

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL

FELIPE ALISSON DE SOUSA E SILVA

AVALIAÇÃO DO TEOR DE ÍONS CLORETO NO AR ATMOSFÉRICO DA PRAIA DO
FUTURO EM FORTALEZA/CE

FORTALEZA
2011

FELIPE ALISSON DE SOUSA E SILVA

AVALIAÇÃO DO TEOR DE ÍONS CLORETO NO AR ATMOSFÉRICO DA PRAIA DO
FUTURO EM FORTALEZA/CE

Monografia submetida à Coordenação do
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheiro Civil, em
novembro de 2011.

Orientador(a): Prof. Dr. Antônio Eduardo
Bezerra Cabral

FORTALEZA
2011

FELIPE ALISSON DE SOUSA E SILVA

AVALIAÇÃO DO TEOR DE ÍONS CLORETO NO AR ATMOSFÉRICO DA PRAIA DO
FUTURO EM FORTALEZA/CE

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovada em 25/11/2011

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.Sc. Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. M.Sc. Aldo de Almeida Oliveira (Examinador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Eng^a D.Sc. Jussara Limeira de Araújo (Examinadora)
Banco do Nordeste do Brasil

Dedico este trabalho aos meus amados pais Américo e Fátima e aos meus avós Osmar (*in memoriam*) e Jacira.

“O importante para uma pessoa não são os seus sucessos,
mas sim quanto os deseja.”
Khalil Gibran

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu saúde e força para trilhar todos os caminhos e alcançar meus objetivos, sempre me protegendo e me confortando nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Américo e Fátima, que sempre me educaram para a vida, tornando-me um cidadão honesto e dedicado a ajudar a todos. A eles sou grato por tudo o que conquistei.

A minha tia Rosa, que me acompanhou desde os primeiros dias de vida e que sempre me ajuda quando preciso.

A minha irmã, Emilia, pelo companheirismo e pela paciência ao longo dos últimos anos em que vivemos longe da família.

A minha namorada, Débora, pelo carinho e amor, pelo consolo, pela preocupação e por todos os momentos de compreensão em que não pude vê-la para me dedicar aos estudos.

As minhas amigas, que eu aprendi a amar como irmãs, Rhedley, Isadora e Glauriane, pela força e por sempre acreditarem em mim.

Aos meus estimados amigos do curso de Engenharia Civil, com quem eu vivi essa árdua jornada e pude sempre contar com a presença de todos nos momentos em que precisei.

Em especial, ao Julien, um amigo que sempre esteve comigo, incentivando-me, ensinando-me e aconselhando-me. Tornou-se um irmão de verdade.

A Luiza Kilvia, uma pessoa extraordinária, com quem eu vivo e compartilho todos os momentos e a quem eu sempre confio minhas decisões. Ela se tornou parte da minha família e merece sempre meu carinho.

A Aline, por ter dedicado sua confiança e sua companhia durante esses cinco anos e por ter me mostrado mais a Deus. É uma amiga de verdade, a qual eu pretendo levar por toda minha vida.

A Priscilla, pela companhia, pelos momentos de felicidade, diversão e de tristeza. Por me socorrer, por me tirar da insegurança, por sempre me mostrar o caminho certo a seguir. Agradeço por tê-la conhecido e pela importância que exerce em minha vida.

Aos meus queridos Luiz Gonzaga, Lucas e Anderson, por terem se tornado amigos excepcionais, sempre me ajudando e me acompanhando nos mais diversos momentos. Eles são parte indispensável da minha história.

A Viviane, pelo carinho, pelos momentos de conversa, pelos conselhos, pela presença e pelo respeito. Obrigado por me fazer sempre tão bem.

Aos amigos Sandra, Vicente, Anderson Magalhães, Emanuella, Luis Felipe, Thiago, Átilla, Lyana, Dênis, Carla, Rafael, Roberto e Ana Clébia, pelo incentivo e pela presença ao longo destes cinco anos.

Aos professores, com quem pude aprender e desenvolver minhas habilidades e pelo grande aprendizado oferecido ao longo do curso.

Agradeço especialmente ao professor Aldo de Almeida, pela ajuda, pelas chances que me deu de engrandecer minha profissão e pela honra de tê-lo em minha banca.

Ao professor Eduardo Cabral pela orientação, apoio e compreensão na conclusão deste trabalho.

A Jussara Limeira, por ter aceitado participar da minha banca e por contribuir neste passo final da minha formação.

A Monyque Medeiros e Caio Sanders, pois sem eles eu não conseguiria desenvolver este trabalho. Muito obrigado por terem contribuído na minha formação.

A toda equipe do ETecS, pela compreensão nos momentos nos quais tive de me ausentar para conclusão deste trabalho.

A todos os meus amigos da Diagonal, pelo incentivo, pelo aprendizado e por acreditarem que eu sempre poderia ir mais além.

Obrigado a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho e para minha formação como Engenheiro Civil.

RESUMO

Usualmente as estruturas localizadas em ambientes de atmosfera marinha, em comparação com outras construídas em localidades mais distantes do mar, deterioram-se mais rapidamente devido à grande influência de íons cloreto, os quais, em conjunto com as características climatológicas, podem vir a causar corrosão de armaduras e danos irreversíveis a uma estrutura de concreto armado. Este trabalho tem o objetivo de avaliar o teor da deposição de íons cloreto na Praia do Futuro, em Fortaleza-CE, em relação à distância ao mar, empregando o método da vela úmida e a análise das características climatológicas do ambiente. Como resultados, observou-se um decréscimo do teor de íons cloreto à medida que vai se distanciando do mar, situação influenciada pela precipitação e pelo vento da região. Conclui-se que a deposição de cloretos segue uma função exponencial e que, nos primeiros 100 metros, o teor de íons cloreto é bastante alto (484,35 mg/m².d), diminuindo gradualmente até os 500 metros, distância na qual a concentração vai decaindo mais suavemente. Além disso, em comparativo com outras capitais brasileiras, verificou-se que Fortaleza é a mais agressiva em relação ao teor de íons cloreto presentes no ar atmosférico.

PALAVRAS-CHAVE: íons cloreto, corrosão de armaduras, vela úmida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Modelo de vida útil proposto por Tuutti (1980)	10
Figura 2.2 - Formação da pilha eletroquímica.....	12
Figura 2.3 - Zonas de agressividade às estruturas de concreto (DURACRETE, 1999).....	15
Figura 2.4 - Vela úmida NBR 6112 (ABNT, 2001).....	24
Figura 3.1 - Disposição das velas úmidas.	25
Figura 3.2 - Vista do mar aberto da Praia do Futuro na região analisada.	26
Figura 3.3 - Vela úmida a 100 m do mar.....	26
Figura 3.4 - Vela úmida a 300 m do mar.....	27
Figura 3.5 - Vela úmida a 740 m do mar.....	27
Figura 3.6 - Vela úmida a 1000 m do mar.....	28
Figura 3.7 - Vela úmida no LMCC – UFC.....	28
Figura 3.8 - Vela úmida.....	29
Figura 4.1 - Direção predominante dos ventos.....	34
Figura 4.2 – Deposição de íons cloreto (26/jul a 26/ago).....	35
Figura 4.3 - Deposição de íons cloreto (26/ago a 28/set).....	36
Figura 4.4 - Deposição de íons cloreto (28/set a 28/out).....	36
Figura 4.5 - Deposição média de íons cloreto no período de análise (26/jul a 28/out)	37
Figura 4.6 - Modelo linearizado	38
Figura 4.7 - Deposição de cloretos em Boa Viagem - Recife/PE (Pontes , 2006).....	39
Figura 4.8 - Deposição de cloretos em João Pessoa - PB (Meira & Padaratz , 2002).....	40
Figura 4.9 - Deposição de cloretos em Salvador - BA (Costa , 2001).	41
Figura 4.10 - Deposição de íons cloreto – Comparativo	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Classes de agressividade ambiental - NBR 6118 (ABNT, 2007).	1
Quadro 2.1 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e qualidade do concreto – NBR 6118 (ABNT, 2007).....	6
Quadro 2.2 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobertura nominal, em mm, para $\Delta c = 10$ mm -NBR 6118 (ABNT, 2007)	6
Quadro 3.1- Resumo das características climatológicas (INMET, 2011).	32
Quadro 4.1 - Resumo da concentração de cloretos no período analisado.	33
Quadro 4.2 - Predição do modelo	38
Quadro 4.3 - Resultados obtidos em Boa Viagem, Recife-PE (Pontes, 2006).....	39
Quadro 4.4 - Resultados obtidos em João Pessoa-PB (Meira & Padaratz, 2002).	40
Quadro 4.5- Resultados obtidos em Salvador-BA (Costa, 2001).....	41
Quadro 4.6 - Deposição de cloretos - Comparativo	42
Quadro 4.7 - Comparativo de agressividade	43

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Importância e Justificativa do tema	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo geral	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Estrutura do trabalho	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Qualidade do concreto	5
2.2 Corrosão da armadura	7
2.2.1 Corrosão	7
2.2.2 Tipos de corrosão	8
2.2.3 Fases da corrosão	9
2.2.4 Mecanismos de corrosão	10
2.2.5 Ataque de íons cloreto	13
2.2.6 Mecanismos de transporte dos íons cloreto	14
2.3 Origem e caracterização dos íons cloreto	14
2.3.1 Zona de atmosfera marinha	14
2.3.2 Agentes de degradação presentes no ambiente marinho	16
2.3.3 Formação, transformação e transporte do aerosol marinho	17
2.3.4 Fatores que influenciam o transporte/ deposição do aerosol marinho	18
2.3.4.1 Vento	18
2.3.4.2 Precipitação	18
2.3.4.3 Umidade	19
2.3.4.4 Temperatura	19
2.3.4.5 Altitude	20
2.3.4.6 Distância em relação ao mar	20
2.3.4.7 Influência dos materiais do concreto	21
2.3.5 Determinação de teor de íons cloreto no ar atmosférico	22
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	25
3.1 Localização do ambiente	25
3.2 Preparação das velas úmidas	29
3.3 Procedimento da amostragem	30
3.4 Procedimento para determinação do teor de cloretos	31
3.5 Caracterização climatológica do ambiente	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Parâmetros climatológicos	33
4.2 Deposição de íons cloreto	35
4.2.1 Efeito da distância em relação ao mar e a deposição de íons cloreto	35

4.2.2	Comparação com outros resultados	39
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
5.1	Conclusões	44
5.2	Sugestões	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
	ANEXOS	49

1 INTRODUÇÃO

1.1 Importância e Justificativa do tema

Na virada da década de 1960 para 1970, os projetistas sentiram a necessidade de pesquisar novos critérios para garantir o total sucesso das construções (SOUZA & RIPPER, 1998).

O que antes era projetado apenas utilizando o critério da capacidade resistente passou a ser pensado de uma forma a considerar os materiais empregados e os métodos construtivos, tendo em vista o ambiente de construção da estrutura.

A primeira norma brasileira a considerar todos os parâmetros para o cálculo de um projeto resistente e compatível com o meio ambiente foi a NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, com data de publicação em 2003 e nova revisão no ano de 2007.

Desse modo, a NBR 6118 (ABNT, 2007) preconiza que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo a conservar todos os seus parâmetros de segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o seu período de utilização.

Para o projeto de uma estrutura de concreto, a escolha da classe de agressividade ambiental é fator primordial na definição da classe de concreto a ser adotada, do cobrimento nominal e na relação água/cimento.

As classes de agressividade foram divididas em quatro níveis, variando de ambientes menos agressivos até ambientes altamente agressivos, com uma classificação de I a IV.

O Quadro 1.1, extraído da NBR 6118 (ABNT, 2007), informa claramente a classificação dos ambientes a serem considerados em um projeto de uma estrutura de concreto armado.

Quadro 1.1 - Classes de agressividade ambiental - NBR 6118 (ABNT, 2007).

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
		Respingos de maré	
<p>¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível 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).</p> <p>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 protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.</p> <p>³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.</p>			

Não existem parâmetros reais para a escolha da classe, dependendo do projetista aquela que mais se aplica ao local onde será construída a estrutura de concreto.

Para se ter uma idéia, 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.

Usualmente, estruturas construídas em ambientes marítimos deterioram-se mais rápido do que estruturas localizadas em zonas mais distantes do mar, devido à grande agressividade do meio.

Mehta e Monteiro (1994) descrevem que a água do mar é o principal agente dos processos físicos e químicos de degradação em ambientes marinhos.

Os mesmos autores ainda ressaltam que a maioria das águas marítimas é razoavelmente uniforme em relação à composição química, sendo que 3,5% do seu peso é de sais solúveis, dentre eles, a concentração de íons Cl^- e Na^+ é mais abundante. A concentração de Cl^- é de, aproximadamente, 20.000 mg/L.

Conforme Helene (1986), o concreto armado é mais atingido por cloretos de sódio e de magnésio, sendo estes bastante agressivos e aceleradores do processo de corrosão de armaduras.

Assim, este último autor defende que 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).

Pontes (2006) afirma que as estruturas de concreto armado, quando sujeitas à corrosão da armadura, têm sua vida útil reduzida, uma vez que esse tipo de deterioração afeta diretamente a durabilidade da estrutura, comprometendo sua funcionalidade, estabilidade e estética.

Sendo a corrosão das armaduras um processo que avança da superfície da estrutura até o seu interior, pode ocorrer perda de aderência entre o aço e o concreto, desagregação da camada de concreto que envolve a armadura e fissuração (ARAÚJO & SILVA FILHO, 2009).

Além da presença dos íons cloreto no ar, pode-se destacar o contato direto de estruturas de concreto com a água do mar, através de processos de molhagem e secagem, os quais são bastante danosos ao concreto.

Lima (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.

O teor de íons cloreto no ar atmosférico, então, poderia ser utilizado como um novo critério para o projeto de estruturas de concreto em zonas de atmosfera marinha, como a cidade de Fortaleza, onde se observa a existência de grandes investimentos imobiliários nas áreas próximas ao mar, como a Praia do Futuro.

Segundo Leal e Pamplona (1982), na Praia do Futuro (litoral leste de Fortaleza), o mar aberto provoca maior pulverização, e os ventos alísios normais à costa levam a névoa salina a vários quilômetros do litoral.

Para os mesmos autores, o ar atmosférico da região da Praia do Futuro é bastante agressivo, uma vez que a água do mar de Fortaleza é de grande salinidade.

Fortes (1995) ressalta que o período não chuvoso de Fortaleza (de junho a fevereiro) é um fator intensificador da corrosão, pois nesses meses praticamente não há lavagem da estrutura pelas águas pluviais, tornando o ambiente altamente agressivo para as estruturas de concreto armado.

Todos esses fatores citados afetam de forma negativa uma estrutura construída em ambiente agressivo. Assim, não se deve apenas culpar o meio em que a estrutura está construída, pois as recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2007) quanto ao cobrimento muitas vezes não são obedecidas. A relação água/cimento também nem sempre é fixada em função do tipo de exposição.

O exposto acima, então, é um alerta para a grande concentração de cloretos em Fortaleza, sendo necessário um estudo da concentração desses íons ao longo da área costeira, uma vez que ainda não existem dados para considerar uma região como marinha.

Logo, a caracterização do ar atmosférico em relação ao teor de íons cloreto é de extrema importância para o projeto de uma estrutura de concreto armado, podendo eliminar ou minimizar gastos com reparo e manutenção futuros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar o teor da deposição de íons cloreto, em zona de atmosfera marinha, na Praia do Futuro, em relação à distância ao mar, empregando o método da vela úmida.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar climatologicamente a região em análise durante os meses de implantação da vela úmida.
- b) Comparar os diversos parâmetros atmosféricos, como temperatura, vento e umidade, com a concentração de íons cloreto obtida no ar atmosférico.
- c) Verificar se a concentração dos íons cloreto segue alguma função matemática.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos.

No Capítulo 1 são apresentadas a importância e justificativa do tema e os objetivos.

No Capítulo 2 há uma descrição do ambiente marítimo, enfocando o processo de formação e transporte do aerossol marítimo. Além disso, são discutidos os fatores que influenciam a deposição de íons cloreto nas estruturas. O capítulo também possui explicações sobre a corrosão de armaduras devido aos íons cloreto e as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2007) e NBR 12655 (ABNT, 2006) em relação à durabilidade de estruturas de concreto armado em zona de atmosfera marinha.

O Capítulo 3 traz toda a metodologia empregada. São explanados todos os passos para a obtenção do teor de íons cloreto, desde a montagem e instalação das velas, bem como da análise laboratorial das amostras coletadas.

No Capítulo 4, os resultados obtidos são explanados e discutidos levando em consideração os dados climatológicos coletados, relacionando-os com outros dados coletados na bibliografia.

No Capítulo 5 há uma apresentação das considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade do concreto

A Revolução Industrial, desencadeada no século XVIII, trouxe novas técnicas para as construções, com o uso de novos materiais, tais como vidro, ferro, aço e o concreto (ANDRADE & SILVA, 2005).

No Brasil, o uso do concreto armado iniciou-se no século XX e foi se intensificando a partir da década de 50 juntamente com o crescimento das grandes zonas urbanas desencadeado pelo movimento migratório conhecido como êxodo rural.

O crescimento ocasionou maiores investimentos com infraestrutura urbana, como moradia, pontes, viadutos, comércio e indústrias, aumentando a demanda de uso pelo concreto, o qual se mostrou um material resistente, de fácil produção e aplicação, tornando-se largamente utilizado em todo o mundo.

O concreto, como material de construção, é instável ao longo tempo, podendo ter suas propriedades físicas e químicas alteradas, levando em consideração sua própria composição e sua interação com o meio ambiente no qual está inserido. Mesmo com um projeto de manutenção bem executado, as estruturas de concreto podem apresentar deterioração. Isso varia de estrutura para estrutura, considerando que algumas delas, seja por falhas no projeto ou execução, já iniciam sua vida útil de forma insatisfatória, enquanto outras permanecem até o fim de sua vida útil de projeto apresentando um bom desempenho.

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2007), a vida útil de uma estrutura é definida como um período de tempo durante o qual se mantém as características originais, desde que sejam atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e o construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de eventuais danos acidentais.

Desempenho, por sua vez, é o comportamento da estrutura, ao longo de sua vida útil, espelhando o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e utilização/ manutenção.

Souza e Ripper (1998) defendem que os agentes de deterioração, ou seja, os agentes agressores presentes no meio ambiente, podem ocasionar comportamentos diferentes nos diversos componentes do concreto armado, impondo a forma e a velocidade de deterioração.

Para Zaccardi et al. (2010), o estabelecimento de um período remanescente de uso em uma estrutura de concreto que apresenta manifestações patológicas deve ser realizado por meio da medição da velocidade de deterioração e o comportamento da estrutura à situação em que se encontra.

Assim, a NBR 6118 (ABNT, 2007) fixa parâmetros para a qualidade do concreto no que se refere ao ambiente em que será implantada uma estrutura, conforme o Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e qualidade do concreto – NBR 6118 (ABNT, 2007)

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de Concreto	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

NOTAS

1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

O cobrimento também é fator importante para a proteção da estrutura, pois ele é uma barreira para ataques de agentes agressivos na armadura. A NBR 6118 (ABNT, 2007) também relaciona as classes de agressividade ambiental com o cobrimento mínimo que uma determinada peça de concreto (armado ou protendido) deve ter, segundo o Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal, em mm, para $\Delta c = 10$ mm -NBR 6118 (ABNT, 2007)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
		Cobrimento Nominal			
Concreto Armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga / Pilar	25	30	40	50
Concreto Protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

NOTAS

1) Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre

superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão, fragilizante sob tensão.

2) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

3) Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Outras normas brasileiras também atentam para a qualidade do concreto com a finalidade de garantir a durabilidade de uma futura estrutura, a exemplo da NBR 12655 (ABNT, 2006), a qual é aplicável a concreto de cimento Portland para estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para edificações e estruturas de engenharia em geral.

Desse modo, a NBR 12655 (ABNT, 2006) fixa parâmetros desde a armazenagem de aditivos, agregados e aglomerantes para a composição final do concreto até a fabricação, transporte e lançamento deste, além de exigir também o consumo mínimo de cimento.

Os ensaios de controle de aceitação são também bastantes focados nesta norma, tais como o ensaio de consistência (*Slump Test*) e o ensaio de resistência à compressão para se determinar a resistência característica estimada ($f_{ck_{est}}$) do concreto.

Portanto, é extremamente importante que se siga as recomendações das normas para se garantir um total sucesso da construção e do desempenho de uma estrutura, pois sua durabilidade está diretamente ligada ao material utilizado, a manutenção e o meio ambiente.

2.2 Corrosão da armadura

2.2.1 Corrosão

Segundo Gentil (2007), a corrosão pode ser entendida como a decomposição de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos.

Para este último autor, a corrosão é um dos tipos mais comuns de deterioração que afeta a durabilidade de uma estrutura. Essa deterioração, muitas vezes, pode trazer alterações indesejáveis e prejudiciais para o material, como desgaste, modificações estruturais ou variações químicas, tornando-o inadequado para o uso.

Desse modo, a deterioração nem sempre está ligada a materiais metálicos, a exemplo da borracha, polímeros, concreto e madeira, os quais sofrem também desgaste devido ao meio em que estão inseridos. Assim, a borracha, quando exposta a ozônio (O₃), apresenta perda de elasticidade; o cimento Portland empregado em concretos, ao entrar em contato com sulfatos, apresenta degradação por expansão; a madeira e os polímeros perdem sua resistência quando expostos à solução de ácidos e sais ácidos (GENTIL, 2007).

Em metais, a degradação é chamada de *corrosão metálica* e pode inutilizar completamente o material, sendo importante seu entendimento em estruturas de concreto armado.

Cascudo (2005) explica que a corrosão das armaduras que ocorre nas estruturas de concreto é um processo de deterioração da fase metálica, provocando a perda da seção da barra de aço, bem como a formação de produtos de corrosão de caráter expansivo no interior da peça concretada. O acúmulo desse material gera tensões internas, provocando fissuras no concreto e, por consequência, lascamento e destacamento da camada de cobrimento.

Tais efeitos são altamente danosos à estrutura de concreto, podendo levá-la, inclusive, ao colapso.

2.2.2 Tipos de corrosão

Pires (2007) classifica a corrosão em armaduras de concreto armado ou protendido em cinco diversos processos:

- a) Corrosão uniforme: também conhecida como generalizada, é caracterizada pela corrosão do metal em toda a sua superfície exposta, o que resulta na diminuição gradual do diâmetro da barra e fissuração do concreto de cobrimento devido à produção de ferrugem.
- b) Corrosão pontual: é uma corrosão localizada em pequenos pontos ao longo da superfície do metal e que vai penetrando cada vez mais até a perfuração completa. Causada principalmente por cloretos, a corrosão por pites, como também é chamada, provoca furos na armadura, uma vez que a película passiva desaparece em alguns pontos.
- c) Corrosão por tensão fraturante: ocorre concomitantemente a uma tensão de tração, podendo ocasionar fissuras instantâneas. É um tipo de corrosão bastante perigosa, pois pode romper a barra de aço bruscamente, sem deformações excessivas ou aviso prévio.

- d) Corrosão por erosão: é uma corrosão localizada que se desenvolve em consequência da erosão de películas protetoras da barra de aço pela passagem de um fluido.
- e) Corrosão devido à fragilização pelo hidrogênio: é a corrosão ocasionada pelo hidrogênio atômico que se difunde para o interior da armadura e possibilita a fragilização com consequente perda de ductilidade e fratura da armadura.

2.2.3 Fases da corrosão

O concreto representa um meio altamente alcalino, com pH em geral variando de 12,5 a 13,5. Mesmo com o emprego de cimento contendo adições minerais, tais como metacaulim, cinza volante, sílica ativa, entre outras, o pH é pouco afetado por esses materiais (CASCUDO, 2005).

A alta alcalinidade apresentada pelo concreto é decorrente da fase líquida constituinte dos poros existentes, a qual é composta por hidróxidos alcalinos e possuem uma alta concentração de hidroxilas (OH⁻). Na temperatura de 25°, iniciam-se reações de passivação desenvolvendo a deposição na superfície metálica de uma capa ou película de óxidos de caráter protetor, o qual impede, por barreira, o contato dos agentes agressivos do meio com a superfície metálica. Assim, esse filme protetor é considerado um filme passivo, pois é muito aderente ao aço e bastante delgado.

Entretanto, mesmo com a proteção fornecida por esse filme, os agentes agressivos do meio conseguem penetrar na camada de cobrimento e atacar a armadura, despassivando-a. Helene (1986) dividiu esse processo de penetração em quatro fases distintas:

- a) Fase A: é caracterizada pela penetração de agente agressivos no concreto, despassivando a armadura. Essa despassivação pode ocorrer em apenas uma face da armadura, não a comprometendo completamente.
- b) Fase B: período de tempo entre a despassivação completa e o aparecimento de fissuras no concreto decorrentes da expansão dos produtos da corrosão. Essa fase depende muito das condições de exposição da peça, principalmente da umidade relativa do ambiente e da umidade do concreto. Quanto menos poroso o concreto, menor o período para fissurar, pois há maior retenção de umidade e menor espaço para acomodação dos produtos da corrosão.
- c) Fase C: é a fase caracterizada pela propagação da corrosão, excesso de fissuras e lascamento. Assim, é um período que apresenta grande risco para as pessoas que estão “protegidas” pela estrutura.

d) Fase D: corresponde à situação em que houve uma diminuição de 25% na seção das barras de aço, a partir da qual a estrutura pode entrar em ruína.

Um modelo bastante difundido no estudo da corrosão de armaduras é o estabelecido por Tuutti (1980):

a) Período de iniciação: ocorre destruição da película passivante devido a agentes agressivos do meio, como cloretos.

b) Período de propagação: a corrosão evolui até ser atingido um limite inaceitável para a segurança estrutural, funcionalidade ou estética.

A Figura 2.1 esquematiza o modelo proposto, onde CO_2 é gás carbônico, Cl^- são íons cloreto, O_2 é oxigênio, T é temperatura e Ur é umidade relativa:

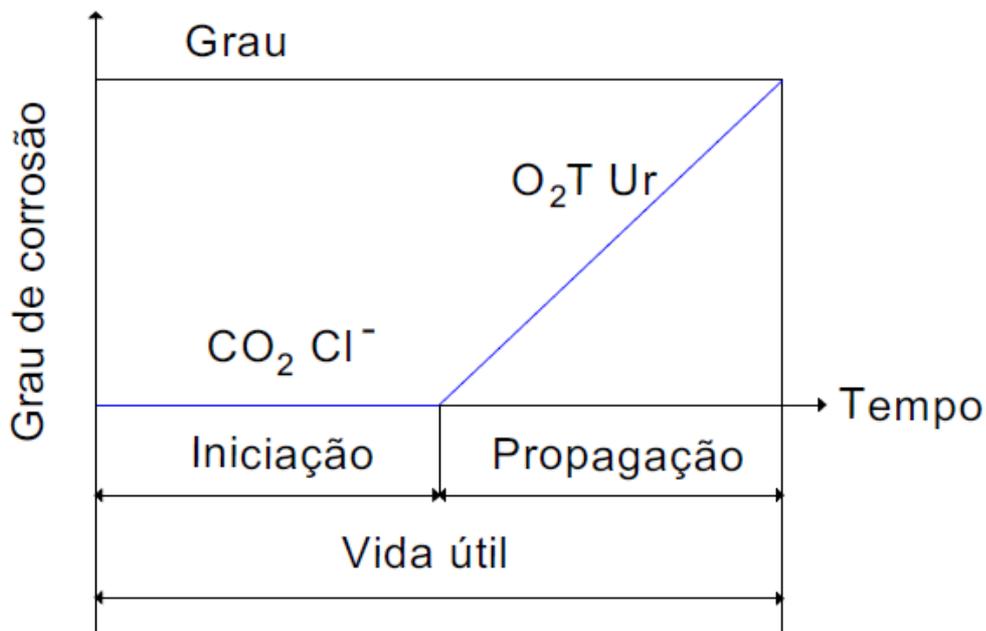


Figura 2.1 - Modelo de vida útil proposto por Tuutti (1980)

2.2.4 Mecanismos de corrosão

A corrosão metálica está ligada diretamente ao meio corrosivo, ao material e às condições operacionais (solicitações).

De acordo com esses fatores, existem dois principais mecanismos para os processos corrosivos (CASCUDO, 1998):

a) Mecanismo eletroquímico: é caracterizado pela ocorrência de reações químicas que envolvem a transferência de carga ou elétrons através de uma interface ou eletrólito.

- b) Mecanismo químico: nesse tipo de mecanismo há reações químicas diretas entre o material metálico e o meio corrosivo, não havendo geração de corrente elétrica.

No concreto armado, o processo de corrosão de armaduras ocorre por mecanismo eletroquímico, havendo uma reação química que envolve a condução de cargas entre diferentes regiões da barra de aço.

Para que haja corrosão deve existir um eletrólito, ou seja, deve haver água na estrutura porosa do concreto, uma DDP (diferença de potencial), a qual surge geralmente por diferença de umidade, concentração salina, entre outros, oxigênio e agentes agressivos.

Em uma região, necessariamente, deverá ocorrer a perda de elétrons (região anódica), enquanto em outra ocorre a redução de oxigênio (região catódica). Essa circulação de íons ocorre pelo eletrólito, formando uma pilha eletroquímica.

O processo eletroquímico, então, é composto por três sistemas:

- a) Zona anódica: ocorre a passagem dos íons para a solução;
- b) Deslocamento dos elétrons e íons: ocorre a transferência dos elétrons das regiões anódicas para as catódicas através do metal;
- c) Etapa catódica: ocorre recepção de elétrons pelos íons ou moléculas existentes na solução.

Na reação anódica são produzidos íons ferro e elétrons, os quais serão utilizados na reação de redução de oxigênio, formando-se a hidroxila. Assim, há a formação de uma corrente elétrica através da armadura no sentido ânodo-cátodo, fechando-se o circuito no sentido contrário pelo eletrólito. As reações químicas entre íons de ferro e a hidroxila, por sua vez, geram os produtos expansivos da corrosão (óxidos e hidróxidos de ferro).

Cascudo (2005) exemplifica o mecanismo eletroquímico da corrosão do aço no concreto, descrito nas Equações 2.1 e 2.2:

- Zona anódica (trecho corroído): ocorrem reações de dissolução do ferro (oxidação):



- Zona catódica (trecho não-corroído): ocorrem reações de redução de oxigênio:



Por meio destas reações os íons Fe^{2+} percorrem o eletrólito em direção ao cátodo e os íons hidroxila (OH^-) migram em direção ao ânodo. Em uma região intermediária os dois íons se encontram, precipitando, assim, hidróxido ferroso, conforme a Equação 2.3:



Muitas vezes, essas reações ocorrem muito próximas umas das outras, o que caracteriza a corrosão por micropilhas. Dependendo da heterogeneidade nas características do concreto ou do aço, as áreas de reação também podem estar bastante afastadas, ocorrendo a corrosão por macropilhas.

A Figura 2.2 a seguir esquematiza a formação da pilha eletroquímica no processo de corrosão de armaduras:

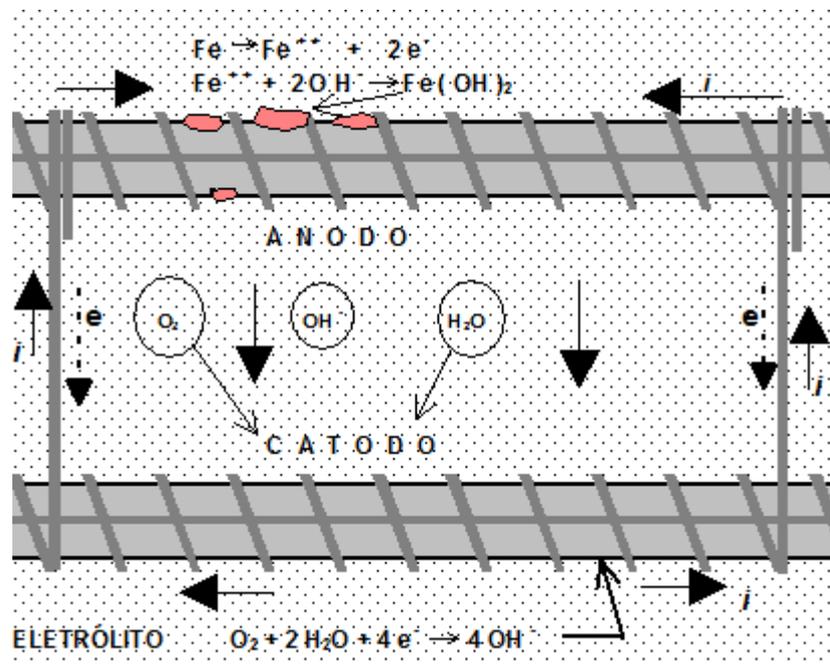


Figura 2.2 - Formação da pilha eletroquímica.

Os óxidos e hidróxidos de ferro como produtos de corrosão em armadura passam a ocupar volumes significativos dentro do concreto (3 a 10 vezes superiores ao volume inicial da armadura) (Souza & Ripper, 1998).

Como já comentado anteriormente, esses produtos produzem esforços radiais nas barras, gerando tensões de tração que provocam a fissuração nas peças de concreto. As fissuras, por se estabelecerem ao longo da barra corroída, são classificadas como fissuras ativas progressivas, pois possuem aberturas que vão aumentando ao longo do tempo.

Estes últimos autores acrescentam que, com o aumento das aberturas, ocorre a desagregação de concreto envolvente da armadura, uma vez que, ao oxidar-se, o ferro vai se

transformando em óxido de ferro hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$) e acrescenta até 15MPa de pressão sobre o concreto.

2.2.5 Ataque de íons cloreto

Helene (1986) indica os íons cloretos como os maiores causadores da corrosão de armaduras, provocando as mais sérias manifestações patológicas que uma estrutura pode apresentar.

De acordo com Varela (2010), a penetração de cloretos no concreto pode ocorrer de duas formas: quando o cloreto é adicionado no concreto durante a mistura ou quando a estrutura está exposta a ambientes com presença de névoa salina. No primeiro caso, a concentração de cloretos fica homogênea em toda a estrutura. No caso da contaminação por cloretos externos, existe uma contínua penetração destes sais, formando uma disposição gradual de concentração, na qual a superfície apresenta maior quantidade de cloretos.

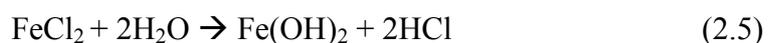
Em relação aos cloretos presentes no concreto, observa-se que existem três tipos diferentes de formas (VARELA, 2010):

- a) Quimicamente combinados (cloroaluminatos);
- b) Fisicamente absorvidos nas superfícies dos poros capilares;
- c) Livres na solução dos poros do concreto;

O cloroaluminato de cálcio resulta da combinação entre o cloreto e aluminatos do concreto. A formação deste produto insolúvel baixa os teores de cloretos solúveis a valores não agressivos.

Varela (2010) explica que os íons cloreto entram em contato com a armadura e reduzem o pH do concreto a valores próximos de 5, destruindo, assim, a camada passivadora, provocando a corrosão.

As reações apresentadas nas Equações 2.4 e 2.5 mostram o processo no qual os íons cloretos ativam a superfície do aço formando o ânodo, continuando o cátodo a parte passivada.



A teoria mais aceita para a corrosão de armaduras causada pelos íons cloretos é que estes penetram no filme passivo através dos poros ou defeitos construtivos, diminuindo a tensão superficial nas interfaces e ocasionando ruptura e falhas ao longo de todo o filme.

No ânodo, os íons cloretos favorecem a hidrólise (quebra por água) do Fe, formando H^+ e Cl^- livres. O pH, então, é reduzido localmente e os íons cloretos permanecem no meio agravando o problema de forma pontual.

2.2.6 Mecanismos de transporte dos íons cloreto

Cascudo (1998) dividiu o mecanismo de penetração de íons cloreto no concreto em quatro distintos processos:

- a) Absorção: é o processo migração de soluções salinas externas através dos poros do concreto. A penetração depende da porosidade da superfície, viscosidade da solução e tensão superficial.
- b) Difusão iônica: ocorre devido à 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.
- c) 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 está submersa, em contato com as ondas, semienterradas com a presença de lençol freático ou em contenção de solos.
- d) 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.

2.3 Origem e caracterização dos íons cloreto

2.3.1 Zona de atmosfera marinha

No ambiente marinho são encontrados vários fatores que atuam de forma prejudicial nas estruturas de concreto. Tais fatores podem ser físicos, químicos e até biológicos, atuando, em alguns casos, de forma simultânea (RIBEIRO et al, 1999).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a deterioração do concreto em ambientes marinhos pode acontecer, principalmente, pela combinação da ação química dos constituintes da água do mar sobre os produtos de hidratação de cimento, da expansão álcali-agregado, das

condições de molhagem e secagem, da corrosão da armadura e da erosão física pela ação das ondas ou dos ventos que carregam a névoa salina consigo. Para concretos sem armadura, os constituintes da água do mar mais danosos são o sulfato e o magnésio.

Existem vários estudos sobre a degradação de estruturas de concreto em ambiente marinho. Desse modo, alguns autores dividiram tal ambiente em zonas caracterizadas pelo acesso de oxigênio e de água e umidade.

Duracrete (1999) esquematizou, conforme a Figura 2.3, tais zonas, a saber:

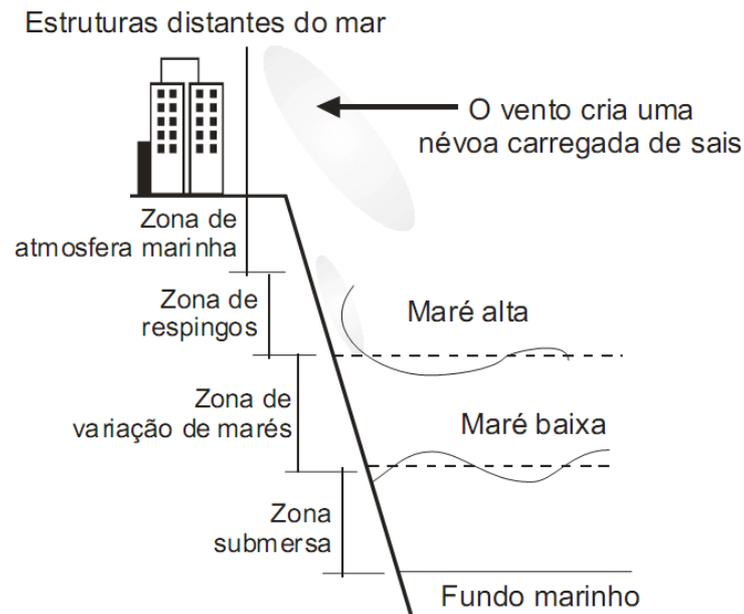


Figura 2.3 - Zonas de agressividade às estruturas de concreto (DURACRETE, 1999).

- a) Zona de atmosfera marinha: nesta zona, a estrutura de concreto armado está sujeita a uma quantidade expressiva de sais, apesar de não estar em contato direto com a água do mar. Os ventos influenciam de forma direta no transporte destes sais, tanto como partículas sólidas como gotas de solução salina. Além disso, a quantidade de sais presente na estrutura diminui em função do distanciamento do mar.
- b) Zona de respingos: nesta zona, ocorre a ação direta do mar, devido às ondas e aos respingos, sendo que os maiores danos à estrutura acontecem devido à corrosão das armaduras pelos íons cloreto.
- c) Zona de variação de marés: é a região que fica limitada pelos níveis de máximo e mínimo das marés. A degradação da estrutura acontece devido à ação de sais agressivos, corrosão da armadura, ação das ondas e microrganismos.

- d) Zona submersa: é a região onde a estrutura de concreto encontra-se submersa. A degradação acontece pela ação de sais agressivos (sulfato e magnésio) e pela ação de microrganismos que podem causar corrosão biológica das armaduras.

Assim, cada zona possui sua particularidade e é influenciada por fatores diferentes.

2.3.2 Agentes de degradação presentes no ambiente marinho

A seguir, apresentam-se os elementos químicos, físicos e biológicos de degradação das estruturas de concreto em ambiente marítimo.

Segundo Sousa e Oliveira (2011), a agressividade química do ambiente marinho se deve principalmente aos sais dissolvidos na água do mar, tais como: cloreto de sódio, cloreto de magnésio, sulfato de magnésio, sulfato de cálcio, cloreto de cálcio, cloreto de potássio, sulfato de potássio e bicarbonato de cálcio.

Desse modo, é interessante dividir a agressividade química do ambiente marinho em dois processos distintos, cada um com características de ataque específicas.

O primeiro processo é referente à degradação do concreto causada diretamente pelos sais agressivos que atuam diretamente na estrutura, como os presentes na água do mar, podendo estes impulsionar reações químicas com os componentes do cimento. O segundo processo, então, está ligado ao processo de corrosão de armaduras devido à presença de íons cloreto no ar atmosférico somado a outros fatores intervenientes do meio ambiente, como a umidade relativa do ar, por exemplo.

Dentre os fatores físicos que mais contribuem para o aumento ou aceleração da degradação de estruturas de concreto em ambiente marinho, podem-se citar os ventos e as ondas.

Os ventos são formados devido a interações, em diferentes escalas, entre o oceano e a atmosfera. Na zona costeira brasileira, os ventos dominantes são os alíseos, anticiclone do atlântico e polar e as frentes frias, não sendo esta zona significativamente afetada por furacões como outras regiões do planeta (LIMA NETO, 2011).

Conforme este último autor, assim que o vento começa a atuar na superfície oceânica, ocorre uma colisão entre as moléculas do ar e da água, iniciando-se, então, um processo de transferência de energia. Desse modo, surgem pequenas deformações, tornando a superfície do mar bastante rugosa. Se o vento não cessar, as deformações aumentam e se

transformam em pequenas ondas que se propagam e aumentam à medida que se aproximam da zona de praia.

Morelli e Lima (2004), então, explicam que essas ondas que chegam à zona de praia e se encontram com estruturas de concreto são as grandes causadoras do desgaste superficial provocado pelo impacto contínuo da água do mar com o concreto, ou mesmo por respingos ou névoa salina.

Sousa e Oliveira (2011) descrevem que os principais agentes biológicos agressores às estruturas de concreto em ambiente marinho são os organismos encrustadores que se fixam no concreto ou na armadura já exposta e causam desgastes na estrutura devido à produção de resíduos metabólicos, enzimas ou ácidos.

Como exemplos de tais organismos, podem-se citar os moluscos, crustáceos, equinodermos (estrelas-do-mar e ouriço-do-mar) e algas.

2.3.3 Formação, transformação e transporte do aerossol marinho

O aerossol marinho (conjunto de soluções salinas formadas pela quebra das ondas do mar) constitui um dos mais importantes sistemas de aerossóis naturais do planeta, pois ele contribui significativamente para o balanço energético da Terra, além de ter forte influência nos ecossistemas e até mesmo na qualidade do ar (O'DOWD & LEEUW, 2007).

Johnson (2005) afirma que toda a formação do aerossol marinho está ligada diretamente ao movimento da água do mar. Este movimento gera pequenas bolhas que podem explodir e gerar menores partículas (gotículas).

Na zona de quebra de ondas o processo de formação do aerossol é bastante acentuado, mas em mar aberto também é possível observar a formação do aerossol, em menor intensidade, devido à influência da pressão que o vento exerce na superfície da água.

Taylor e Wu (1992), em suas pesquisas, mostram uma simplificação para classificação das partículas formadas, onde d é o diâmetro da partícula:

- a) $d > 20 \mu\text{m}$ – jorro/gotículas em forma de espuma;
- b) $10 \mu\text{m} < d < 20 \mu\text{m}$ – jorro/gotículas em forma de película;
- c) $2 \mu\text{m} < d < 10 \mu\text{m}$ – gotículas em forma de película.

Zeza e Macri (1995) defendem que, depois que as gotículas se formam, ocorre um equilíbrio das mesmas com o meio ambiente. Fatores como vento, temperatura e umidade podem transformar essas pequenas gotas em cristais (sais) ou em soluções salinas de diversas

concentrações. O conjunto desses cristais e das soluções, aliados à umidade do ar, formam o aerossol marinho.

Segundo Feliu et al (1999), após a produção do aerossol marinho, este é transportado para o interior do continente pelo vento. Durante este transporte ao longo de vários metros, partículas que compõem o aerossol marinho vão perdendo altitude devido o efeito da gravidade e se depositam em obstáculos encontrados no caminho.

Desse modo, o transporte dos íons cloreto através do continente é influenciado por fatores topográficos, temperatura, umidade relativa, precipitação, altura dos obstáculos, distância em relação ao mar, dentre outros.

2.3.4 Fatores que influenciam o transporte/ deposição do aerossol marinho

2.3.4.1 Vento

O ar está em movimento e isto é sentido como vento. Este influencia processos hidrometeorológicos, uma vez que, ao retirar a camada de ar saturado próxima ao solo e substituí-la por uma com menos umidade, faz com que o processo de evaporação seja contínuo (STUDART, 2006).

Assim, além de movimentar as partículas presentes na atmosfera, o vento também influencia na umidade relativa do ar.

A respeito dessa capacidade de movimentação de partículas suspensas no ar, este processo desempenha um grande papel no transporte de íons cloreto através do continente, uma vez que o vento é capaz de se desviar de obstáculos impostos em seu caminho, como edificações, pessoas e árvores.

Como já explicado anteriormente, o vento é fator desencadeante da formação das ondas e, por consequência, do aerossol marinho. Logo, quando a velocidade do vento aumenta, há um aumento na quantidade de partículas presentes no aerossol, contribuindo para o acréscimo da concentração salina.

Meira e Padaratz (2002) enfatizam que, em velocidades de vento na faixa de 3 a 7m/s, o efeito do deslocamento de íons cloreto no ar atmosférico já é bem intenso.

2.3.4.2 Precipitação

Segundo Studart (2006), precipitação é o fenômeno atmosférico no qual a água volta à terra pela condensação do vapor d'água contido na atmosfera.

A incidência da chuva, pressionada contra a fachada das edificações pela ação do vento, provoca gradientes de exposição à água, provocando molhagem diferenciada nos materiais e sistemas utilizados. Essas condições provocam fissuras (devido à movimentação diferenciada), crescimento de fungos, lavagem diferenciada e consequente manchamento nas fachadas (LENCIONI & LIMA, 2008)

Apesar de muitas vezes maléfica a uma estrutura, a água da chuva é fator decisivo para a diminuição da concentração de íons cloreto depositados nos elementos estruturais ou fachadas de uma edificação, uma vez que a precipitação ocasiona um processo de lavagem, retirando sais outrora presentes.

2.3.4.3 Umidade

Pode-se dizer que umidade do ar é água em forma de vapor e de pequenas partículas dissolvidas por toda a atmosfera. A condensação deste vapor é que origina a maioria dos fenômenos do tempo, como nuvens, chuva e orvalho (STUDART, 2006).

Biczok (1964) comenta que estruturas de concreto em zona de atmosfera marinha podem ser atacadas sem estar em contato direto com a água do mar, pois o ar do ambiente marítimo possui sais que podem penetrar na pasta de cimento, sendo esse ataque mais intenso no inverno e outono devido à alta umidade relativa do ar nessas estações do ano.

Para Pontes (2006), a corrosão aumenta com o acréscimo da umidade relativa do ar, atingindo um valor máximo quando a umidade relativa está em 95%, e reduzindo a um nível mais baixo perto da saturação.

2.3.4.4 Temperatura

A temperatura está ligada, geralmente, de forma indireta com a deposição de íons cloreto em estruturas de concreto, uma vez que o aumento da temperatura contribui para o processo da evaporação, aumentando a umidade e, por consequência, a precipitação.

No entanto, Neville (1997) ressalta que temperaturas altas são grandes influenciadoras na degradação de uma estrutura de concreto em zona marinha, pois o aumento gradativo da temperatura do meio proporciona o aumento da cinética das reações químicas que ocorrem no concreto, ou seja, se uma estrutura já vem sofrendo corrosão de armadura devido a íons cloreto, um aumento da temperatura incrementará a velocidade da corrosão.

Além disso, a variação térmica interfere nos processos de molhagem e secagem, bem como na expansão ou retração do concreto, podendo surgir microfissuras e facilitando a penetração de íons cloreto na estrutura.

2.3.4.5 Altitude

Cipriano e Blanchard (1984) estudaram, durante oito dias no mês de outubro de 1981, a influência da altitude na concentração do aerossol marinho em uma edificação na praia de Oahu no estado norte americano Hawaii.

A pesquisa destes autores concluiu que existe uma diminuição gradual da concentração de íons cloreto na medida em que se aumenta a altitude. Tal diminuição deve-se ao fato de as maiores partículas de sais voltarem à superfície do oceano ou mesmo ao nível do solo do continente, uma vez que a gravidade é fator atuante nas partículas.

Desse modo, os autores perceberam que a concentração de íons cloreto diminuía rapidamente com altitudes maiores de 250m, onde o ar é bastante estável.

No Brasil, Medeiros et al (2010) realizaram pesquisa semelhante em um edificio composto por dois subsolos, térreo e 36 pavimentos tipo. A edificação, a qual se encontra a 700m do mar, está localizada na Barra da Tijuca no Rio de Janeiro, Brasil.

Estes últimos autores afirmam que os pilares de sustentação do térreo, após pericia, foram os que mais apresentaram corrosão de armadura devido a concentração de íons cloreto no ar atmosférico. Os pilares dos pavimentos superiores também apresentaram corrosão, mas esta foi mostrando-se gradativamente menor à medida que se aumentava a altitude.

Logo, os estudos acima permitiram realizar inferências sobre a influência da altura da edificação na contaminação do concreto por íons cloretos, ou seja, o grau de contaminação em alturas distintas de uma mesma estrutura.

2.3.4.6 Distância em relação ao mar

Em João Pessoa – PB, Brasil, Meira e Padaratz (2002) instalaram cinco estações de velas úmidas para monitoramento da concentração de íons cloreto na costa paraibana. Desta forma, as cinco estações cobriram as distâncias de 10, 100, 200, 500 e 1100m em relação ao mar. Os resultados obtidos no período de novembro de 2001 a março de 2002 referentes à deposição de cloretos oriundos do aerossol marinho indicaram uma grande redução da concentração desses íons nos primeiros 200 metros em relação ao mar.

Por meio de várias análises, estes últimos autores criaram um modelo matemático para relacionar a relação entre a distância em relação ao mar e a deposição de íons cloreto, como se mostra na Equação 2.6.

$$y = ae^{-bx} \quad (2.6)$$

onde:

y é a deposição de íons cloreto, 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.

Pontes (2006) realizou estudo semelhante na Praia de Boa Viagem, em Recife – PE e concluiu que a deposição de cloretos dá-se de modo significativo nos primeiros 400m e atinge valores ínfimos a partir dos 700m do mar.

Assim, observa-se claramente que a concentração de cloretos agressivos diminui à medida que se avança no continente, sendo esta uma variante dependente do local analisado.

2.3.4.7 Influência dos materiais do concreto

O transporte de substâncias agressivas no interior de uma estrutura dá-se, principalmente, pela estrutura porosa do concreto, a qual influencia diretamente a resistência e a durabilidade de uma peça estrutural.

Cascudo (1997) considera as características do concreto, tais como: tipo de cimento, relação água/cimento e tipo de agregado, as principais facilitadoras no transporte de cloretos.

Andrade e Silva (2005) defendem que o cimento Portland, apesar de ser usado há muitos anos e apresentar uma boa confiabilidade, deve ser sempre monitorado por ensaios físicos, como resistência à compressão, finura, início de pega e expansibilidade, bem como por ensaios químicos para determinação da composição química, perda ao fogo, etc.

Para evitar que o concreto apresente deterioração prematura, o cimento utilizado deve ser sempre resistente ao agente agressor.

Cimentos como o Portland de alto-forno (CP III) ou o Portland pozolânico (CP IV) são bastante indicados para reduzir a penetração de íons cloreto, pois ambos desprendem mais lentamente o calor de hidratação, proporcionando maior resistência ao concreto e um menor aparecimento de fissuras.

A escolha dos agregados também é de extrema importância para a qualidade do concreto, pois eles desempenham características valiosas, como a redução de retração e o aumento da resistência aos esforços mecânicos.

Souza e Ripper (1998) defendem que os agregados escolhidos para a composição de um concreto devem ser isentos de substâncias nocivas e possuir, de preferência, forma arredondada (agregados graúdos), pois a forma dos grãos facilita o adensamento do concreto.

Além disso, é importante que todos os agregados passem por uma determinação do teor de umidade, uma vez que a quantidade de água introduzida no concreto altera consideravelmente o fator água/cimento.

Areias de praia só poderão ser utilizadas em concretos não armados, pois as mesmas possuem teor alto de cloretos e outros sais, os quais podem modificar o tempo de pega e a velocidade de endurecimento do concreto.

A água é outro elemento importante na construção de uma estrutura. É a quantidade de água utilizada que determina a resistência final do concreto, devendo sempre estar potável, sem materiais em suspensão ou impurezas químicas (cloretos e sulfatos).

Aditivos, se forem utilizados, deverão ter um rígido controle da dosagem e uma ótima compatibilidade com o aglomerante empregado, pois, ao invés de ajudar, o mau uso pode acarretar efeitos indesejáveis.

A relação água/cimento é o fator principal que influencia a penetração de íons cloreto no concreto, devido ao refinamento da porosidade que se obtém em baixas relações, dificultando a penetração desses agentes agressivos.

Souza e Ripper (1998) citam que uma relação água/cimento acima de 0,6 resulta em um aumento significativo nos valores do coeficiente de permeabilidade, proporcionando um concreto mais poroso e mais passível de ataques por agentes agressivos.

Em resumo, o controle da qualidade dos materiais empregados na confecção do concreto, bem como a dosagem adequada, contribuem diretamente na fabricação de um material confiável e duradouro, proporcionando uma maior resistência à agentes externos.

2.3.5 Determinação de teor de íons cloreto no ar atmosférico

Um dos métodos mais difundidos para a determinação do teor de íons cloreto presente no ar atmosférico de determinada região é a vela úmida.

Costa (2001) foi o pioneiro na utilização da vela úmida no Brasil como sensor para avaliar o perfil de distribuição de sais marinhos por meio da deposição de cloretos, sulfatos e nitratos na região metropolitana de Salvador-BA.

O sensor simples foi proposto pela ASTM G-140 (Determining Atmospheric Deposition Rate by Wet Candle Method) de 1996 e consiste em um Erlenmeyer com água, ao qual é introduzido um tubo de ensaio enrolado com uma gaze. Por ascensão capilar, a gaze

fica úmida e consegue capturar os íons presentes no ar que entram em contato com ela. O mecanismo de difusão permite que estes íons se movam para o interior da solução presente no frasco coletor.

No Brasil também existe uma norma para o procedimento de determinação de íons cloreto provenientes do ar atmosférico por meio da vela úmida: NBR 6211 (ABNT, 2001) – Corrosão atmosférica – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida.

Segundo a NBR 6211 (ABNT, 2001), a vela úmida consiste em 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. A rolha tem dois tubos de vidro localizados o mais próximo possível do cilindro, pelos quais passam as extremidades da gaze, que devem atingir o fundo do frasco. Estes tubos devem ter formato adequado para que o líquido que desce pela gaze seja drenado, sem perda, para o frasco coletor. O frasco coletor deve ser de vidro, polietileno ou outro material inerte, com aproximadamente 800 ml de capacidade.

A vela úmida deve ser preparada utilizando luvas de PVC e em ambiente isento de contaminantes. Deve-se também tomar cuidado para que o material utilizado não contamine a solução com cloretos ou com interferentes.

A Figura 2.4, extraída da NBR 6211 (ABNT, 2001), esquematiza um modelo para a vela úmida:

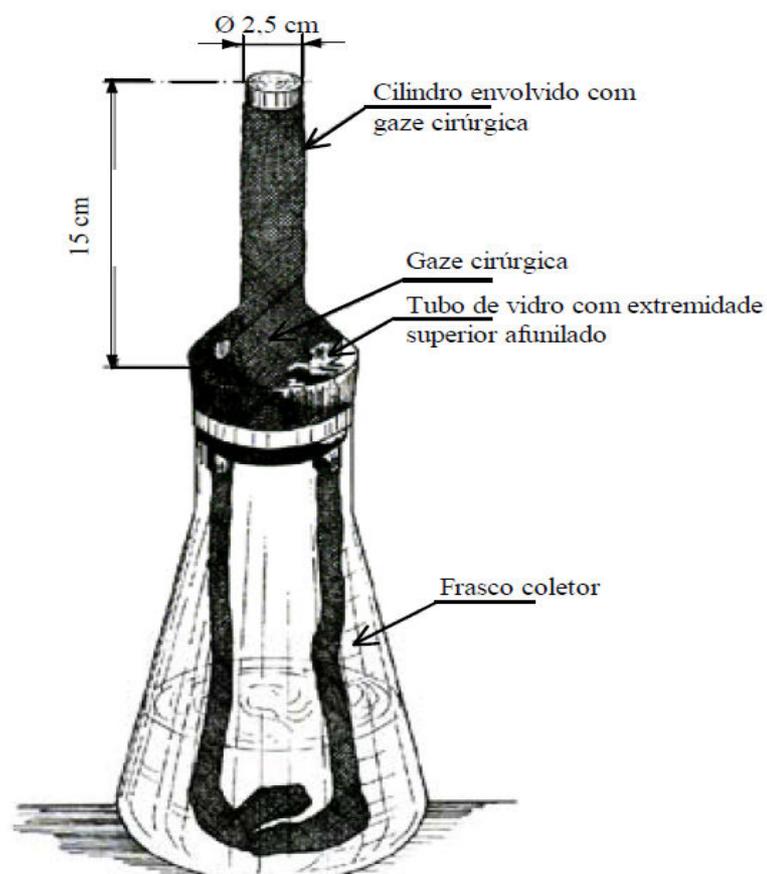


Figura 2.4 - Vela úmida NBR 6112 (ABNT, 2001).

A NBR 6211 (ABNT, 2001) expressa os resultados obtidos com a análise da vela úmida em massa de cloreto por unidade de área e tempo, ou seja, a quantidade de cloreto que ficou retida na gaze durante o tempo de exposição.

Assim, o teor de cloretos é determinado pela Equação 2.7:

$$\text{Cloreto} \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \right) = \frac{2(A-B) \times M \times 35,5 \times V_T}{V_a \times S \times t} \quad (2.7)$$

onde:

A é o volume gasto de solução-padrão de nitrato mercúrico com a alíquota, em mililitros;

B é o volume gasto de solução-padrão de nitrato mercúrico com o branco, em mililitros;

M é a concentração de solução-padrão de nitrato mercúrico, em molaridade;

V_T é o volume total da amostra após a diluição, em mililitros;

V_a é o volume de alíquota, em mililitros;

S é a área da gaze exposta, em metros quadrados;

t é o tempo de exposição, em dias.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Localização do ambiente

A pesquisa foi desenvolvida na orla marítima da Praia do Futuro, uma das regiões que mais vêm atraindo empreendimentos em Fortaleza, Ceará.

Foram instaladas quatro velas, situadas a 100m, 300m, 740m e 1000m do mar e uma vela situada no Laboratório de Materiais de Construção Civil no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará (LMCC), a qual também serviu como base para o ensaio em branco.

A disposição das velas é esquematizada na Figura 2.1.

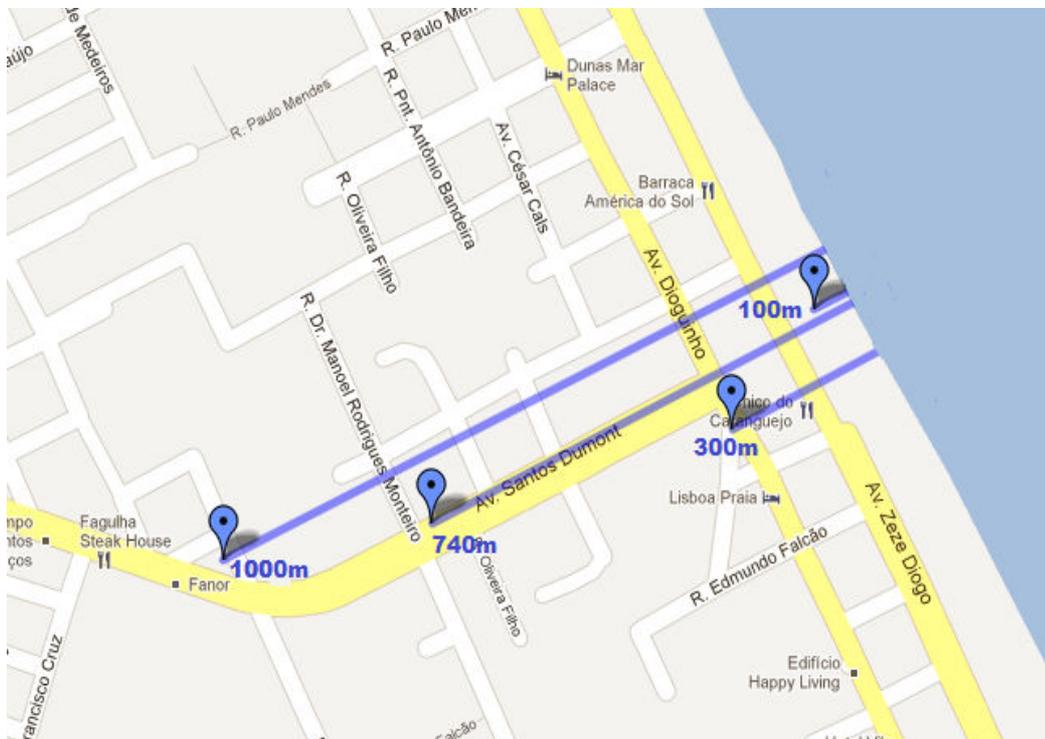


Figura 3.1 - Disposição das velas úmidas.



Figura 3.2 - Vista do mar aberto da Praia do Futuro na região analisada.

As velas úmidas foram instaladas a uma altura mínima de 1 m acima do nível do solo conforme orientações da NBR 6211 (ABNT, 2001).

As Figuras 3.3 a 3.7 apresentam as cinco estações de monitoramento.



Figura 3.3 - Vela úmida a 100 m do mar



Figura 3.4 - Vela úmida a 300 m do mar



Figura 3.5 - Vela úmida a 740 m do mar



Figura 3.6 - Vela úmida a 1000 m do mar



Figura 3.7 - Vela úmida no LMCC – UFC

A determinação de íons cloreto no ar atmosférico foi realizada seguindo as recomendações da NBR 6211 (ABNT, 2001) - Corrosão atmosférica – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida.

A pesquisa foi realizada durante os meses de julho a outubro de 2011 e teve medições mensais, totalizando três coletas para cada vela instalada.

3.2 Preparação das velas úmidas

As velas úmidas utilizadas na pesquisa foram montadas com tubos de ensaio de vidro de 25x200mm e tubos de poliestireno de 12x75mm, além de Erlenmayer de boca larga com capacidade de 1000ml, conforme a Figura 3.8.



Figura 3.8 - Vela úmida

Os reagentes utilizados no preparo da vela úmida também são citados pela NBR 6211 (ABNT, 2001) e devem ser altamente puros para que os resultados obtidos sejam os mais confiáveis.

Como reagentes, podem-se citar:

- a) Ácido octanóico ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$);
- b) Glicerol ($\text{CHOH}(\text{CH}_2\text{OH})_2$);

Todas as velas foram produzidas e posteriormente fixadas nos frascos coletores correspondentes contendo, aproximadamente, 300 mL de água glicerinada.

Para a NBR 6211 (ABNT, 2001), o volume de água glicerinada a ser introduzido nos frascos coletores é de 200 mL, podendo esse valor ser aumentado em épocas do ano em que possa haver diminuição expressiva de volume durante o tempo de exposição, ou seja, nos períodos não chuvosos.

Uma vela adicional (Branco) foi também preparada para servir com referência na determinação de íons cloreto presentes nas outras velas expostas na praia. Esta vela foi guardada em um armário do Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Ceará (Labosan), tratando-se este um ambiente isento de contaminantes.

Além do ensaio em Branco, a eficiência do ensaio descrito na NBR 6211 (ABNT, 2001) foi testada utilizando uma quantidade conhecida de cloretos (solução-padrão de cloreto de sódio).

3.3 Procedimento da amostragem

Abaixo seguem as recomendações da NBR 6211 (ABNT, 2001) para o procedimento da amostragem:

- a) Instalar a vela conforme descrito no item 3.3.4 e deixá-la exposta por um período em torno de 30 dias;
- b) Terminado o tempo de exposição, a gaze deve ser retirada com uma pinça e colocada em um recipiente com cerca de 200 mL de água;
- c) Para que todos os íons cloreto sejam dissolvidos, a solução deve ser bem agitada;
- d) A gaze, então, é retirada da solução e lavada com água, sendo esta reservada.
- e) As soluções do frasco coletor e as águas de lavagem são misturadas, completando-se com água a um volume conhecido (V_T);
- f) Por fim, a amostra é identificada, anotando-se a área da superfície exposta, em metros quadrados (S), o volume total da amostra em mililitros após diluição com água (V_T), o local e o tempo de exposição em dias (t).

O procedimento descrito também se aplica à vela úmida para o ensaio em Branco.

Desse modo, as nomenclaturas utilizadas para as velas instaladas foram:

- a) E₁, para a vela 1 (100 m do mar);
- b) E₂, para a vela 2 (300 m do mar);
- c) E₃, para a vela 3 (740 m do mar);
- d) E₄, para a vela 4 (1000 m do mar);
- e) UFC, para a vela instalada na Universidade Federal do Ceará;
- f) BRANCO, para a vela guardada no Labosan.

3.4 Procedimento para determinação do teor de cloretos

Segundo a NBR 6211 (ABNT, 2001), o íon cloreto resultante da absorção em água contendo glicerol é titulado com solução diluída de nitrato de mercúrio na presença do indicador misto difenilcarbazona e azul-de-bromofenol. O ponto final da titulação é a formação do composto mercúrio-difenilcarbazona, de cor azul-violeta, em uma faixa de valores de pH de 2,3 a 2,8, conforme figuras do ANEXO B.

Os reagentes utilizados na determinação são os seguintes:

- a) Ácido nítrico (HNO₃ d=1,42);
- b) Nitrato mercúrico (Hg(NO₃)₂.H₂O);
- c) Indicadores mistos: difenilcarbazona e azul-de-bromofenol;
- d) Etanol (C₂H₅OH) a 95%;
- e) Hidróxido de sódio (NaOH).

As soluções utilizadas na montagem e análise das velas úmidas seguem descritas no ANEXO A.

3.5 Caracterização climatológica do ambiente

As características climatológicas do ambiente estudado foram obtidas através de dados semanais disponíveis pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Os parâmetros acompanhados durante os meses da pesquisa foram a direção e velocidade do vento, umidade, precipitação, insolação e temperatura.

O acompanhamento semanal de todas estas características segue no ANEXO C.

O Quadro 3.1 apresenta o resumo das características climatológicas do ambiente no período da pesquisa.

Quadro 3.1- Resumo das características climatológicas (INMET, 2011).

Resumo						
Período: 26 de julho de 2011 a 28 de outubro de 2011						
Período	Direção do vento	Velocidade do vento	Insolação	Umidade relativa	Temperatura	Precipitação
26/jul a 26/ago	130,60 °	2,80 m/s	284 horas	70,20 %	26,70 %	21,00 mm
26/ago a 28/set	125,10 °	3,20 m/s	325 horas	66,30 %	26,90 %	10,00 mm
28/set a 28/out	109,20 °	3,30 m/s	275 horas	68,60 %	27,40 %	23,00 mm

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da determinação do teor de íons cloreto pelo método da vela úmida nos três meses analisados são apresentados no Quadro 4.1.

Os volumes de solução gastos nas titulações seguem no ANEXO D.

Quadro 4.1 - Resumo da concentração de cloretos no período analisado.

Concentração de Cloreto (mg/(m².d))					
Estação	Distância	26/jul a 26/ago	26/ago a 28/set	28/set a 28/out	Média
E1	1000	152,76	169,03	17,00	112,93
E2	740	170,24	186,78	96,46	151,16
E3	300	212,23	221,27	190,75	208,08
E4	100	496,81	491,19	465,06	484,35
UFC	4700	0,00	0,00	0,00	0,00

Os resultados acima serão, a seguir, relacionados com os parâmetros climatológicos coletados ao longo da pesquisa.

É importante ressaltar que a vela úmida UFC está a 4700 metros da praia mais próxima, na Barra do Ceará.

4.1 Parâmetros climatológicos

Durante o período analisado, as características do vento tiveram uma variação pequena, ou seja, a velocidade e a direção predominante, mesmo diminuindo em relação ao primeiro mês, apresentaram um valor praticamente constante.

A velocidade do vento demonstrou um leve aumento (de 2,80m/s para 3,30m/s) e a direção predominante teve uma oscilação de 22° (de 131° para 109°) conforme o esquema apresentado na Figura 4.1.

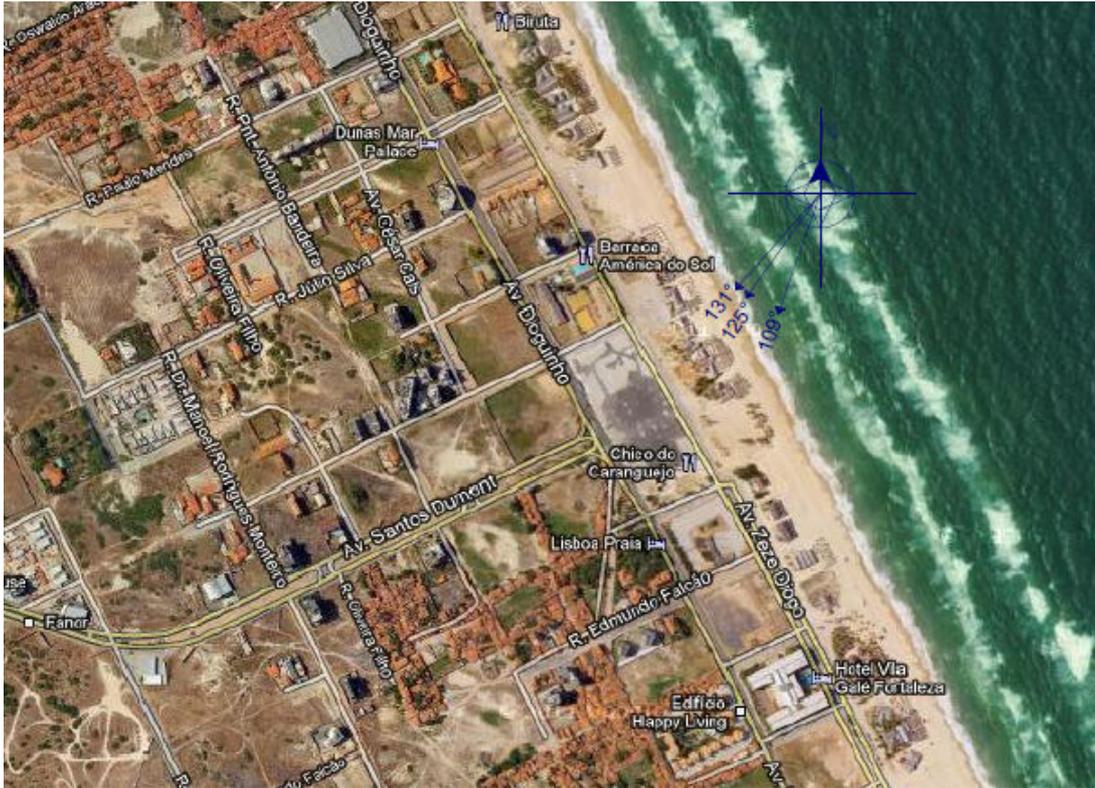


Figura 4.1 - Direção predominante dos ventos

Desse modo, verifica-se que o aumento da velocidade do vento proporcionou o aumento da concentração de íons cloreto, uma vez que o acréscimo da velocidade do vento desencadeia uma maior formação do aerossol marinho e sua disseminação para a atmosfera.

Os três meses de análise desta pesquisa coincidiram com o período não chuvoso de Fortaleza, ou seja, neste período é comum que não haja lavagem das fachadas das edificações, proporcionando um maior acúmulo de névoa salina.

Observando os resultados obtidos pelo INMET, nota-se que a precipitação total apresentou uma queda do primeiro para o segundo mês e um aumento deste para o terceiro, evidenciando, assim, que a lavagem das fachadas das edificações no entorno analisado foi menor no segundo mês, o que ocasionou um maior acúmulo de íons cloreto neste período.

A umidade relativa medida ao longo do período pesquisado teve um comportamento de pouca variação. O seu comportamento seguiu como já era esperado, ou seja, nos meses com maior incidência de chuvas, a umidade relativa do ar foi também maior.

Nos três meses de análise, a umidade relativa do ar ficou entre as faixas de 66,30% e 70,20%, valores relativamente distantes dos 95%, o qual é altamente propício para a corrosão de armaduras em ambiente marítimo.

Assim como a umidade relativa do ar, a temperatura local manteve-se bastante constante, pois os meses analisados se encontram em um mesmo período climático de Fortaleza.

Essa pequena diferença de temperatura não é significativa para uma degradação de estruturas de concreto em ambiente marítimo, uma vez que a relação desta com a temperatura é ligada diretamente à grande variação térmica, podendo esta causar retração do concreto e o surgimento de fissuras, as quais proporcionariam um maior ataque pelos íons cloreto.

A insolação influenciou a maioria dos outros parâmetros climáticos, ou seja, a insolação agiu diretamente na umidade do ar, sendo este o parâmetro mais afetado pela incidência dos raios solares.

Não se pôde verificar diretamente o efeito da insolação com a concentração de íons cloreto obtida, pois a área de análise não recebe a influência de ondas ou marés, não havendo, assim, ciclos de molhagem ou secagem significativos.

4.2 Deposição de íons cloreto

4.2.1 Efeito da distância em relação ao mar e a deposição de íons cloreto

O decréscimo da concentração de íons cloreto à medida que vai se aumentando a distância em relação ao mar é bastante notório, como se observa nos gráficos abaixo:

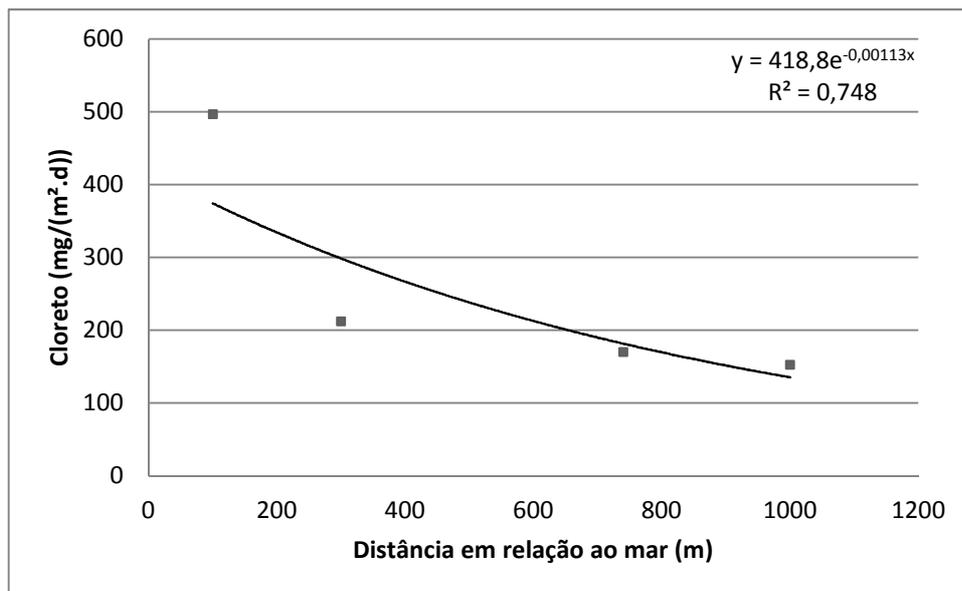


Figura 4.2 – Deposição de íons cloreto (26/jul a 26/ago)

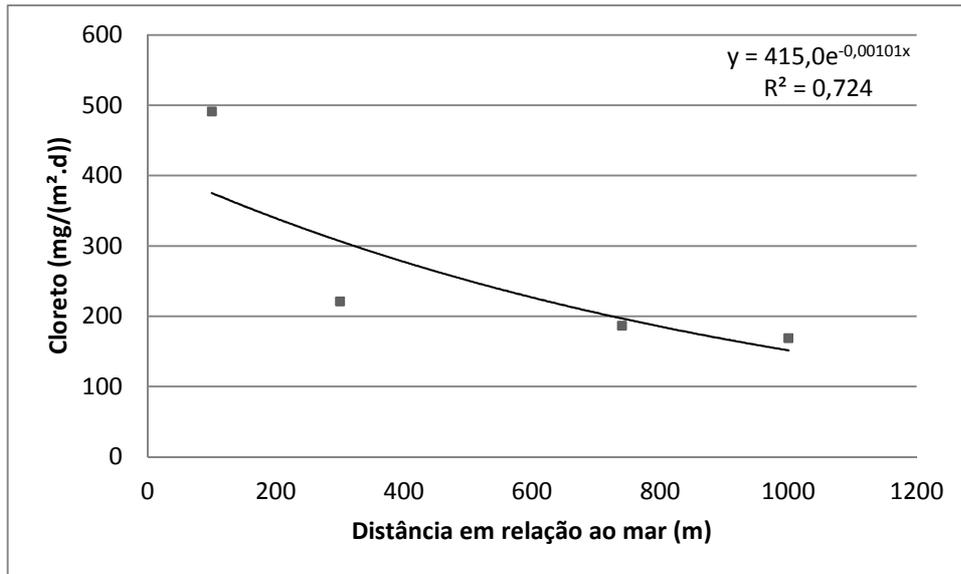


Figura 4.3 - Deposição de íons cloreto (26/ago a 28/set)

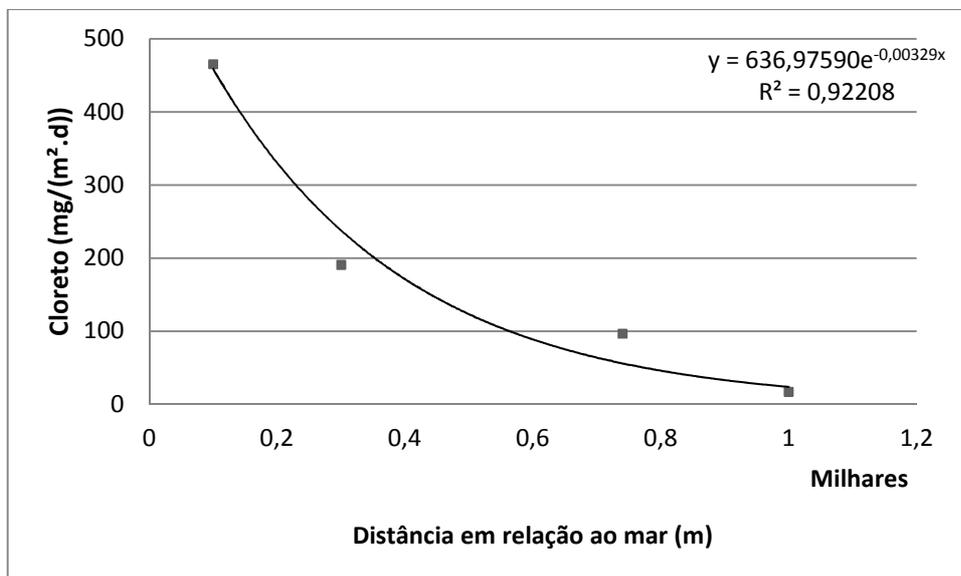


Figura 4.4 - Deposição de íons cloreto (28/set a 28/out)

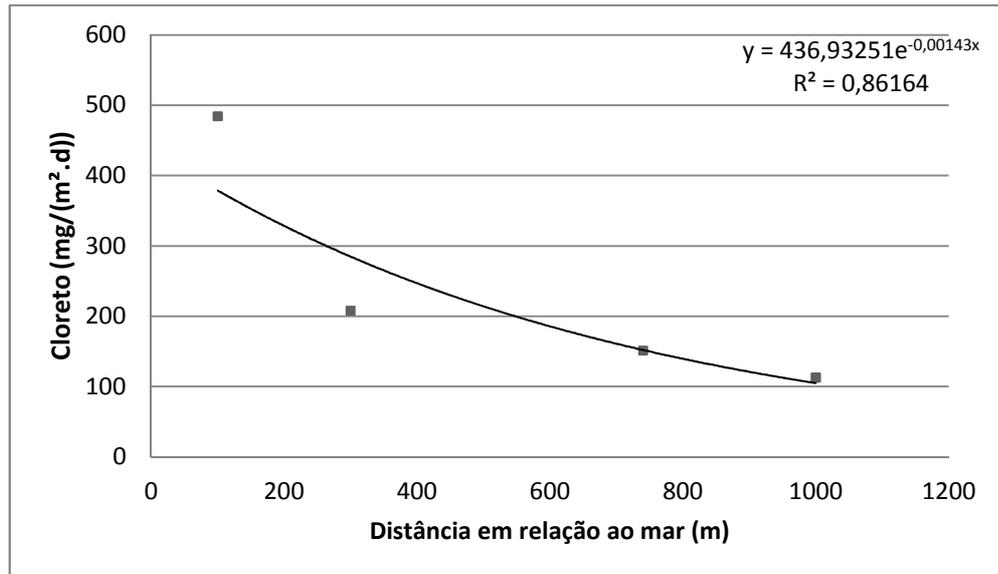


Figura 4.5 - Deposição média de íons cloreto no período de análise (26/jul a 28/out)

Como se pode observar nos gráficos apresentados, um bom modelo para representar a relação entre a deposição de íons cloreto e a distância em relação ao mar é um gráfico de dispersão com linha de tendência exponencial, do tipo $y = ae^{-bx}$.

Desse modo, a análise da deposição média no período analisado retorna a equação $y = 436,93e^{-0,00143x}$ com coeficiente de determinação $R^2=0,8616$, ou seja, 86,16% da variância de y é explicada pela variância de x .

Uma linearização da curva obtida é também uma possível saída para relacionar a deposição de íons cloreto com a distância em relação ao mar, pois muitos físicos como Galileu Galilei apostavam na regularidade de efeitos da natureza (TABACNIKS, 2003).

A linearização de uma função é a transformação de uma função curvilínea em uma reta através da conversão dos dados experimentais por meio de uma mudança de variáveis.

Tabacniks (2003) explica que funções do tipo $y = ae^{bx}$ são melhor linearizadas aplicando o logaritmo natural em ambos os termos:

$$\ln(y) = \ln(ae^{bx}) \quad (4.1)$$

$$\ln(y) = \ln(a) + bx \quad (4.2)$$

definindo $Y = \ln(y)$ e $A = \ln(a)$:

$$Y = A + bx \quad (4.3)$$

que é uma reta com coeficiente linear A e coeficiente angular b .

Aplicando o modelo matemático aos valores médios da deposição de cloretos e distância em relação ao mar, a equação linear que melhor descreve o comportamento da deposição de íons cloreto é a seguinte:

$$Y = -0,60x + 8,8907 \quad (4.4)$$

A Figura 4.6 a seguir demonstra o modelo linearizado e o Quadro 4.2 uma predição de valores.

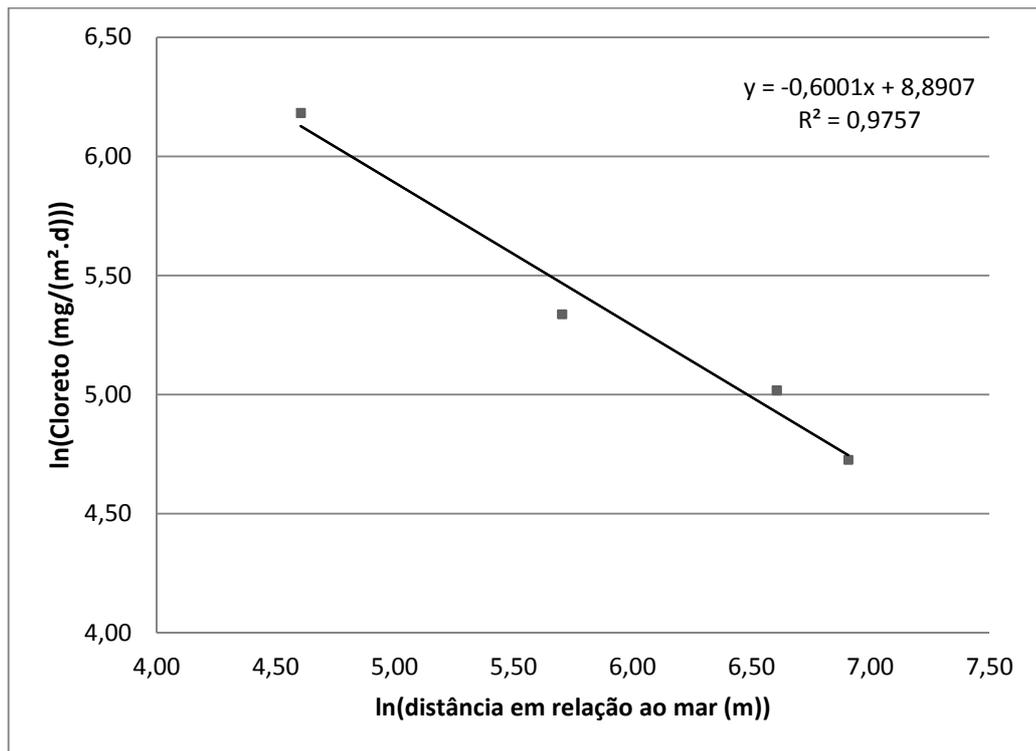


Figura 4.6 - Modelo linearizado

Quadro 4.2 - Predição do modelo

ln(distância em relação ao mar (m))	ln(Concentração de Cloreto (mg/(m².d)))
4,61	6,18
5,70	5,34
6,61	5,02
6,91	4,73

4.2.2 Comparação com outros resultados

Entre os meses de agosto de 2005 a janeiro de 2006, Pontes (2006) também utilizou o método da vela úmida para caracterizar a orla marítima do Bairro de Boa Viagem, localizado em Recife –PE.

Seus experimentos mostraram que, embora bastante agressivo, o ataque de cloretos decai bastante a partir dos 100m de distância do mar e atinge valores muito baixos em torno de 300m, como se mostra no quadro a seguir:

Quadro 4.3 - Resultados obtidos em Boa Viagem, Recife-PE (Pontes, 2006).

Estação de coleta	Concentração de cloretos (mg/m ² .dia)						Média
	ago/05	set/05	out/05	nov/05	dez/05	jan/06	
E1 (7m)	1050,39	678,04	484,41	332,60	394,94	386,03	554,40
E2 (100m)	406,14	370,10	355,91	469,41	403,15	353,50	393,04
E3 (160m)	151,00	127,59	111,30	155,94	146,35	178,23	145,07
E4 (230m)	46,74	36,09	31,66	52,22	41,47	36,41	40,76
E5 (320m)	53,13	42,89	39,18	49,66	41,73	37,75	44,06

Através dos dados coletados, Pontes (2006) pôde encontrar a equação exponencial que descreve o comportamento da concentração de íons cloreto em Boa Viagem frente à distância em relação ao mar:

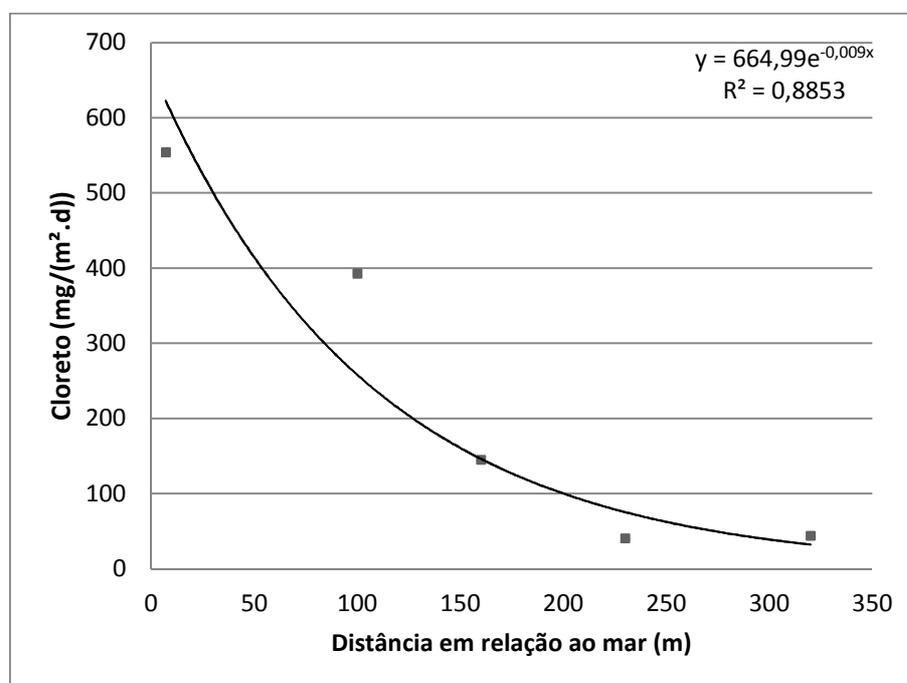


Figura 4.7 - Deposição de cloretos em Boa Viagem - Recife/PE (Pontes , 2006).

A média mensal da deposição de cloretos traz a equação $y = 664,99e^{-0,0095x}$ com coeficiente de determinação $R^2=0,8853$, onde y é a concentração de cloretos e x é a distância em relação ao mar.

Meira e Padaratz (2002), por sua vez, analisaram o comportamento dos íons cloreto com a distância em relação ao mar em João Pessoa – PB durante os meses de novembro de 2001 a março de 2002 e comprovaram que existia uma redução da concentração de cloretos nas primeiras faixas de solo, em especial nos primeiros 200 metros.

Quadro 4.4 - Resultados obtidos em João Pessoa-PB (Meira & Padaratz, 2002).

Distância (m)	Concentração de cloretos (mg/m ² .dia)					Média
	nov/01	dez/01	jan/02	fev/02	mar/02	
10	639,92	729,16	483,56	412,45	438,61	540,74
100	187,95	213,51	74,48	69,70	80,68	125,26
200	13,16	13,27	9,85	12,60	20,59	13,89
500	0,00	9,85	8,92	13,04	15,17	11,74
1100	0,00	0,00	0,00	5,88	6,02	5,95

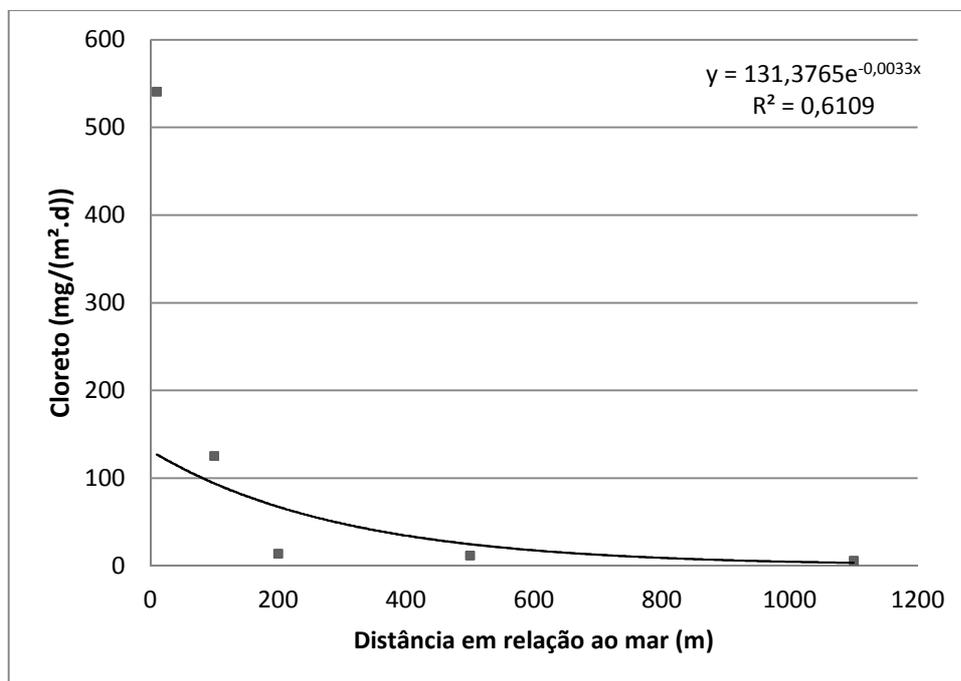


Figura 4.8 - Deposição de cloretos em João Pessoa - PB (Meira & Padaratz, 2002).

A média mensal da deposição de cloretos retorna a equação $y = 131,3765e^{-0,0033x}$ com coeficiente de determinação $R^2=0,6109$.

Em Salvador/BA, Costa (2001) mediu a taxa de deposição de cloretos através da vela úmida durante cinco meses (agosto de 2000 a janeiro de 2001) e encontrou valores baixos para a concentração dos íons cloreto:

Quadro 4.5- Resultados obtidos em Salvador-BA (Costa, 2001).

Concentração de cloretos (mg/m².dia)	
Distância (m)	Média
71,60	46,20
137,60	9,30
143,40	21,10
531,90	4,20
787,70	2,90
1165,40	2,60
2225,50	4,60
2645,00	1,80
4707,70	3,70

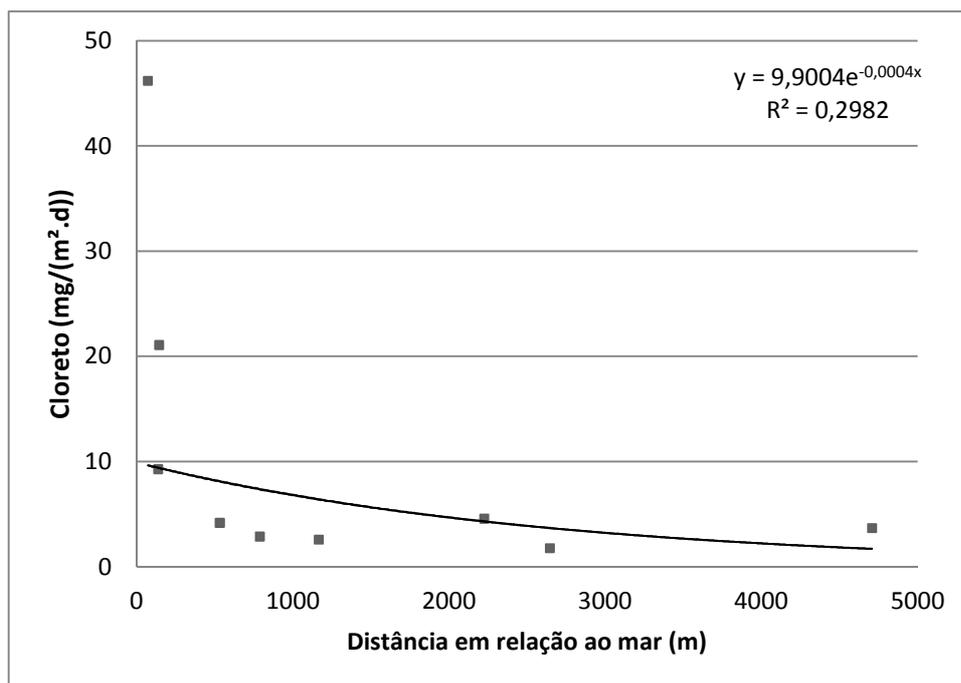


Figura 4.9 - Deposição de cloretos em Salvador - BA (Costa , 2001).

A média mensal da deposição de cloretos em Salvador retorna a equação $y = 9,0004e^{-0,0004x}$ com coeficiente de determinação $R^2=0,2982$.

Utilizando as equações exponenciais dessas quatro capitais nordestinas (Fortaleza, Recife, João Pessoa e Salvador), é possível fazer um comparativo da concentração de íons cloreto para qualquer distância em relação ao mar, como mostram o quadro e a tabela a seguir:

Quadro 4.6 - Deposição de cloretos - Comparativo

Concentração de cloretos (mg/m ² .dia)				
Distância em relação ao mar (m)	Capital			
	Fortaleza	Recife	João Pessoa	Salvador
	Equação			
	$y = 436,93e^{-0,00143x}$	$y = 664,99e^{-0,0095x}$	$y = 131,38e^{-0,0033x}$	$y = 9,00e^{-0,0004x}$
100	378,71	257,18	94,45	8,65
300	284,51	38,47	48,82	7,98
400	246,60	14,88	35,10	7,67
500	213,74	5,75	25,23	7,37
600	185,26	2,23	18,14	7,08
700	160,58	0,86	13,04	6,80
800	139,18	0,33	9,38	6,54
900	120,64	0,13	6,74	6,28
1000	104,56	0,05	4,85	6,03

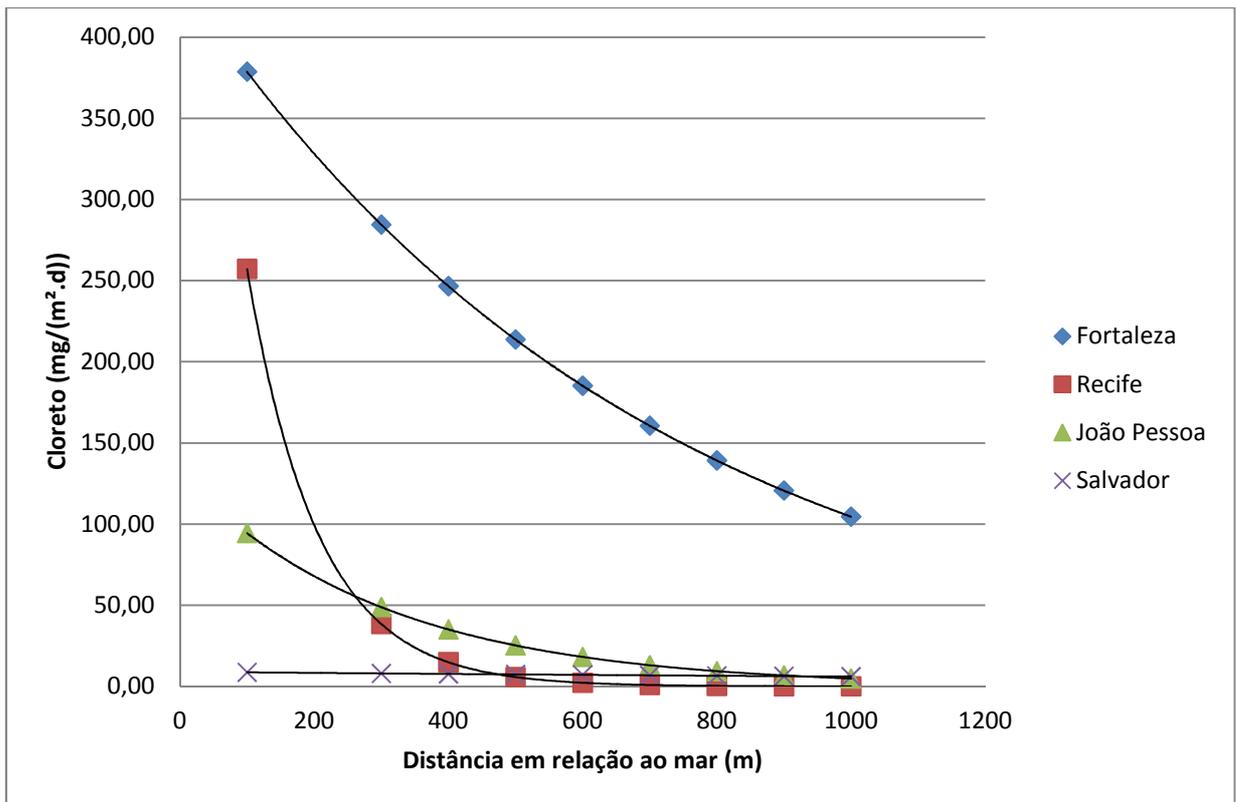


Figura 4.10 - Deposição de íons cloreto – Comparativo

O gráfico acima mostra claramente a diferença na deposição de íons cloreto nas quatro capitais analisadas, confirmando que, apesar de pertencerem a uma região em comum (Região Nordeste), as localidades possuem suas características próprias.

O que mais chama atenção é o fato de Fortaleza se manter superior a todas as outras capitais a 1000m do mar, uma vez que, enquanto estas apresentam concentração de cloretos próxima de zero, aquela ainda apresenta uma concentração em torno de 100mg/m².dia, destacando o quão é mais agressiva frente às outras, podendo ser até 2100 vezes maior que a concentração de Recife, por exemplo.

Quadro 4.7 - Comparativo de agressividade

Comparativo de agressividade							
Distância	Praia do Futuro (Fortaleza)	Recife		João Pessoa		Salvador	
		% mais agressiva	Conc. (mg/m ² .dia)	% mais agressiva	Conc. (mg/m ² .dia)	% mais agressiva	Conc. (mg/m ² .dia)
100	378,71	47%	257,18	301%	94,45	4279%	8,65
300	284,51	640%	38,47	483%	48,82	3464%	7,98
740	151,65	25670%	0,59	1227%	11,43	2165%	6,69
1000	104,56	209965%	0,05	2058%	4,85	1633%	6,03

Para Bissa (2008), a necessidade de se saber a quantidade de cloretos do ar atmosférico que pode iniciar um processo corrosivo nas armaduras é extremamente difícil, pois a quantidade limite vai depender do tipo de cimento, alcalinidade do concreto, teor de aluminato tricálcio, teor de gesso, resistência do concreto e relação água- cimento (a/c).

Neville (1997) defende que, para efeitos práticos, a prevenção da corrosão provocada pelos íons cloreto é feita pelo controle de qualquer concentração de cloretos que possa existir no ar atmosférico.

Meira et al (2010), em relação aos dados João Pessoa, tomou como referência um cobrimento nominal de 30mm e constatou que, para um vida útil projetada de 50 anos, o cobrimento deve aumentar em até 59% para concentrações de cloretos em torno de 120mg/m².dia.

Assim, só pelo motivo de a Praia do Futuro apresentar concentração de cloretos em seu ar atmosférico, já é possível considerar esta região como agressiva, merecendo cuidados especiais com cobrimento, resistência do concreto, dentre outros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Os resultados obtidos mostram que o Método da Vela Úmida é uma técnica muito valiosa na determinação de íons cloreto em uma região de atmosfera marinha, independente das características climatológicas do meio ambiente.

Durante os meses de análise observa-se claramente a diminuição gradual do teor de cloretos à medida que se vai avançado no continente, comportamento este comparável com estudos já realizados em outras cidades brasileiras, mesmo que ocorra uma variação das características ambientais de cada localidade.

Nos primeiros 100 metros, distância em que ainda não há presença de edificações, o teor de cloretos é bastante alto e vai apresentando um decréscimo mais acentuado até, aproximadamente 500m, a partir da qual a concentração de íons vai decaindo de forma mais suave.

O ensaio da vela úmida instalada na Universidade Federal do Ceará não apresentou, nos meses analisados, nenhuma concentração de cloretos.

Como esperado foi possível aproximar a relação da concentração de íons cloreto com a distância em relação ao mar para uma função exponencial $y = ae^{-bx}$, onde y é a deposição de íons cloreto, em $mg/m^2.dia$, x é a distância em relação ao mar, como descrito por Meira e Padaratz (2002).

Além disso, foi possível fazer uma análise da interferência das características climatológicas na deposição de cloretos, de onde se concluiu que fatores como precipitação e vento são os maiores intervenientes no processo de disseminação de íons cloretos em zona de atmosfera marinha.

Em relação a outras capitais nordestinas analisadas, tais como Recife, Salvador e João Pessoa, Fortaleza foi que a apresentou maior agressividade em relação ao teor de íons cloreto presentes no ar atmosférico.

Praia do Futuro, assim, mostra-se agressiva às estruturas de concreto armado construídas em sua orla, o que serve de alerta para os projetistas, os quais devem sempre atentar para uma estrutura segura e econômica.

É importante esclarecer que os dados obtidos nesta pesquisa se referem, exclusivamente, a um trecho específico da Praia do Futuro (Fortaleza/CE), pois, como foi observado, existem discrepâncias no comportamento de outras regiões brasileiras.

5.2 Sugestões

Através dos resultados obtidos nesta pesquisa e da importância deste tema, sugerem-se alguns melhoramentos e assuntos para pesquisas futuras:

- a) Estender esta pesquisa para uma maior quantidade de meses, afim de que seja possível um maior estudo da influência do clima em períodos chuvosos de Fortaleza, geralmente de março a maio, além de ser possível a análise de uma maior variabilidade da concentração de íons cloreto.
- b) Realizar pesquisa semelhante a esta em outras áreas de atmosfera marinha onde haja um grande volume de edificações ou então uma área de bastante atratividade para construtores, uma vez que poderia ser feito um mapeamento indicativo de maior agressividade, o que viria a contribuir na elaboração de projetos mais econômicos e duradouros.
- c) Estudar a influência da altura das edificações na deposição de íons cloreto, bem como a influência de obstáculos na disseminação de cloretos ao longo da costa (efeito barreira).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das estruturas**. IBRACON. São Paulo: ed.Geraldo C.Isaia, 2005.

ARAÚJO, R. A. M; SILVA FILHO, A. F. **Corrosão de armadura por íons cloreto, Salvador – BA**. Dissertação (Mestrado).Universidade Católica do Salvador, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. **NBR 12655**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. **NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. Corrosão atmosférica: determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida: método de ensaio. **NBR 6211**. Rio de Janeiro, 2001.

BICZOK, I. **Concrete corrosion and protection**. Ed. Akadémiai Kiadó, 543 p, 1964.

BISSA, R. C. R. **Sistemas de impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado de reservatórios de água tratada atacados por cloretos**. Monografia. Universidade de Minas Gerais, 2008.

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

CASCUDO,O. **Inspeção e diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão de armadura**. Goiás: Ibracon, 2005.

CIPRIANO, R. J.; BLANCHARD, D. C. **The vertical distribution of the concentration of sea salt in the marine atmosphere near Hawaii**. Tellus, 1984.

COSTA, Eduardo Antonio Lima. **Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2001.

DURACRETE. **Models for environmental actions on concrete structures**. The European Union – Brite EuRam III, March, 1999.

FELIU, S.; MORCILLO, M.; CHICO, B. **Effect of distance from sea on atmospheric corrosion rate**. Corrosion, v. 55, n.9, p. 883-891, 1999.

FIGUEIREDO, E. P. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto. concreto: Ensino, pesquisa e realizações**. IBRACON. São Paulo: ed.Geraldo C.Isaia, 2005.

FORTES, L. R. **Corrosão na armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial do eletrodo**. Fortaleza-CE. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, 1995.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986.

JOHNSON, G. R. **The formation and growth of marine aerosols and the development of new techniques for their in-situ analysis**. School of Physical and Chemical Sciences- Australia. 2005.

LEAL, C. R. L. V. ; PAMPLONA, A.D.G. **Durabilidade do concreto no litoral de Fortaleza**. Estudo UFC & RFFSA, 1982.

LENCIONI, J. W.; LIMA, M. G. **A problemática da corrosão e da durabilidade das construções em ambientes agressivos – o caso do ambiente marinho urbano e das estruturas de concreto**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP CAMPUS GUARUJÁ. São Paulo, 2008.

LIMA, F. V. C. **Patologias no concreto armado em edificações à beira-mar: um estudo de caso. Fortaleza-CE**. Especialização em avaliações e perícias em engenharia. Universidade Federal do Ceará, 2001.

LIMA NETO, I. E. **Engenharia Costeira e Portuária**. Universidade Federal do Ceará, 2011.(Apostila).

MEDEIROS, M. H. F.; GOBBI, A. RÉUS, G. C.; HELENE, P. **Influência da altura e posição da edificação na penetração de cloretos: Estudo de caso em obra no Rio de Janeiro – Brasil**. In: VI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGÍAS E RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS, 2010, Córdoba – Argentina.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEIRA, G. R., PADARATZ, J. D. **Efeito do distanciamento em relação ao mar na agressividade por cloretos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, Belo Horizonte. Anais em CD. IBRACON, São Paulo, 2002.

MEIRA, G. R., ANDRADE, C., ALONSO, C., BORBA JÚNIOR, J. C., PADILHA JÚNIOR, M. **Durability of concrete structures in marine atmosphere zones – The use of chloride deposition rate on the wet candle as an environmental indicator**. Cement & Concrete Composites. Elsevier. 2010.

MORELLI, F.; LIMA, M. G. **Caracterização do ambiente marinho às estruturas de concreto**. Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica – ITA, São Paulo, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. 2.ed. São Paulo, Pini, 1997.

O'DOWD, C. D.; LEEUW, G. **Marine aerosol production: a review of the current knowledge**. Phil. Trans. R. Soc. A, 2007.

PIRES, V. D. **Levantamento das incidências patológicas nas edificações de Cabo Verde-Ilha de Santiago- Cidade da Praia**. Niterói, 2007.

PONTES, R. B. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE**. Dissertação (mestrado). Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2006.

RIBEIRO, F. H. M.; AZEVEDO, C. S.; CARASEK, H. **A durabilidade do Concreto Armado em Ambiente Marinho**. World TecNet n. 00047, 1999.

SOUZA, A. A. A.; OLIVEIRA, V. C. **Corrosão e degradação do concreto – Caracterização dos diferentes ambientes em contato com as estruturas de concreto**. In: VII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIAS E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS, 2011, Fortaleza – Brasil.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

STUDART, T. M. C. **Hidrologia Básica**. Universidade Federal do Ceará, 2006. (Apostila).

TABACNIKS, M. H. **Conceitos básicos da Teoria dos Erros**. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2003. (Apostila).

TAYLOR, N. J.; WU, J. **Simultaneous Measurements of Spray and Sea Salt**. J. Geophys. Res., Vol. 97, No. C5, pp. 7355–7360, 1992.

TUUTTI, K. **Service life of structures with regard to corrosion of embeded steel**. PERFORMANCE OF CONCRETE IN MARINE ENVIROMENT, ACI SP-65, 1980.

VARELA, R. H. D. **Corrosão das armaduras em betão armado: influência dos agentes cloretos e da carbonatação nas edificações de Cabo Verde**. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, 2010.

ZACCARDI, Y. A. V.; DI MAIO, A.A.; TRAVERSA, L.P. **Deficiencias Constructivas como Causa de Corrosión en Estructura de Hormigón Armado Ubicada en Ambiente Marino**. In: VI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGÍAS E RECUPERACIÓN DE ESTRUTURAS, 2010, Córdoba – Argentina.

ZEZZA, F.; MACRI, F. **Marine aerosol and stone decay**. The Science of the Total Enviroment, v. 167, p. 123-143, 1995.

ANEXOS

ANEXO A - SOLUÇÕES PARA MONTAGEM E ANÁLISE DA VELA ÚMIDA

ANEXO B - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS

ANEXO C - ACOMPANHAMENTO SEMANAL DOS PARÂMETROS ATMOSFÉRICOS
– INMET 2011

ANEXO D - RESULTADOS DA TITULAÇÃO NOS MESES ANALISADOS

ANEXO A - SOLUÇÕES PARA MONTAGEM E ANÁLISE DA VELA ÚMIDA

- a) **Solução 0,05M (0,05 N) de ácido nítrico:** 3mL de ácido nítrico diluído com água a 1000 mL;
- b) **Água glicerinada:** 200mL de glicerol diluído com água a 1000 mL com adição de 20 gotas de ácido octanóico como fungicida;
- c) **Solução-padrão 0,0125 M (0,025 N) de nitrato de mercúrio:** 4,2830g de nitrato de mercúrio hidratado dissolvidos em 50 mL de água acidificada com 0,5 mL de ácido nítrico. A solução deve ainda ser diluída com água a 1000 mL em balão volumétrico. Caso necessário, a solução final será filtrada e padronizada em relação à solução-padrão de cloreto de sódio.
- d) **Solução-padrão 0,00705 M (0,0141 N) de nitrato de mercúrio:** 2,4200g de nitrato de mercúrio hidratado dissolvidos em 25 mL de água acidificada com 0,25 mL de ácido nítrico. Diluir a solução com a água a 1000 mL em balão volumétrico e filtrar, se necessário, padronizando-a em relação Pa solução de cloreto de sódio.
- e) **Solução-padrão 0,025 M (0,025 N) de cloreto de sódio:** 1,4612g de cloreto de sódio seco durante 1h a 600°C dissolvidos com água a 1000 mL em balão volumétrico.
- f) **Solução de indicador misto:** 0,5g de difenilcarbazona e 0,05g de azul-de-bromofenol dissolvidos em 100 mL de etanol a 95%. Esta solução deve ser armazenada em frasco escuro e descartada após seis meses.
- g) **Solução 0,25M (0,25 N) de hidróxido de sódio:** 10 g de hidróxido de sódio dissolvidos com água a 1000 mL.

Todas as soluções citadas acima foram produzidas por um laboratório de química especializado, uma vez que o controle de pesagem e medição de volumes é bastante preciso e confiável.

ANEXO B - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS

A seguir seguem todas as etapas para determinação do teor de cloretos, conforme as recomendações da NBR 6211 (ABNT, 2001);

- a) Tomar uma alíquota que não contenha mais que 20 mg de íon cloreto. Anotar o volume da alíquota (V_a). Diluir a alíquota com água a 50 mL, se necessário;
- b) Adicionar de 5 a 10 gotas de indicador misto e agitar o recipiente. Caso, após a adição do indicador, apareça a coloração azul-violeta ou vermelha, adicionar HNO_3 0,05 M, gota a gota, até mudar a coloração para amarela, e adicionar 1 mL de ácido em excesso. Caso, após a adição do indicador, apareça a coloração amarela ou laranja, adicionar, gota a gota, solução de NaOH 0,25 M, até mudança para a cor azul-violeta. Adicionar então HNO_3 0,05 M, gota a gota, até que seja obtida coloração amarela, e adicionar 1 mL de ácido em excesso;
- c) Titular com solução de nitrato mercúrico 0,0125 M até coloração azul-violeta permanente. Anotar o volume de solução gasto, em mililitros (A);
- d) Efetuar o ensaio em branco, utilizando a mesma solução-padrão de nitrato de mercúrio utilizado para titular a amostra. Anotar o volume de solução gasto, em mililitros (B).

Em nota, a NBR 6211 (ABNT, 2001) ressalta que, se o volume da amostra contiver menos que 2,5 mg de íon cloreto, a titulação final tanto da amostra como do branco deverá ser feita utilizando a solução-padrão 0,00705 M de nitrato de mercúrio, usando microbureta.

A título de ilustração, as figuras a seguir representam os passos realizados para a determinação do teor de cloretos da segunda amostragem de velas úmidas (26/08/2011 a 26/09/2011).



Figura B.1 - Velas coletas (da esquerda para direita: E1, E2, E3, E4, UFC e BRANCO)



Figura B.2 - Águas de lavagem (alíquotas)

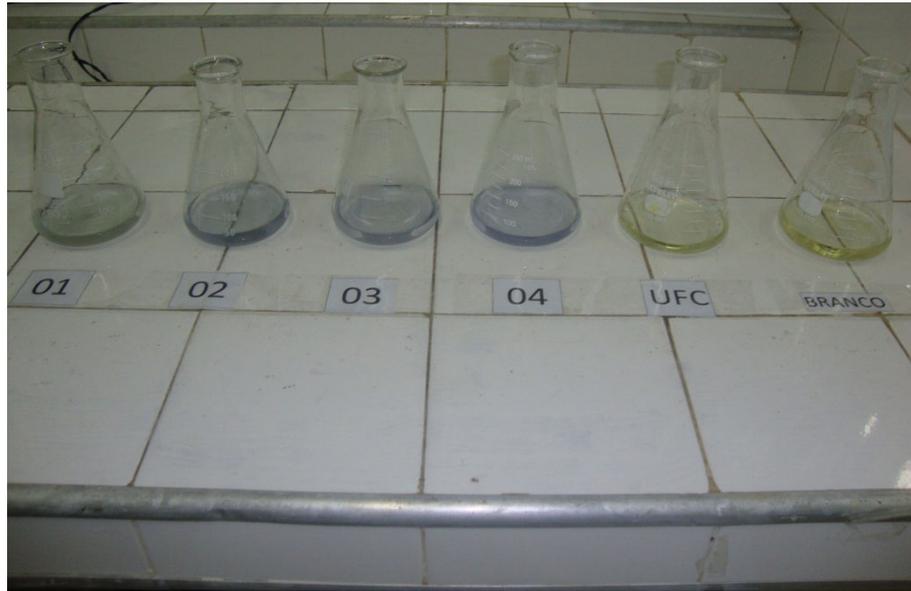


Figura B.3 - Aliquotas adicionadas de indicador misto (coloração azul-violeta ou amarela)



Figura B.4 – Aliquotas após adição de hidróxido de sódio nas duas últimas amostras (coloração azul-violeta)



Figura B.5 –Acidificação com ácido nítrico (coloração amarela)

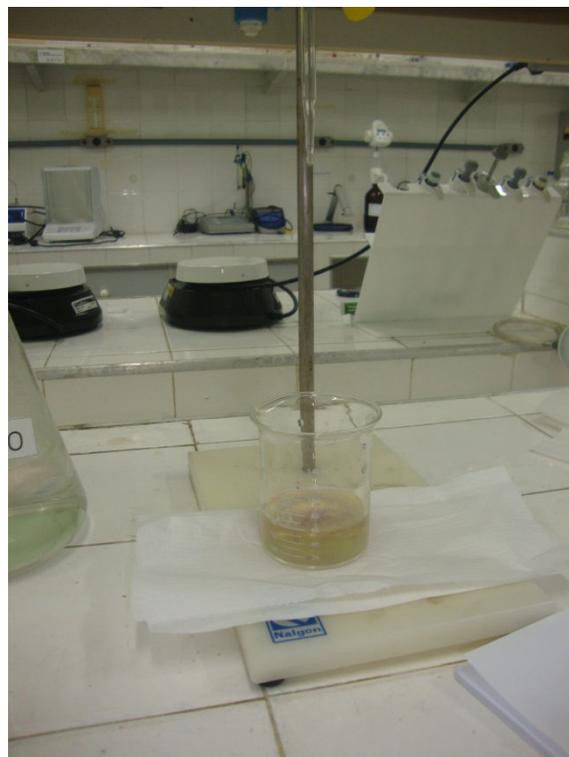


Figura B.6 - Início da titulação com nitrato de mercúrio



Figura B.7 - Ponto final da titulação com nitrato de mercúrio (coloração azul-violeta)

**ANEXO C - ACOMPANHAMENTO SEMANAL DOS PARÂMETROS
ATMOSFÉRICOS – INMET 2011**

Quadro C.1 – Vento (INMET, 2011).

Vento - direção predominante e velocidade						
Período: 26 de julho de 2011 a 26 de agosto de 2011						
Semana:	26/jul a 01/ago	02/ago a 08/ago	09/ago a 15/ago	16/ago a 22/ago	23/ago a 26/ago	Média mensal:
Direção:	140 °	129 °	128 °	125 °	131 °	131 °
Velocidade:	2,53 m/s	2,53 m/s	2,71 m/s	3,30 m/s	3,25 m/s	2,80 m/s
Período: 26 de agosto de 2011 a 28 de setembro de 2011						
Semana:	26/ago a 01/set	02/set a 08/set	09/set a 15/set	16/set a 22/set	23/set a 28/set	Média mensal:
Direção:	127 °	125 °	128 °	123 °	122 °	125 °
Velocidade:	2,96 m/s	3,14 m/s	3,01 m/s	3,64 m/s	3,39 m/s	3,20 m/s
Período: 28 de setembro de 2011 a 28 de outubro de 2011						
Semana:	28/set a 04/out	05/out a 11/out	12/out a 18/out	19/out a 25/out	26/out a 28/out	Média mensal:
Direção:	113 °	115 °	98 °	111 °	109 °	109 °
Velocidade:	3,50 m/s	3,50 m/s	3,10 m/s	2,60 m/s	3,30 m/s	3,30 m/s

Quadro C.2 – Precipitação (INMET, 2011).

Precipitação (mm)						
Período: 26 de julho de 2011 a 26 de agosto de 2011						
Semana:	26/jul a 01/ago	02/ago a 08/ago	09/ago a 15/ago	16/ago a 22/ago	23/ago a 26/ago	Total mensal:
Precipitação total	8,20 mm	0,00 mm	1,20 mm	0,00 mm	11,60 mm	21,00 mm
Período: 26 de agosto de 2011 a 28 de setembro de 2011						
Semana:	26/ago a 01/set	02/set a 08/set	09/set a 15/set	16/set a 22/set	23/set a 28/set	Total mensal:
Precipitação total	10,00 mm	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm	10,00 mm
Período: 28 de setembro de 2011 a 28 de outubro de 2011						
Semana:	28/set a 04/out	05/out a 11/out	12/out a 18/out	19/out a 25/out	26/out a 28/out	Total mensal:
Precipitação total	0,00 mm	0,20 mm	1,60 mm	16,80 mm	4,40 mm	23,00 mm

Quadro C.3 – Umidade Relativa (INMET, 2011).

Umidade relativa (%)						
Período: 26 de julho de 2011 a 26 de agosto de 2011						
Semana:	26/jul a 01/ago	02/ago a 08/ago	09/ago a 15/ago	16/ago a 22/ago	23/ago a 26/ago	Média mensal:
Máxima	74,01 %	73,88 %	72,57 %	69,44 %	72,07 %	72,60 %
Mínima	69,33 %	69,04 %	68,00 %	64,73 %	67,16 %	67,90 %
Média	71,67 %	71,44 %	70,29 %	67,09 %	69,62 %	70,20 %
Período: 26 de agosto de 2011 a 28 de setembro de 2011						
Semana:	26/ago a 01/set	02/set a 08/set	09/set a 15/set	16/set a 22/set	23/set a 28/set	Média mensal:
Máxima	72,15 %	67,37 %	68,29 %	65,99 %	69,49 %	68,70 %
Mínima	67,35 %	62,64 %	63,38 %	61,38 %	65,05 %	64,00 %
Média	69,75 %	65,00 %	65,83 %	63,68 %	67,27 %	66,30 %
Período: 28 de setembro de 2011 a 28 de outubro de 2011						
Semana:	28/set a 04/out	05/out a 11/out	12/out a 18/out	19/out a 25/out	26/out a 28/out	Média mensal:
Máxima	69,40 %	68,10 %	72,30 %	73,00 %	70,80 %	70,70 %
Mínima	65,40 %	63,70 %	68,20 %	68,60 %	66,10 %	66,40 %
Média	67,40 %	65,90 %	70,20 %	70,80 %	68,50 %	68,60 %

Quadro C.4 – Temperatura (INMET, 2011).

Temperatura (°C)						
Período: 26 de julho de 2011 a 26 de agosto de 2011						
Semana:	26/jul a 01/ago	02/ago a 08/ago	09/ago a 15/ago	16/ago a 22/ago	23/ago a 26/ago	Média mensal:
Máxima	26,87 °C	27,13 °C	27,50 °C	27,24 °C	27,09 °C	27,10 °C
Mínima	26,38 °C	26,11 °C	26,51 °C	26,26 °C	26,11 °C	26,20 °C
Média	26,40 °C	26,62 °C	27,01 °C	26,75 °C	26,60 °C	26,70 °C
Período: 26 de agosto de 2011 a 28 de setembro de 2011						
Semana:	26/ago a 01/set	02/set a 08/set	09/set a 15/set	16/set a 22/set	23/set a 28/set	Média mensal:
Máxima	26,93 °C	27,50 °C	27,42 °C	27,52 °C	27,89 °C	27,40 °C
Mínima	25,97 °C	26,50 °C	26,39 °C	26,55 °C	26,97 °C	26,40 °C
Média	26,45 °C	27,00 °C	26,91 °C	27,03 °C	27,43 °C	26,90 °C

Período: 28 de setembro de 2011 a 28 de outubro de 2011						
Semana:	28/set a 04/out	05/out a 11/out	12/out a 18/out	19/out a 25/out	26/out a 28/out	Média mensal:
Máxima	27,70 °C	27,90 °C	27,90 °C	27,60 °C	28,20 °C	27,80 °C
Mínima	26,80 °C	27,00 °C	27,10 °C	26,70 °C	27,30 °C	27,00 °C
Média	27,20 °C	27,50 °C	27,50 °C	27,10 °C	27,70 °C	27,40 °C

Quadro C.5 – Insolação (INMET, 2011).

Insolação (horas)						
Período : 26 de julho de 2011 a 26 de agosto de 2011						
Semana:	26/jul a 01/ago	02/ago a 08/ago	09/ago a 15/ago	16/ago a 22/ago	23/ago a 26/ago	Total mensal:
Insolação	55 horas	65 horas	63 horas	65 horas	35 horas	284 horas
Período : 26 de agosto de 2011 a 28 de setembro de 2011						
Semana:	26/ago a 01/set	02/set a 08/set	09/set a 15/set	16/set a 22/set	23/set a 28/set	Total mensal:
Insolação	61 horas	68 horas	66 horas	72 horas	59 horas	325 horas
Período : 28 de setembro de 2011 a 28 de outubro de 2011						
Semana:	28/set a 04/out	05/out a 11/out	12/out a 18/out	19/out a 25/out	26/out a 28/out	Total mensal:
Insolação	71 horas	70 horas	46 horas	56 horas	32 horas	275 horas

ANEXO D - RESULTADOS DA TITULAÇÃO NOS MESES ANALISADOS

Quadro D.1 – Determinação do teor de cloretos (26/jul a 26/ago).

26/JUL A 26/AGO									
Estação	Distância	Vt (mL)	S (m ²)	TITULAÇÃO Hg(NO ₃) ₂ .H ₂ O				t (dias)	Cloreto (mg/(m ² .d))
				Va (mL)	M	A (mL)	B (mL)		
BRANCO		600	0,121830	50	0,0125	0	0,4	31	-
E1	1000	500	0,012369			7			152,76
E2	740	500	0,012276			7,7			170,24
E3	300	500	0,013625			10,5			212,23
E4	100	920	0,016647			16,1			496,81
UFC	UFC	640	0,013299			0,4			0,00

Quadro D.2 – Determinação do teor de cloretos (26/ago a 28/set).

26/AGO A 28/SET									
Estação	Distância	Vt (mL)	S (m ²)	TITULAÇÃO Hg(NO ₃) ₂ .H ₂ O				t (dias)	Cloreto (mg/(m ² .d))
				Va (mL)	M	A (mL)	B (mL)		
BRANCO		710	0,12183	50	0,0125	0	0,5	33	-
E1	1000	650	0,011997			6,3			169,03
E2	740	680	0,01782			9,6			186,78
E3	300	925	0,027208			12,6			210,29
E4	100	925	0,015903			16,2			491,19
UFC	UFC	710	0,01116			0,50			0,00

Quadro D.3 – Determinação do teor de cloretos (28/set a 28/out).

28/SET A 28/OUT									
Estação	Distância	Vt (mL)	S (m ²)	TITULAÇÃO Hg(NO ₃) ₂ .H ₂ O				t (dias)	Cloreto (mg/(m ² .d))
				Va (mL)	M	A (mL)	B (mL)		
BRANCO		800	0,121830	50	0,0125	0	0,6	31	-
E1	1000	900	0,01516			1,1			17,00
E2	740	850	0,0227			5,1			96,46
E3	300	900	0,02918			11,4			190,75
E4	100	900	0,01562			14,7			465,06
UFC	UFC	850	0,013950			0,6			0,00