAIA, G. C.; 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.

[19] ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras.** São Paulo, PINI. 1992. 104p.

[20] VILAS BOAS, J.L.M.; E MACHADO, S. L. **Uma proposta da classificação ambiental para a cidade de Salvador-BA**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, 2010.

[21] BRANDÃO. Ana Maria da S. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos,1998.

[22] MEIRA, G. R.; PADARATZ, I. J. **Efeito do distanciamento em relação ao mar na agressividade por cloretos.** In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais. IBRACON, 2002

[23] GARCIA. R. B., PADARATZ, I. J.; SPOGANICZ, . B. **Agressividade marinha medida pela taxa de deposição de cloretos na Região da grande Florianópolis.** IN: 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Anais. Bento Gonçalves, IBRACON, 2007

[24] BORBA JR., J. C.; MEIRA, G. R.; CALMON, J. L; TRISTÃO, F. A. **Deposição de cloretos em ambiente marinho e concenração superficial de cloretos em concretos na cidade de Vitória.** In: VII Congresso Internacional.

[25] VILAS BOAS, J. M. L.; **Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador: Uma contribuição para implantação da NBR 6116:2003.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2004.

[26] OLIVEIRA, P. C. M.; **Avaliação do teor de deposição de íons cloreto na atmosfera da praia de iracema em Fortaleza/CE.** Monografia de graduação em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará-UFC. Fortaleza, 2013.

[27] SANTOS, D. V.; **Avaliação do teor de íons cloro no ar atmosférico da praia do Porto das Dunas, em Aquiraz/Ce.** Monografia de graduação em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará-UFC. Fortaleza, 2013.

[28] COSTA. E. A. L.; **Determinação do Potencial de Agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Rio Grande do Sul, 2001.