



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA: ESTRUTURAS E**  
**CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ANA MARA DA ROCHA CAMPOS**

**ESTUDO DA AGRESSIVIDADE DO AR ATMOSFÉRICO DE FORTALEZA/CE.**

**FORTALEZA**

**2016**

ANA MARA DA ROCHA CAMPOS

ESTUDO DA AGRESSIVIDADE DO AR ATMOSFÉRICO DE FORTALEZA/CE.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof.º Antônio Eduardo Bezerra Cabral.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C21e Campos, Ana Mara da Rocha.  
Estudo da agressividade do ar atmosférico de Fortaleza/CE. / Ana Mara da Rocha Campos. – 2016.  
138 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.

1. Íons Cloro. 2. Agressividade. 3. Durabilidade. I. Título.

CDD 624.1

---

ANA MARA DA ROCHA CAMPOS

ESTUDO DA AGRESSIVIDADE DO AR ATMOSFÉRICO DE FORTALEZA/CE.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Construção Civil.

Aprovada em 28 / 11 / 2016.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof.º Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.º Dr. Gibson Rocha Meira (Membro Externo)  
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

---

Prof.º Dr. Alexandre Araújo Bertini (Membro Interno)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

“Porque Dele e por Ele, e para Ele, são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente. Amém.”

Rm 8:36

## AGRADECIMENTOS

À Deus, cuja misericórdia jamais será medida. E pela graça da vida.

À minha amada família, Paulo, Beth e Paula, por todo amor, carinho, companheirismo, amizade e apoio incondicional ao longo da minha vida.

Aos meus queridos avós que fazem das minhas conquistas as suas: Genilda e Manoel (*in memoriam*), cuja perda, este ano, trouxe uma dor indescritível.

Ao professor Dr. Eduardo Cabral, pela brilhante orientação alicerçada na transmissão de seus conhecimentos e em seu exemplo profissional e pessoal, sua paciência e tranquilidade e pela oportunidade na participação neste projeto.

Ao professor Dr. Gibson Meira por aceitar participar da banca examinadora e por todas as contribuições para a realização deste trabalho.

A Coopercon/Ce, Sinduscon/Ce e a Companhia de cimentos Apodi, que tornaram possível a realização deste projeto como financiadores.

A CAPES pela concessão de bolsa para custeio do mestrado.

Aos professores do mestrado, Alexandre Bertini, Barros Neto, Vanessa, Heineck e Macário, que compartilharam pacientemente o seu vasto conhecimento.

Ao bolsista Matheus Paiva, por todo seu compromisso, presteza, dedicação e responsabilidade durante todo o desenvolvimento do projeto.

Ao professor Caio Sander, pelo suporte e transmissão de conhecimentos.

A equipe do LMCC pelo suporte e disponibilidade do espaço para trabalho e aos bolsistas Caio e Wyo, por suas contribuições.

Aos colegas de pós-graduação Miguel, Afrânia, Sávio, Délcia, Ada e Heloína, pela amizade que vou levar pra vida inteira.

Ao Alexander por todo apoio e auxílio que foram essenciais no início do desenvolvimento prático do projeto.

Ao INMET, por disponibilizar os dados meteorológicos da cidade.

Aos queridos Adriana, Alessandra, Tito, Samira, Stefanie e Ester, pelo companheirismo nos momentos das alegrias e tristezas. Ao Bruno Braga, Alessandra, Janderson, Débora e IBHJ pelo acolhimento em Fortaleza.

Às empresas e proprietários dos imóveis que permitiram a instalação das estações de monitoramento, como descrito nominalmente no apêndice A.

A todos, mesmo sem serem mencionados, que de certa forma ajudaram e estiveram presentes ao longo dessa jornada, o meu, Muito Obrigada!

"Procure ser uma pessoa de valor, em vez de procurar ser uma pessoa de sucesso. O sucesso é consequência".

Albert Einstein

## RESUMO

As estruturas de concreto armado se degradam mais precocemente quando localizadas em ambientes de atmosfera marinha devido à influência de íons cloro presentes na névoa salina, os quais, em conjunto com as condições climáticas propiciam ação deletéria nestas estruturas, podendo desencadear o processo de corrosão de suas armaduras. Segundo Portella (2013), os limites de separação entre os ambientes marinho e urbano ainda não foram estabelecidos na cidade de Fortaleza/CE, logo, há a necessidade de se conhecer os níveis de concentração de íons de cloro presentes na atmosfera da cidade. Tal conhecimento permitirá o desenvolvimento de projetos de estruturas em concreto armado que trate de forma preventiva o surgimento de corrosão da armadura pela ação de íons cloro, primando pela durabilidade das construções. Assim, o objetivo deste trabalho é a quantificação e a avaliação do teor de íons cloro no ar atmosférico da cidade de Fortaleza-CE, em relação à distância do mar, além da análise da penetração de cloretos em corpos de concreto. Para a quantificação do teor de íons cloro no ar atmosférico foi utilizado o método da vela úmida, descrito pela NBR 6211 (ABNT, 2011) e para determinação do teor de cloreto no interior dos concretos foi utilizado o procedimento descrito na ABNT NBR 14832 (ABNT, 2002). Para a coleta de dados foi pré-definida uma malha sobre o mapa da cidade onde foram estabelecidos 46 pontos para coleta de dados, nas distâncias de 50m, 250m, 500m, 1000m, 2000m, 4000m, 6000m e 8000m em relação ao mar, onde foram instaladas as velas-úmidas que ficaram expostas por um período de doze meses. Dentro desta malha foram escolhidos 12 pontos para a colocação dos corpos de prova de concreto, que ficaram expostos por um período de seis meses. Verificou-se que o teor de íons cloro no ar decai em função da distância do mar. Percebeu-se que o comportamento da agressividade se dá de forma diferente dentro da cidade, pois a Praia do Futuro apresentou resultados muito superiores aos da Praia de Iracema e superior também a de outras cidades no Brasil e no mundo. A partir da análise comparativa os resultados com a NBR 14643 (ABNT, 2001) e a NBR 6118 ((ABNT, 2014) propôs-se uma classificação para a agressividade ambiental da cidade colocando-se a maior parte da região litorânea da cidade com o nível de agressividade Forte (Classe III) e a região da Praia do Futuro com o nível de agressividade Muito Forte (Classe IV).

**Palavras-chave:** Íons Cloro, Agressividade, Durabilidade.

## ABSTRACT

Reinforced concrete structures degrade more rapidly when located in environments of marine atmosphere due to the influence of chlorine ions present in the saline mist, which, together with the climatic conditions propitiate deleterious action in these structures, and can trigger the corrosion process of their Armor According to Portella (2013), the limits of separation between the marine and urban environments have not yet been established in the city of Fortaleza / CE, so there is a need to know the concentration levels of chlorine ions present in the atmosphere of the city. Such knowledge will allow the development of projects of structures in reinforced concrete that deal in a preventive way the appearance of corrosion of the reinforcement by the action of chlorine ions, emphasizing for the durability of the constructions. Thus, the objective of this work is the quantification and evaluation of chlorine ions content in the atmospheric air of the city of Fortaleza-CE, in relation to the distance of the sea, besides the analysis of the penetration of chlorides in concrete bodies. For the quantification of chlorine ions content in atmospheric air, the wet candle method, described by NBR 6211 (ABNT, 2011), was used to determine the content of chloride in the concrete. The procedure described in ABNT NBR 14832 was used (ABNT, 2002). In order to collect data, a grid was established on the city map where 46 data points were established for distances of 50m, 250m, 500m, 1000m, 2000m, 4000m, 6000m and 8000m in relation to the sea, where The moist sails were installed and exposed for a period of twelve months. Within this mesh, 12 points were chosen for the placement of concrete specimens, which were exposed for a period of six months. It has been found that the content of chlorine ions in air decreases as a function of sea distance. It was noticed that the behavior of the aggressiveness occurs in a different way within the city, because Praia do Futuro presented results much superior to those of Praia de Iracema and superior also of other cities in Brazil and in the world. From the comparative analysis, the results with NBR 14643 (ABNT, 2001) and NBR 6118 (ABNT, 2014) proposed a classification for the environmental aggressiveness of the city, placing most of the coastal region of the city with the Strong Aggressiveness (Class III) and the Praia do Futuro region with Very Strong Aggressiveness (Class IV).

**Keywords:** Chlorine ions, Aggressiveness, Durability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Manifestações patológicas nas estruturas de concreto.....	19
Figura 2 - Eflorescência no concreto.....	29
Figura 3 - Fissuras devido a RAA.....	30
Figura 4 - Parâmetros de avaliação de durabilidade e desempenho de uma estrutura.....	39
Figura 5 - Modelo de Vida Útil.....	41
Figura 6 - Porcentagem dos componentes principais dissolvidos na água do mar.....	43
Figura 7 - Aerossol marinho.....	45
Figura 8 - Esquema da relação entre concentração e velocidade do vento.....	46
Figura 9 - Concentração salina em relação à distância ao mar.....	48
Figura 10 - Zonas de agressividade ao concreto de acordo com a localização.....	49
Figura 11 - Fluxograma de organização da pesquisa.....	55
Figura 12 - Pontos de coleta de dados na cidade de Fortaleza/Ce.....	56
Figura 13 - Mapeamento com localização final dos pontos.....	58
Figura 14 - Vela Úmida.....	60
Figura 15 - Preparação dos materiais utilizados na fabricação da vela.....	60
Figura 16 - Vela Úmida fabricada no LMCC.....	61
Figura 17 - Suporte metálico para colocação da vela.....	62
Figura 18 - a) Perfuração para colocação do suporte (P26), b) suporte colocado na parede (P05).....	63
Figura 19 - a) Vela fixada com arame (P25), b) Vela em recipiente plástico (P33).....	63
Figura 20 - Velas fabricadas para substituição mensal.....	64
Figura 21 - Procedimento.....	65
Figura 22 - Pontos de exposição dos corpos de prova.....	67
Figura 23- Cp's que foram fabricados.....	68
Figura 24 - Fabricação dos cp's.....	69
Figura 25 - Impermeabilização dos cp's a) b).....	69
Figura 26 - Suporte para os cp's.....	70
Figura 27 - Furadeira de Coluna - IFCE.....	70
Figura 28 - Processo para retirada do pó.....	71
Figura 29 - Procedimento C - NBR 14832 (ABNT, 2002).....	71
Figura 30 - Leitura do potencial desenvolvido.....	73
Figura 31 - Verificação da direção do vento com biruta - a) No ponto P29. b) No Ponto P41.....	74
Figura 32 - Verificação da velocidade do vento com anemômetro -.....	74
Figura 33 - Direção predominante dos ventos na cidade de Fortaleza/Ce.....	77
Figura 34 - Países com estudos similares.....	89
Figura 35 - Modelo de circulação Global.....	96
Figura 36 - Correntes superficiais oceânicas.....	96
Figura 37 - Salinidade superficial do oceano.....	97
Figura 38 - Mapa esquemático das zonas de agressividade (valores médios).....	104
Figura 39 - Mapa esquemático das zonas de agressividade (Valores máximos).....	105

Figura 40 - Comparação entre a classe de agressividade ambiental (CAA). a) Período de nov/2015 à mai/2016. b) Período de jun/2016 à out/2016.....	105
Figura 41 - Proposta final para classificação das zonas de agressividade em Fortaleza/CE..	108
Figura 42 - Representação esquemática das zonas .....	110
Figura 43 - Desenho esquemático das divisões das classes – Praia do Futuro.....	117
Figura 44 - Desenho esquemático das divisões das classes – Praia de Iracema.....	118
Figura 45 - Situação hipotética na Praia do Futuro .....	118
Figura 46 - Proposta de classificação das zonas de agressividade segundo a 2 <sup>a</sup> lei de Fick. .	119

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Gastos com manutenção em países desenvolvidos .....	18
Tabela 2 - Limites máximos para a expansão devida à reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos presentes nos agregados.....	24
Tabela 3 - Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos .....	30
Tabela 4 - Medidas de mitigação.....	31
Tabela 5 - Teor máximo de íons cloro para proteção das armaduras do concreto .....	36
Tabela 6 - Principais íons presentes na água do Oceano Atlântico .....	44
Tabela 7 - Composição da água do mar .....	44
Tabela 8 - Estudos que abordam a influência da distância com a concentração .....	47
Tabela 9 - Correspondência entre a localização da estrutura e o tipo de deterioração.....	50
Tabela 10 - Risco de deterioração da estrutura.....	52
Tabela 11 - Teor máximo de íons cloro para proteção das armaduras de concreto .....	52
Tabela 12 - Traço utilizado.....	68
Tabela 13 - Características dos agregados e cimentos .....	68
Tabela 14 - Direção predominante e velocidade dos ventos .....	76
Tabela 15 - Média, Desvio-Padrão e Coeficiente de Variação.....	81
Tabela 16 - Comparativo com resultados anteriores .....	85
Tabela 17 - Resumo dos estudos no Brasil.....	87
Tabela 18 - Comparativo da média com outras cidades.....	87
Tabela 19 - Comparativo de agressividade .....	88
Tabela 20 - Resumo dos estudos internacionais.....	91
Tabela 21 - Comparativo de agressividade (concentração média) .....	92
Tabela 22 - Comparativo de agressividade (concentração máxima).....	93
Tabela 23 - Teor de cloretos .....	93
Tabela 24 - Classificação dos ambientes de acordo com o valor médio .....	101
Tabela 25 - Classificação dos ambientes de acordo com o valor máximo .....	102
Tabela 26 - Níveis codificados .....	112
Tabela 27 - Profundidade que o teor de 0,40% de cloreto é atingido aos 50 anos.....	115

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição dos cimentos portland.....	23
Quadro 2 - Fatores que influenciam na carbonatação .....	33
Quadro 3 - Valores de velocidade crítica .....	47
Quadro 4 - Classe de Agressividade Ambiental .....	51
Quadro 5 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....	52
Quadro 6 - Correspondência entre classe de agressividade e o cobrimento nominal.....	53
Quadro 7 - Classe De Agressividade Ambiental .....	98
Quadro 8 - Classificação de contaminação por Cl <sup>-</sup> .....	99
Quadro 9 - Classificação das classes de agressividade em função da concentração de cloretos .....	100
Quadro 10 - Divisão das classes de agressividade ambiental por distância .....	117

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1.1</b>	<b>Formulação do tema de pesquisa</b> .....	16
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	17
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	20
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	20
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	20
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	20
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	22
<b>2.1</b>	<b>Concreto como material estrutural</b> .....	22
<b>2.1.1</b>	<b>Materiais que constituem o concreto</b> .....	22
<b>2.1.1.1</b>	<b>Cimento Portland</b> .....	22
<b>2.1.1.2</b>	<b>Agregados para o concreto</b> .....	24
<b>2.1.1.3</b>	<b>Adições minerais</b> .....	25
<b>2.1.1.4</b>	<b>Água</b> .....	26
<b>2.1.1.5</b>	<b>Aditivos</b> .....	26
<b>2.1.2</b>	<b>Tipos de concreto</b> .....	27
<b>2.1.3</b>	<b>Causas de degradação do concreto armado</b> .....	28
<b>2.1.3.1</b>	<b>Lixiviação</b> .....	28
<b>2.1.3.2</b>	<b>Ataque de Sulfatos</b> .....	29
<b>2.1.3.3</b>	<b>Reação Álcali-Agregado</b> .....	30
<b>2.1.3.4</b>	<b>Carbonatação</b> .....	31
<b>2.1.4</b>	<b>Ataque de cloretos e corrosão de armaduras</b> .....	33
<b>2.2</b>	<b>Durabilidade e Vida Útil</b> .....	37
<b>2.3</b>	<b>Agressividade Ambiental</b> .....	42
<b>2.3.1</b>	<b>Ambiente marítimo</b> .....	43
<b>2.3.1.1</b>	<b>Formação e transporte de aerossol marinho</b> .....	44
<b>2.3.1.2</b>	<b>Influência da velocidade e da direção do vento</b> .....	45
<b>2.3.1.3</b>	<b>Influência da distância em relação ao mar</b> .....	47
<b>2.3.2</b>	<b>Classes de agressividade ambiental</b> .....	49
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	54
<b>3.1</b>	<b>Mapeamento e locação dos pontos de coleta de dados</b> .....	54
<b>3.2</b>	<b>Ensaio pelo método da Vela Úmida</b> .....	59

3.3	Determinação do teor de cloretos em corpos de prova de concreto .....	67
3.4	Climatologia.....	73
4	<b>APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>75</b>
4.1	<b>Apresentação e análise dos resultados.....</b>	<b>75</b>
4.1.1	<i>Características climatológicas .....</i>	<i>75</i>
4.1.1.1	<i>Direção predominante e velocidade do vento .....</i>	<i>75</i>
4.1.1.2	<i>Precipitação pluviométrica.....</i>	<i>77</i>
4.1.1.3	<i>Umidade Relativa.....</i>	<i>78</i>
4.1.1.4	<i>Temperatura.....</i>	<i>79</i>
4.1.2	<i>Deposição de íons cloro no ar atmosférico pelo método da vela úmida .....</i>	<i>79</i>
4.1.2.2	<i>Comparação com outros estudos.....</i>	<i>85</i>
4.1.3	<i>Penetração de cloreto em corpos-de-prova expostos na cidade. ....</i>	<i>93</i>
4.2	<b>Discussão dos resultados.....</b>	<b>94</b>
5	<b>PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DA AGRESSIVIDADE DO AR ATMOSFÉRICO DE FORTALEZA .....</b>	<b>98</b>
5.1	<b>Classificação conforme Vilasboas (2013).....</b>	<b>99</b>
5.2	<b>Classificação conforme Meira (2010) e a 2ª lei de Fick.....</b>	<b>109</b>
6.	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>120</b>
6.1	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>120</b>
6.2.	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>121</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>123</b>
	<b>APÊNDICE A – AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>131</b>
	<b>APÊNDICE B – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS .....</b>	<b>133</b>
	<b>APÊNDICE C – CRONOGRAMA DE TROCAS .....</b>	<b>134</b>
	<b>APÊNDICE D – CONCENTRAÇÃO DE ÍONS CLORO – RESULTADOS .....</b>	<b>135</b>
	<b>APÊNDICE E – GRÁFICOS DAS LINHAS EM RELAÇÃO AO PERÍODO DE EXPOSIÇÃO .....</b>	<b>137</b>
	<b>APÊNDICE F – DADOS E RESULTADOS DO CÁLCULO DO C<sub>máx</sub> .....</b>	<b>138</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do tema de pesquisa

De acordo com Souza e Ripper (1998), a construção civil passou por um crescimento acelerado, o que provocou a necessidade de inovações que trouxeram, em si, a aceitação implícita de maiores riscos.

A progressão do desenvolvimento tecnológico aconteceu naturalmente, e, com ela, o aumento do conhecimento sobre estruturas e materiais. Apesar disto, algumas estruturas e materiais ainda tem desempenho insatisfatório, se confrontadas com as finalidades a que se propunham, passando por um processo de deterioração estrutural.

Segundo Helene (1992), a origem do problema pode ser dividida em cinco grandes etapas: planejamento, projeto, fabricação de materiais, execução e uso (operação e manutenção das obras). Os problemas patológicos só irão se manifestar após o início da execução, e ocorrer com mais intensidade na etapa de uso. Em relação às causas, este último autor elenca que os agentes causadores dos problemas patológicos podem ser vários: cargas, variação da umidade, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas ao concreto, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos, dentre outros.

A engenharia de estruturas, segundo Souza e Ripper (1998), viu-se confrontada com a necessidade técnica, econômica e social de pesquisar outros critérios para garantir o sucesso das construções. Passaram-se então a se considerar os materiais empregados e os métodos construtivos utilizados, tendo em vista o ambiente de construção da estrutura.

Pontes (2006) cita que as obras expostas ao ambiente marinho de deterioram mais cedo devido ao ambiente altamente agressivo. Segundo Portella (2013), em ambiente marinho, os cloretos contidos na névoa salina se constituem na causa mais significativa das manifestações patológicas devido à sua agressividade às armaduras.

Segundo Pontes (2006), as estruturas marítimas nos Estados Unidos, construídas no período de 1896 a 1916, com 20 a 30 anos já apresentavam problemas significativos de deterioração. Em Hong Kong, na década de 50, utilizaram água do mar para amassamento, o que reduziu a vida útil da estrutura para 15 anos. A Noruega também apresentou um histórico de construções portuárias, pontes e estruturas a beira-mar com deterioração precoce, dentre outros exemplos em países como a África do Sul e a Suécia.

O Brasil apresenta uma extensa costa marítima banhada pelo Oceano Atlântico, que segundo o IBGE (2014), possui uma extensão de 7367 km, com grandes cidades portuárias, dentre elas Fortaleza.

Para Cánovas (1988), conhecer as características da região ou zona onde se vai construir uma estrutura é fundamental para que se possam tomar as precauções quanto à agressividade do ambiente. Para o projeto de uma estrutura de concreto, de acordo com Silva (2011), 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. A NBR 6118 (ABNT, 2014) divide a agressividade ambiental em quatro níveis, variando de ambientes menos agressivos até ambientes altamente agressivos.

Segundo Cánovas (1988), a durabilidade, assim como a resistência, de uma estrutura é comparável a de um ser vivo, dependendo dos cuidados que se tenham com ela durante sua gestação ou projeto, assim como durante o seu crescimento ou construção e, posteriormente, durante o resto de sua vida ou manutenção. As estruturas de concreto armado, segundo Pontes (2006), quando sujeitas à corrosão das armaduras, tem sua vida útil diminuída, por ser este um mecanismo de deterioração que afeta significativamente a durabilidade, ocasionando consequências negativas para estabilidade, funcionalidade e estética das construções.

## **1.2 Justificativa**

Segundo Medeiros, Andrade e Helene (2011) pode-se afirmar que o conhecimento da durabilidade e dos métodos de previsão da vida útil das estruturas de concreto são fundamentais para:

- Auxiliar na previsão do comportamento do concreto em longo prazo;
- Prevenir manifestações patológicas precoces nas estruturas;
- Contribuir para a economia, sustentabilidade e durabilidade das estruturas

sempre lembrando que fazer uma boa engenharia significa manejar bem custos, técnica, recursos humanos e respeito ao meio ambiente.

Segundo os autores vários trabalhos têm demonstrado à importância econômica de se considerar a durabilidade, a partir de pesquisas que demonstram os significativos gastos com manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos (UEDA & TAKEWAKA, 2007), como está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1- Gastos com manutenção em países desenvolvidos

<b>País</b>	<b>Gastos com construções novas</b>	<b>Gastos com manutenção e reparo</b>	<b>Gastos totais com construção</b>
França	85,6 bilhões de euros (52%)	79,6 bilhões de euros (48%)	165,2 bilhões de euros (100%)
Alemanha	99,7 bilhões de euros (50%)	99,0 bilhões de euros (50%)	198,7 bilhões de euros (100%)
Itália	58,6 bilhões de euros (43%)	76,8 bilhões de euros (57%)	135,4 bilhões de euros (100%)
Reino Unido	60,7 bilhões de euros (50%)	61,2 bilhões de euros (50%)	121,9 bilhões de euros (100%)

Fonte: Medeiros, Andrade e Helene (2011)

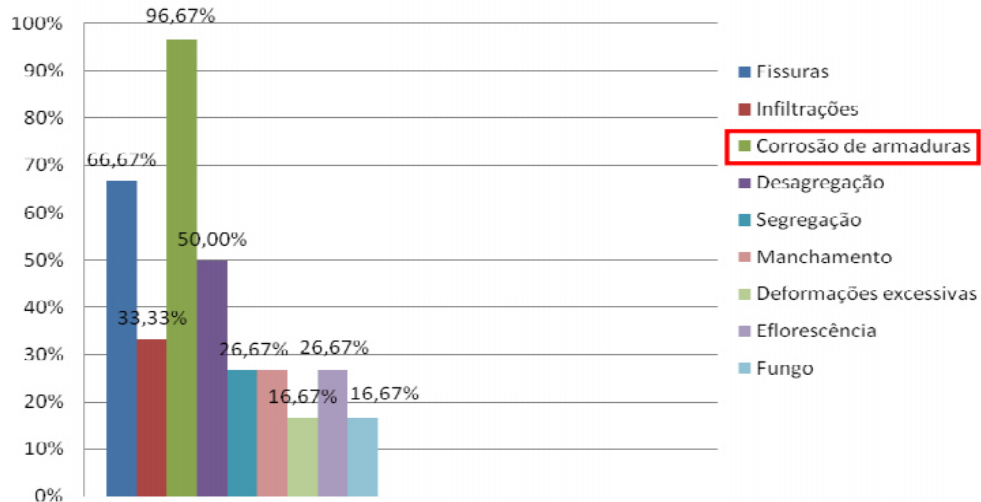
Para Cascudo (1997) no Brasil, pelo fato de as principais cidades estarem localizadas em regiões costeiras, onde existe uma quantidade muito grande de íons cloro a manifestação patológica mais encontrada é a corrosão de armaduras. E mesmo outras cidades mais afastadas da costa, que tenham um alto índice de poluição, oferecem ambientes agressivos.

Segundo Dotto (2012), as obras públicas, principalmente pontes e viadutos, são as mais expostas as manifestações patológicas causadas pela ação dos íons cloro, a ponto de os gastos governamentais para recuperar estruturas danificadas chegar ao valor de R\$ 800 milhões por ano. Normalmente não se faz a inspeção periódica e nem o monitoramento das estruturas de concreto armado. Logo, as intervenções são feitas somente quando a estrutura já está com um processo de corrosão avançado, o que eleva consideravelmente os custos para a reabilitação. Esta pesquisadora ainda afirma que 64% das manifestações patológicas em estruturas de concreto em Recife, estão relacionadas à corrosão por íons cloro.

Silva (2011b) realizou um estudo no estado do Ceará em que fez o levantamento da ocorrência de manifestações patológicas em 30 obras diferentes, e observou que, a corrosão de armaduras está presente na grande maioria das construções. Esta constatação está descrita na figura 1, onde a corrosão de armaduras está presente em 96,67% das obras analisadas.

A agressividade do ambiente, em decorrência da quantidade de cloretos, segundo Pontes (2006), pode desencadear e acelerar a corrosão de armaduras, e em função desta agressividade, novas exigências poderão ser impostas às estruturas de concreto. Portanto faz-se necessário a caracterização do nível de agressividade do local onde se irá construir.

Figura 1 - Manifestações patológicas nas estruturas de concreto



Fonte: Silva (2011b)

Segundo Albuquerque e Otoch (2005), artigos datados da década de 80 já alertavam para a agressividade ambiental de Fortaleza sendo que algumas medições foram feitas na década de 90 onde se indicou a presença de cloretos, sulfatos e partículas sedimentáveis. Segundo Portella (2013), os limites de separação entre os ambientes marinho (classe agressividade III) e urbano (classe de agressividade II) ainda não foram estabelecidos na cidade de Fortaleza e esta constatação impõe a necessidade de se saber até onde se estende a zona de ambiente marinho, para tanto, deve-se conhecer a concentração de íons de cloreto presentes na atmosfera, à medida que se afasta do mar e adentra o continente. Segundo Meira (2007), a concentração de sal em névoa salina marinha diminui fortemente nos primeiros metros do mar.

A motivação deste trabalho se deu através da necessidade de se conhecer os níveis de concentração de íons de cloreto na cidade de Fortaleza como um todo, haja vista que só há informações pontuais coletadas na Praia do Futuro e na Praia de Iracema. Tal conhecimento permitirá o desenvolvimento de projetos de estruturas em concreto armado de forma mais acurada, tratando de forma preventiva o surgimento de corrosão da armadura pela ação de íons cloro, estendendo assim a vida útil destes concretos, primando pela durabilidade das construções.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo Geral***

O objetivo geral deste trabalho é mapear a agressividade do ar atmosférico da cidade de Fortaleza, avaliando a presença salina na atmosfera através da taxa de deposição de íons cloro na vela úmida, em relação à distância ao mar, bem como a penetração dos mesmos em corpos de prova de concreto e propor uma classificação desta agressividades segundo a ABNT NBR 6118:2014.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Quantificar o teor de íons cloro presente na atmosfera da cidade de Fortaleza, por meio do ensaio de vela úmida estabelecido pela ABNT NBR 6211:2001, durante um período de doze meses;
- Determinar o teor de cloreto no interior dos corpos de prova de concreto, expostos durante o período de seis meses, através do procedimento C descrito na ABNT NBR 14832:2002;
- Caracterizar climatologicamente a região durante os meses de implantação da vela úmida, e analisar a temperatura, direção e velocidade do vento e umidade;
- Fazer uma análise comparativa dos dados obtidos neste estudo com dados de estudos anteriores realizados na Praia do Futuro e Praia de Iracema em Fortaleza, bem como com estudos de outras cidades brasileiras e estrangeiras;
- Classificar a cidade em zonas e subzonas de agressividade com requisitos de durabilidade.

## **1.4 Estrutura do trabalho**

O presente estudo está dividido em cinco capítulos conforme a seguir.

O capítulo 1 consiste da parte introdutória do trabalho, da justificativa da pesquisa com a identificação do problema, seguido dos objetivos da pesquisa e a apresentação da estrutura do trabalho.

No capítulo 2 apresenta-se o referencial teórico abordando os temas: concreto como material estrutural, durabilidade e agressividade ambiental, de forma a permitir um conhecimento mais amplo nessa área.

No capítulo 3 apresenta-se os materiais e métodos utilizados na pesquisa. Primeiramente foi elaborado um fluxograma do programa experimental definindo todas as etapas da pesquisa e após foi detalhado o procedimento de cada uma das etapas.

O capítulo 4 consiste na apresentação, análise e discussão dos resultados obtidos no estudo, bem como a comparação com resultados de outros estudos realizados em outras cidades no Brasil e no exterior.

No capítulo 5 é apresentada uma proposta de classificação de agressividade ambiental para a cidade de Fortaleza/Ce, com base nos resultados obtidos e outros estudos.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões deste trabalho, assim como as sugestões para trabalhos futuros com questões não discutidas no presente estudo.

Por fim, em seguida são apresentadas as referências bibliográficas citadas ao longo do texto, além dos anexos e apêndices, onde são apresentados os resultados completos de todos os ensaios realizados.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Concreto como material estrutural

Segundo Neville e Brooks (2013) os materiais estruturais mais utilizados atualmente são o concreto e o aço. Algumas vezes estes se complementam e outras vezes competem entre si.

Estima-se, segundo Pedroso (2009) que o consumo atual de concreto no mundo seja da ordem de 11 milhões de toneladas ao ano, equivalente a um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. Segundo Monteiro e Mehta (2014), ele é tão utilizado como material de engenharia devido à pelo menos 4 razões: À excelente resistência do concreto à água, a facilidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos, a rápida disponibilidade do material para uma obra e pelo baixo custo quando comparado com outros sistemas estruturais.

Para Monteiro e Mehta (2014) “o concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinados partículas ou fragmentos de agregado”. O concreto é um compósito que possui uma pasta aglomerante ao qual se aglutina partículas ou fragmentos agregados.

#### 2.1.1 *Materiais que constituem o concreto*

##### 2.1.1.1 *Cimento Portland*

O principal material componente do concreto é o cimento Portland que, segundo ABCP (2002) trata-se de um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinante ou ligantes e que sofre um processo de endurecimento sob ação da água.

Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido a ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais. O cimento Portland, misturado com água e outros materiais de construção, tais como a areia, a pedra britada, o pó-de-pedra, a cal e outros, resulta nos concretos e nas argamassas usadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens, dentre outros.

Segundo Amorim (2010), o principal constituinte do cimento é o clínquer, material sinterizado e peletizado, resultante da calcinação a aproximadamente 1450°C de uma mistura

de calcário e argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera, empregados de modo a garantir o quimismo da mistura.

De acordo com ABCP (2002), no Brasil são fabricados diversos tipos de cimento para diversas aplicações, que são diferentes entre si, principalmente em função da sua composição (Quadro 1), os mais empregados são:

- Cimento Portland Comum;
- Cimento Portland Composto;
- Cimento Portland de Alto Forno;
- Cimento Portland Pozolânico;

Outros que apresentam características especiais de aplicação, consumidos em menor escala, são:

- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial;
- Cimento Portland Resistente a Sulfatos;
- Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC);
- Cimento para Poços Petrolíferos;
- Cimento Portland Branco (CPB).

Quadro 1 – Composição dos cimentos portland

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (Sigla E)	Material pozolânico (Sigla Z)	Material carbonático (Sigla F)	
Comum	CP I	100	-			NBR 5732
	CP I - S	99-95	1-5			
Composto	CP II – E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II – Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II – F	94-90	-	-	6-10	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V - ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733

Fonte: adaptado de ABCP (2002)

### 2.1.1.2 Agregados para o concreto

Os agregados se constituem de material granular, sem forma ou volume definido, de dimensões e propriedades adequadas para fabricação de concretos de cimento portland, que podem ser: naturais, britados, artificiais, reciclados.

A ABNT NBR 7211/2009 – Agregados para concreto – especificação, especifica os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland, ou seja, traz parâmetros que devem ser atendidos pelos agregados para serem utilizados na fabricação de concretos.

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados que são provenientes de regiões litorâneas, ou quando extraídos de águas salobras ou ainda quando houver suspeita de contaminação natural, os teores de cloretos não devem exceder os valores de 0,2% para concreto simples e 0,1% em concreto armado e 0,01% em concreto protendido e os teores de sulfatos não devem exceder a 0,1%, conforme demonstra a Tabela 2.

Tabela 2 - Limites máximos para a expansão devida à reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos presentes nos agregados

Determinação	Método de ensaio	Limites
Teor de cloretos <sup>a</sup> (Cl <sup>-</sup> )	ABNT BNR 9917 ABNT NBR 14832 <sup>b</sup>	< 0,2 % concreto simples
		< 0,1 % concreto armado
		< 0,01 % concreto protendido
Teor de sulfatos <sup>c</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	ABNT NBR 9917	< 0,1%

<sup>a</sup> Agregados que excedam os limites estabelecidos para cloretos podem ser utilizados em concreto, desde que o teor total trazido ao concreto por todos os seus componentes (água, agregados, cimento, adições e aditivos químicos), verificado por ensaio realizado pelo método ABNT NBR 14832 (determinação no concreto) ou ASTM C 1218, não exceda os seguintes limites, dados em porcentagem sobre a massa de cimento:

- concreto protendido ≤ 0,06%;
- concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura ≤ 0,15%;
- concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou projetado da umidade nas condições de serviço da estrutura) ≤ 0,40%;
- outros tipos de construção com concreto armado ≤ 0,30%.

<sup>b</sup> O método da ABNT NBR 14832 estabelece como determinar o teor de cloretos em clínquer e cimento Portland. Neste caso específico, o método pode ser utilizado para o ensaio de agregados.

<sup>c</sup> Agregados que excedam o limite estabelecido para sulfatos podem ser utilizados em concreto, desde que o teor total trazido ao concreto por todos os seus componentes (água, agregados, cimento, adições e aditivos químicos), não exceda 0,2% ou que fique comprovado o uso de cimento Portland resistente a sulfatos, conforme a ABNT NBR 5737, no concreto.

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009)

De acordo com Amorim (2010) as características dos agregados como: porosidade, composição granulométrica, absorção d'água, estabilidade, forma e textura superficial dos grãos, resistência mecânica, dentre outros, influenciam as propriedades dos concretos. Uma das formas mais comuns para classificar os agregados é em função do tamanho dos grãos.

### 2.1.1.3 Adições minerais

Segundo Amorim (2010), as adições minerais nos concretos incorporam grandes qualidades, no que diz respeito ao aspecto físico associado ao pequeno tamanho das partículas, além das reações químicas no uso de pozolanas. De acordo com Dal Molin (2005), há outras adições que são obtidas por meio de resíduos, como a cinza da casca de arroz. Dos materiais que são utilizados como adições pode-se destacar:

- Pozolanas naturais (rochas após processo de moagem);
- Cinza volante (cinzas finas oriundas da queima de carvão em usinas termelétricas);
- Sílica ativa (resíduo do processo de obtenção do ferro silício);
- Metacaulin (material obtido da calcinação de alguns tipos de argilas);
- Cinza de casca de arroz (resultado da combustão da casca de arroz);
- Escória granulada de alto forno (resíduo não metálico proveniente da produção do ferro gusa em alto forno); e
- Fíler (Pode ser obtido de materiais inorgânicos processados, deve ter no mínimo 85% de  $\text{CaCO}_3$ ).

Segundo a NBR 5736 (ABNT, 1991), os materiais pozolânicos, são materiais silicosos ou silicoaluminosos que por ai só pouco ou nem possuem atividade aglomerante, a não ser que sejam finamente divididos e com a presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades cimentícias.

Para a ABCP (2002), os materiais pozolânicos são certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas, derivados de carvão mineral nas usinas termelétricas, rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, entre outros.

Para Garcia et al (2014), uma vez que as adições são incorporadas ao cimento e ao concreto, interagem química e fisicamente com os produtos da hidratação do clínquer, o que modifica a microestrutura do material. A adição mineral reage com o hidróxido de cálcio  $[\text{Ca}(\text{OH})^2]$ , gerado durante a hidratação do cimento, para formar silicato de cálcio hidratado (C-

S-H) adicional. É denominado como reação pozolânica quando a adição mineral e o  $\text{Ca(OH)}_2$  reagem.

A adição de materiais pozolânicos modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade, difusão iônica e a porosidade capilar, aumentando a durabilidade do concreto, além de aumentar a resistência à compressão e a melhorar a trabalhabilidade, dentre outros. Dos materiais citados anteriormente, podem-se destacar como materiais pozolânicos as: pozolanas naturais, cinza volante, sílica ativa, metacaulin e cinza de casca de arroz.

#### 2.1.1.4 *Água*

A água reage quimicamente com o cimento, tornando a mistura suficientemente trabalhável, facilitando seu transporte, lançamento e adensamento. Quanto mais água o concreto contiver maior será o número de vazios, e conseqüentemente a mistura se torna menos resistente, pois a água permanece na mistura até se evaporar deixando pequenos vazios. Para França (2004), a água precisa ser de boa qualidade para evitar a contaminação por substâncias estranhas. Toda água potável é adequada para o uso em concreto, as não potáveis precisam atender os requisitos da NBR 15900 (ABNT, 2009), tais como:

- Avaliação preliminar: onde são analisados parâmetros como cor, materiais sólidos, odor e matéria orgânica;
- Propriedades químicas: onde é analisado o teor de cloreto na água, o teor de sulfatos e teor de álcalis.

#### 2.1.1.5 *Aditivos*

Segundo a NBR 11768 (ABNT, 1992), os aditivos são produtos que se adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas situações.

Os aditivos são adicionados objetivando modificar ou melhorar as características do concreto, pois as mudanças no estado fresco tem repercussões no estado endurecido, podendo diminuir permeabilidade. Podem melhorar a trabalhabilidade, a pega, o endurecimento, dentre outros. Martin (2005) relata que diversos fatores devem ser analisados para aplicação dos aditivos de forma a proporcionar os efeitos desejados, e dentre os fatores destacam-se:

- Tipo de cimento: composição do clínquer principalmente conteúdo de  $C_3A$  e  $C_3S$ ; Adições, classe características (composição química, finura, forma), quantidade, conteúdo dos compostos alcalinos, finura, quantidade de cimento; e
- Tipos de aditivos: quantidade e dosagem, temperatura ambiente, condições para realizar a mistura.

### ***2.1.2 Tipos de concreto***

Para Monteiro e Mehta (2014), é difícil listar todos os tipos de concreto, pois há numerosos concretos modificados que possuem termos apropriados, no entanto Ambrozewicz (2012), cita uma lista dos tipos de concreto fornecidos atualmente pelas centrais de concreto, a saber:

- Concreto convencional;
- Concreto de alto desempenho;
- Concreto bombeável;
- Concreto de alta resistência inicial;
- Concreto de pavimento rígido, concreto pesado;
- Concreto projetado;
- Concreto leve estrutural;
- Concreto leve, concreto fluido;
- Concreto rolado, concreto colorido;
- Concreto resfriado com gelo;
- Concreto autoadensável;
- Concreto com adição de fibras;
- Concreto impermeável; e
- Concreto sem finos.

Segundo Monteiro e Mehta (2014), o concreto pode ser classificado em três amplas categorias, de acordo com sua massa específica: concreto de densidade normal (massa específica na ordem de  $2.400 \text{ kg/m}^3$ ), concreto leve (Massa específica menor que  $1.800 \text{ kg/m}^3$ ) e concreto pesado (massa específica maior do que  $3.200 \text{ kg/m}^3$ ).

Com base na resistência à compressão, este pode ser dividido em outras três categorias: concreto de baixa resistência (menos de 20 MPa), concreto de resistência moderada (de 20 MPa a 50 MPa) e concreto de alta resistência (mais de 50 MPa).

Para Bastos (2014), o concreto simples é um material composto, constituído por cimento, água, agregados e ar, podendo também conter adições e aditivos químicos. O concreto simples é o material concreto sem armaduras.

O Concreto Armado considera a existência do concreto simples com armaduras, geralmente na forma de barras de aço, nele inseridas. O concreto armado surgiu da necessidade de se aliar as qualidades do concreto (resistência à compressão e durabilidade) com as do aço (resistências mecânicas à tração).

Ainda segundo Bastos (2014), o concreto protendido é um avanço do concreto armado, onde a idéia básica é aplicar tensões prévias de compressão nas regiões da peça que serão tracionadas pela ação do carregamento externo aplicado. Desse modo, as tensões de tração são diminuídas ou até mesmo anuladas pelas tensões de compressão pré-existentes ou pré-aplicadas na peça. Com a protensão procura-se eliminar a característica negativa da baixa resistência do concreto à tração.

### ***2.1.3 Causas de degradação do concreto armado***

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as causas do envelhecimento e deterioração relativas ao concreto são a lixiviação, expansão por sulfato, reação álcali-agregado, entre outros. As causas relativas à armadura são a despassivação por carbonatação e despassivação por ação de cloretos, entre outros. A seguir estes itens serão discutidos mais detalhadamente, com exceção do ataque por cloretos, pois devido à importância para o tema da dissertação será tratado à parte em ítem específico.

#### ***2.1.3.1 Lixiviação***

Segundo a NBR 6118 (2014), é o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Para prevenir sua ocorrência, recomenda-se restringir a fissuração, de forma a minimizar a infiltração de água, e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como os hidrófugos.

Segundo Helene (2013), a lixiviação trata-se do carreamento de sais solúveis pela água, que acaba se manifestando no concreto através de manchas esbranquiçadas na superfície ( $\text{CaCO}_3$ ), eflorescência, aumento da porosidade interna do concreto, redução do pH com risco

de corrosão. Este processo pode ser evitado através da redução da relação a/c, uso de adições, melhoramento das condições de cura e impermeabilização.

Figura 2 - Eflorescência no concreto



Fonte: Pastana (2014)

#### 2.1.3.2 Ataque de Sulfatos

Segundo a NBR 6118 (2014), é a expansão por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado. A prevenção pode ser feita pelo uso de cimento resistente a sulfatos, conforme ABNT NBR 5737.

A origem dos sulfatos, segundo Cabral (2014), pode ser por agregado contaminado por gipsita mais cimento de alto teor de  $SO_3$ , chuvas ácidas, solos contaminados, águas subterrâneas e efluentes.

Segundo Neville (1997), os sais só atacam o concreto quando dissolvidos, pois reagem com a pasta de cimento hidratado. Os dois principais meios de ataque por sulfatos são: reação com os produtos de hidratação do aluminato tricálcico não hidratado produzindo etringita; e reação com o hidróxido de cálcio produzindo gipsita. O ataque por sulfatos tem como consequência a desagregação por expansão e fissuração, a perda de resistência do concreto devido à perda de coesão na pasta de cimento e à perda de aderência entre a pasta e as partículas de agregado.

A NBR 12655 (ABNT, 2015), apresenta uma classificação da agressividade de solos e da água seguindo a concentração de sulfatos e traz características do concreto tais como a relação água/cimento e a resistência característica à compressão do concreto, que devem ser atendidos conforme o que estabelece a Tabela 3.

Tabela 3- Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO <sub>4</sub> ) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel em água (SO <sub>4</sub> ) presente na água ppm	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal*	Mínimo fck (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	-	-
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1500	0,45	40

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

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015)

### 2.1.3.3 Reação Álcali-Agregado

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a reação álcali agregado é a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos. Para Nogueira (2010), a reação álcali-agregado (RAA) é a reação química entre os hidróxidos alcalinos e alguns tipos de minerais presentes nos agregados, que ocorre internamente em uma estrutura de concreto. O projetista deve identificar no projeto o tipo de elemento estrutural e sua situação quanto à presença de água, bem como deve recomendar as medidas preventivas, quando necessárias, de acordo com a NBR 15577-1 (ABNT, 2008). Como resultado da reação, na presença de umidade, são formados produtos que são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo comprometer as estruturas de concreto.

Figura 3 - Fissuras devido a RAA



Fonte: Bastos (2016)

Para Cabral (2014), é um processo químico em que alguns constituintes mineralógicos do agregado reagem com hidróxidos alcalinos que estão dissolvidos nas soluções dos poros do concreto, formando um gel expansivo. Os tipos são: Reação álcali-sílica – opala, trimidita, cristobalita; Reação álcali-silicato – feldspato, quartzito, ardósia, xisto; Reação álcali-carbonato – agregado calcário-domilítico. As condições para a ocorrência são: Agregado potencialmente reativo, umidade e álcalis, além de fatores complementares como: temperatura, área de superfície do material, tensões confinantes e contribuição de álcalis externos. A NBR 15577 (ABNT, 2008) apresenta algumas ações para mitigar as RAA, as quais estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Medidas de mitigação

<b>Intensidade da ação preventiva</b>	<b>Medidas de mitigação</b>
Mínima	1) Limitar o teor de álcalis do concreto a valores menores do que 3,0 Kg/m <sup>3</sup> de Na <sub>2</sub> O equivalente a) b), ou 2) Utilizar cimentos CP II-E ou CP II-Z, conforme ABNT NBR 11578, ou CP III, conforme ABNT NBR 5735, ou CP IV, conforme ABNT NBR 5736, ou 3) Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de intensidade moderada.
Moderada	1) Limitar o teor de álcalis do concreto a valores menores do que 2,4 Kg/m <sup>3</sup> de Na <sub>2</sub> O equivalente a) b), ou 2) Utilizar cimentos CP III, com no mínimo 60% de escória conforme ABNT NBR 5735 ou 3) Utilizar cimento CP VI, com no mínimo 30% de pozolana conforme ABNT NBR 5735 ou 4) Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de intensidade forte.
Forte	1) Utilizar materiais inibidores da reação de acordo com a tabela 3, comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio previsto ou 2) Substituir o agregado em estudo. a) Aceita-se considerar o aporte de álcalis trazido ao concreto pelo cimento (álcalis totais determinados pelas ABNT NBR NM 11-2, ABNT NBR NM 17 ou ABNT NBR 14656), na ausência dos ensaios de todos os componentes do concreto. b) $Na_2O_{eq} = 0,658 K_2O + Na_2O$

Fonte: NBR 15577 (ABNT, 2008)

#### 2.1.3.4 Carbonatação

Para Pauletti (2009), a carbonatação é um fenômeno físico-químico que ocorre principalmente entre os hidratos do cimento e o CO<sub>2</sub> da atmosfera. A carbonatação provoca

uma série de alterações na microestrutura dos materiais cimentícios, sendo que as duas consequências maiores são a queda do pH e a mudança na permeabilidade. No caso do concreto armado, a carbonatação pode se tornar crítica, quando forem reunidas condições como: presença de água, diferença de potencial, acesso ao oxigênio, pois forma-se uma pilha eletroquímica com corrosão das armaduras.

Segundo Andrade (2001), a penetração de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) pode reduzir a alcalinidade da camada de cobrimento do concreto, e entrar por difusão através dos poros do material e reagir com o hidróxido de cálcio [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] e outros hidróxidos. A reação principal desse processo é representada pela seguinte Equação 1.



Segundo a NBR 6118 (2014), a carbonatação causa despassivação por ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de baixa porosidade.

Segundo Pauletti (2009), a carbonatação do concreto é um das principais causas para o início do processo de corrosão das armaduras, uma das manifestações patológicas que mais afeta as estruturas de concreto armado. A reação de carbonatação é mais intensa, quanto maior for a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Apesar de não ser responsável diretamente por manifestações patológicas, sob a ótica da durabilidade do concreto armado, a carbonatação, através da redução do pH da solução dos poros, faz com que a película passivadora do aço seja rompida, podendo levar ao início do processo de corrosão das armaduras, desde que estejam presentes a umidade e o oxigênio (NEVILLE, 1997).

Para Cabral (2014), os principais constituintes presentes na atmosfera que podem produzir reações de neutralização são o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ). O pH do concreto, como resultado da carbonatação do concreto, tem redução a valores inferiores a 9. O autor ainda indica os fatores condicionantes que influenciam na velocidade e profundidade de carbonatação, dependendo das condições de exposição e características do concreto e características influenciadas, como estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2- Fatores que influenciam na carbonatação

	<b>Fatores Condicionantes</b>	<b>Características Influenciadas</b>
<b>Condições de Exposição</b>	Concentração de CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanismo físico-químico</li> <li>• Velocidade de carbonatação</li> </ul>
	Umidade Relativa do Ar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grau de saturação dos poros</li> <li>• Velocidade de carbonatação</li> </ul>
	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidade de carbonatação</li> </ul>
<b>Características do Concreto</b>	Composição química do cimento - Características do clínquer - Teor de adições	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porosidade da pasta carbonatada</li> <li>• Reserva alcalina</li> </ul>
	Traço	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porosidade</li> </ul>
	Qualidade de Execução - Defeitos - Cuidados com a cura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porosidade</li> <li>• Grau de hidratação</li> </ul>

Fonte: Cabral (2014)

#### **2.1.4 Ataque de cloretos e corrosão de armaduras**

Segundo Abbas, Soliman, Nehdi (2014), a corrosão do aço deteriora às estruturas de concreto, o que resulta na quebra e fragmentação do revestimento em concreto, o que acelera ainda mais os danos. As fontes de cloreto segundo, Cabral (2014), são: o uso de aceleradores de pega que contém CaCl<sub>2</sub>, na forma de impurezas dos agregados e da água de amassamento, atmosfera marinha (maresia), água do mar, uso de sais de degelo e processos industriais.

Romano (2009), afirma que em regiões costeiras, todo o processo agressivo no que diz respeito ao ingresso de cloretos nas estruturas de concreto que não se encontram diretamente em contato com a água do mar, iniciando-se pela formação do aerossol marinho e seu transporte em direção à costa. Os cloretos dissolvidos presentes no meio ambiente externo podem penetrar no concreto, através dos seguintes mecanismos clássicos de penetração de água e transporte de íons no concreto: permeabilidade, absorção capilar, difusão iônica e migração iônica.

Para Pereira (2001), os íons cloro são considerados os agentes mais problemáticos no processo de corrosão de armaduras, incluindo tanto o período de iniciação quanto ao de propagação.

Segundo Andrade (1992), em ambientes agressivos, a quantidade de íons cloro tende a ser incrementada gradualmente, e o mesmo pode chegar, após certo tempo, a atacar toda a superfície da armadura do concreto armado, podendo provocar velocidades de corrosão

intensas e perigosas, diminuindo sensivelmente sua vida útil. A autora ainda afirma que em condições normais, a armadura no interior do concreto encontra-se protegida química e fisicamente. Essa situação de proteção pode durar indefinidamente, desde que o concreto apresente boa qualidade e não fissure, o que facilitaria o ingresso de agentes agressores, bem como que o mesmo não tenha suas características físicas ou mecânicas alteradas devido à ação de agentes agressivos. Entretanto, por apresentar uma estrutura porosa, o concreto não funciona como barreira perfeita contra a penetração dos agentes desencadeadores e propagadores da corrosão, chegando-se a conclusão de que, dentro de algum tempo, a armadura será atacada e o processo de corrosão iniciará.

O processo de corrosão das armaduras no interior do concreto ocorre basicamente por mecanismos eletroquímicos, ou seja, há uma reação química que envolve a condução de cargas (elétrons) entre regiões diferentes de um mesmo metal. Em uma região ocorrem as reações de perdas de elétrons (região anódica), enquanto em outras se processam as reações de consumo de elétrons (região catódica). A circulação de íons ocorre pelo eletrólito, que no caso do concreto é a solução contida nos seus poros. Na região anódica ocorrem as reações de oxidação do metal, que consiste na dissolução do átomo metálico ou na liberação de íons metálicos para o eletrólito e estabelecimento de um fluxo de elétrons através do eletrodo (metal) para a região catódica (PEREIRA, 2001).

Segundo Portella (2013), a corrosão da armadura do concreto é decorrente de reações eletroquímicas que se acionam na superfície da barra de aço imerso no concreto como resultado da sua interação com o meio que a envolve. Esta se caracteriza pela formação de correntes elétricas localizadas em pontos que atuam como ânodos e cátodos, levando a deterioração da armadura, causando, com o tempo, perda de aderência entre os dois materiais e redução da seção transversal das barras de aço, podendo levar a estrutura à ruína.

Nepomuceno (2013) afirma que a degradação das estruturas de concreto armado se dá em decorrência da penetração, através dos poros e fissuras, de substâncias agressivas na forma de gases, vapores e líquidos, que interagem com os materiais constituintes do concreto.

Segundo Portella (2013), os principais fatores que influenciam o ingresso e a ação dos íons cloro no interior do concreto, desencadeando o processo de corrosão das armaduras do concreto armado, segundo diversos autores, são: composição e tipo de cimento, relação água/cimento, grau de hidratação do cimento e cura do concreto, cobrimento da armadura, carbonatação, porosidade do concreto, ambiente marinho, a umidade relativa do ar e a temperatura, a ação do vento, o distanciamento do mar, resistividade elétrica, conforme a seguir.

- **Composição e tipo de cimento** – Os diferentes tipos de cimento apresentam variações quanto à sua composição e finura, que por sua vez atuam de formas diferentes quanto à proteção da armadura e ao ingresso de íons cloro (TROIAN, 2010).
- **Relação água/cimento, grau de hidratação do cimento e cura do concreto** – A relação a/c, na medida em que é reduzida, reduz a porosidade, aumenta consideravelmente a resistência mecânica do concreto e, conseqüentemente, diminui a velocidade e intensidade do processo corrosivo (PORTELLA, 2013). Uma cura insuficiente reduz o grau de hidratação do cimento, especialmente nas regiões superficiais, resultando em uma maior interligação entre os poros da pasta de cimento, aumentando a sua porosidade (BRANDÃO, 1998).
- **Cobrimento da armadura** – No cobrimento da armadura, o concreto atua como barreira de proteção física contra agentes agressivos (CABRAL, 2000).
- **Carbonatação** – A carbonatação pode exercer influência na liberação de cloretos fixados na pasta de cimento, aumentando a probabilidade de iniciação do processo de corrosão da armadura do concreto.
- **Porosidade do Concreto** – A estrutura porosa da pasta de cimento endurecida influencia decisivamente no transporte de íons cloro, oxigênio e água, além de outras substâncias dissolvidas, para o interior do concreto, influenciando significativamente o início e a manutenção do processo de corrosão das armaduras.
- **Ambiente marinho** – Os modelos de vida útil de estrutura de concreto em ambiente marinho, normalmente dividem esse ambiente em quatro micros ambientes: zona submersa, zona de maré, zona de respingo e zona de névoa marinha. A norma NBR 6118 (ABNT, 2014), não apresenta valores determinísticos para a classificação da agressividade ambiental. O enquadramento de uma obra às condições do meio onde está situada dependerá das informações meteorológicas e ambientais obtidas, do domínio do projetista em relação à norma e seu bom senso.
- **A umidade relativa do ar e a temperatura** – A penetração de íons de cloro é também afetada pela temperatura, a sua elevação aumenta a mobilidade molecular favorecendo o seu transporte, entretanto a sua queda pode provocar a condensação e aumento da umidade do concreto. No entanto, a elevada temperatura também pode reduzir a quantidade de água e reduzir o transporte. A

umidade relativa do ar por sua vez está ligada ao transporte de íons cloro no concreto.

- **A ação do vento** – A ação do vento sobre a superfície do mar provoca a produção do aerossol marinho (névoa marinha) contendo íons cloro.
- **O distanciamento do mar** – Há um decréscimo da intensidade de ataque que varia com a distância do mar em direção ao interior.
- **Resistividade elétrica** – É uma grandeza do concreto que indica a maior ou menor probabilidade do início da corrosão da armadura.

Vale ressaltar também que a importância do estudo da corrosão também está relacionada com aspectos econômicos, uma vez que os custos com reparos são extremamente altos (PEREIRA, 2001).

A NBR 12655 (ABNT, 2015) estabelece a contaminação superficial permitida de cloretos no concreto em porcentagem sobre a massa de cimento, conforme Tabela 5. Não se devem exceder os limites do valor máximo de concentração de íons cloro no concreto endurecido, pois este já considera a contribuição de todos os componentes do concreto, a fim de proteger as armaduras do concreto.

Tabela 5 – Teor máximo de íons cloro para proteção das armaduras do concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloro no concreto % sobre a massa de cimento
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40
Outros tipos de construção com concreto armado	0,30

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015)

Apesar de possuir várias causas para a sua degradação o concreto é um material que apresenta diversas vantagens na sua utilização, por isso é utilizado em larga escala na construção civil. Segundo Pereira (2001) as estruturas de concreto devem ser construídas para desempenhar as funções que lhe foram atribuídas, durante um período de vida previsto, ou razoável. O autor ainda afirma que o concreto apresenta características, que o deixa mais versátil, quando comparado a outros materiais estruturais, tornando-o de uso mais difundido.

## 2.2 Durabilidade e Vida Útil

As estruturas de concreto devem atender a três requisitos mínimos de qualidade durante a sua construção e de sua vida útil: capacidade resistente, desempenho de serviço e durabilidade (ABNT, 2014).

Segundo Portella (2013), os conceitos sobre durabilidade e vida útil são apresentados em vários trabalhos de pesquisadores tais como: Helene (1997), Andrade (1997), Neville (1997), Souza e Riper (1998), Roque e Moreno (2005), Medeiros, Andrade e Helene (2011), Metha e Monteiro (2013), nas normas internacionais ASTM E632-82 (1996), ACI 201.2R-01(ACI, 2001), CIB W080/RILEM 175-SLM (CIB,1983) e nas normas brasileiras ABNT NBR 6118:2007 e ABNT NBR 15575:2013. O autor então define que a durabilidade de uma estrutura de concreto é a capacidade de resistir à ação das intempéries, a ataques químicos, a esforços mecânico ou a qualquer outro processo de deterioração previsto e manter-se em serviço, desempenhando as funções para as quais foi projetado e construído, quando expostos ao uso e ao seu meio ambiente, durante um determinado período de tempo especificado previamente.

Segundo Helene (1995), deve-se considerar os seguintes aspectos no que se refere ao problema da durabilidade das estruturas de concreto:

- A classificação da agressividade do meio ambiente;
- A classificação da resistência do concreto à deterioração;
- Os modelos de deterioração e envelhecimento das estruturas de concreto;
- A correspondência entre agressividade do meio e resistência à deterioração e ao envelhecimento do concreto;
- E, finalmente a vida útil desejada, ou seja, o período de tempo que se deseja que a estrutura atenda a certos requisitos funcionais com um mínimo de manutenção.

Para Brandão (1998), o concreto foi considerado por muito tempo como extremamente durável, devido a vários exemplos de estruturas muito antigas e em bom estado de conservação, mas na deterioração precoce de estruturas recentes, verifica-se uma somatória de fatores que interferem, tais como: erros de projeto e execução, materiais inapropriados, agressividade do meio ambiente, falta de manutenção, dentre outros.

Pereira (2001) corrobora essa idéia ao afirmar que nenhum material é eternamente durável, inclusive o concreto pois, há mudanças nas suas propriedades com o decorrer do tempo. Além disso, os problemas relacionados à durabilidade são geralmente causados por um

conjunto de fatores, como a falta de conhecimento do meio ambiente a que as estruturas ficarão expostas.

Pontes (2006) afirma que os primeiros estudos de durabilidade do concreto foram realizados em ambiente marítimo, pois é nesse meio que são encontrados diversos agentes agressivos, atuando conjuntamente, e onde apareceram, primeiramente, graves problemas de corrosão. Nos anos 90, de acordo com Troian (2010), com o aumento das estruturas deterioradas se iniciou no Brasil uma maior preocupação com a durabilidade das estruturas.

Segundo Alves (2007), há várias discussões e estudos no Brasil e no mundo, sobre a durabilidade das estruturas, desde sua concepção até o fim de sua vida útil em serviço, onde se destacam instituições como o CEB, hoje FIB – Federation Internationale du Beton e o RILEM – International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials.

O projeto estrutural definindo o desempenho desejado é apresentado pelo FIB (1999), além de especificar estratégias de defesa contra os agentes de deterioração baseado no conhecimento do ambiente e sua interação através de variações da microestrutura do concreto conforme

#### **Figura 4.**

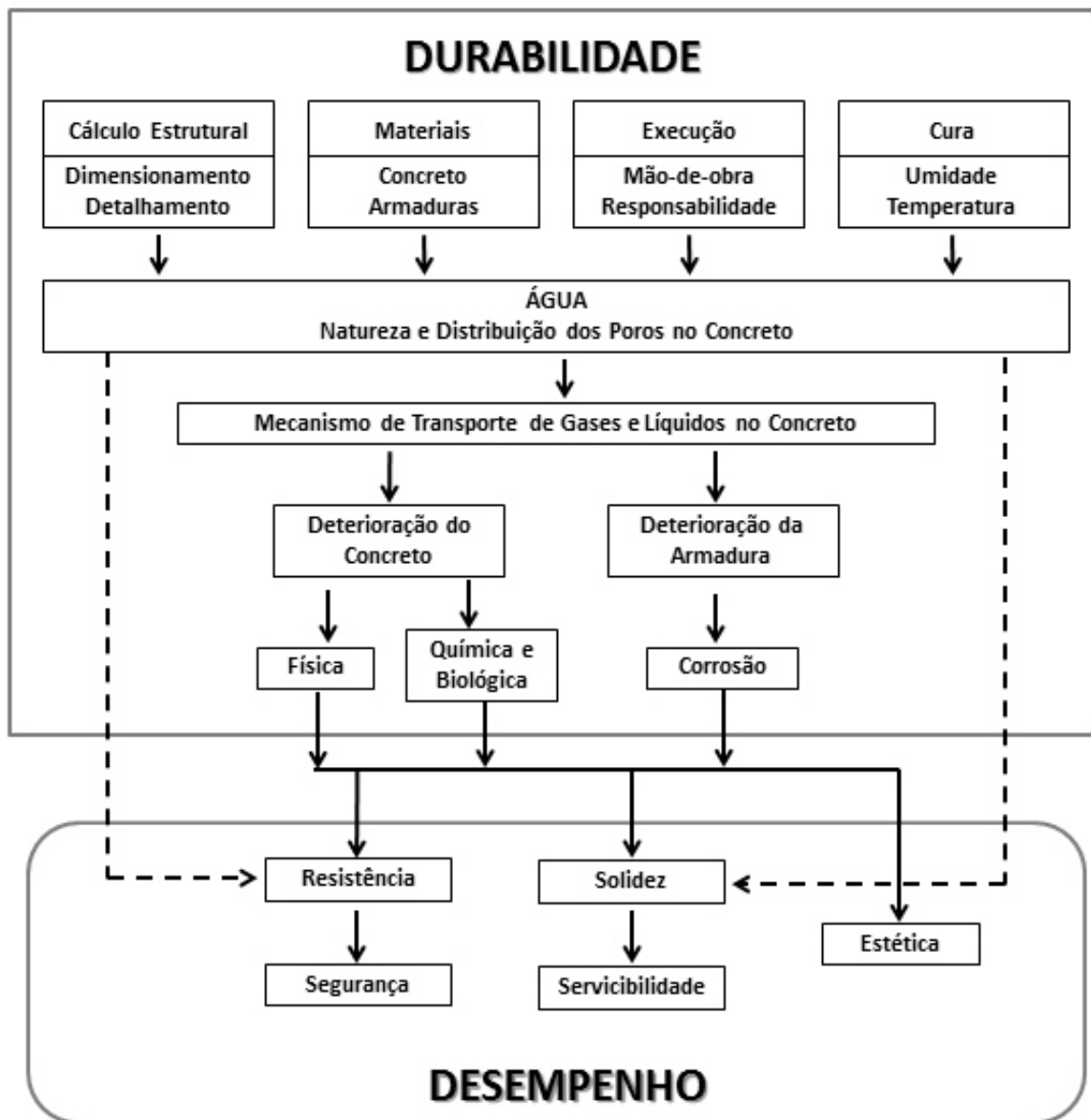
Segundo CBIC (2013), a durabilidade depende de muitos fatores que vão interferir isolada ou conjuntamente, desde a concepção e projeto até o uso e conservação.

A NBR 6118 (ABNT, 2014), deixa bastante claro a importância da questão durabilidade na elaboração de um projeto. Esta norma definiu mudanças referentes ao cobrimento mínimo das armaduras além de classificar as estruturas de concreto em relação ao seu risco de deterioração, devido à agressividade do meio ambiente onde a obra está inserida.

A durabilidade está ligada à sua capacidade para resistir às agressões provenientes do ambiente e à fabricação com materiais não expansivos. Quando as estruturas não são bem

projetadas e executadas, estas não resistem ao desgaste ambiental pelo tempo requerido em projeto.

Figura 4 - Parâmetros de avaliação de durabilidade e desempenho de uma estrutura



Fonte: Sousa e Ripper (1998)

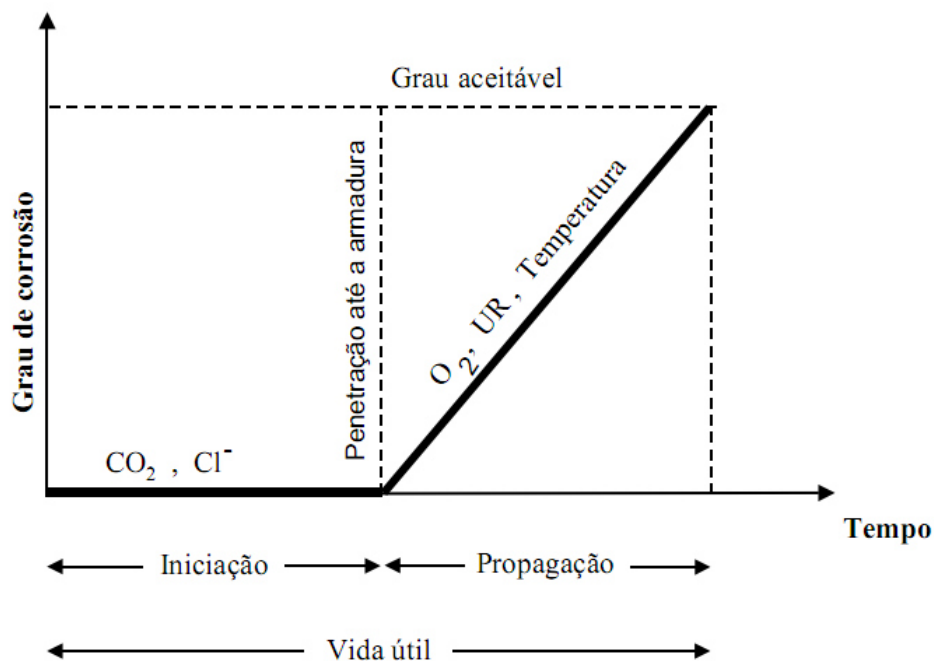
Tuutti (1980) *apud* Pontes (2006) propôs um modelo de vida útil, focado na corrosão de armaduras, como segue na Figura 5, o qual se divide em:

- Período de iniciação: é o período em que os agentes agressivos penetram no concreto até atingir a barra de aço e provocar a sua despassivação;
- Período de propagação: é o período em que os agente agressivos provocam uma corrosão aceitável;
- Vida útil ou tempo antes de reparo: é a soma dos períodos de propagação e iniciação.

Entende-se que a previsão de vida útil das estruturas em função do grau de corrosão das armaduras, se dá através da soma dos períodos de propagação e iniciação, sendo que os

mesmos são consecutivos. O período de iniciação é o tempo decorrido desde a execução do concreto armado até o momento em que os agentes agressivos atingem a barra de aço provocando a despassivação enquanto que o período de propagação se inicia ao final do período de iniciação e vai até a deterioração atingir um grau de corrosão inaceitável, necessitando de manutenção e reparos obrigatórios. Logo, a vida útil é o tempo decorrido desde a execução do concreto até quando o grau de corrosão torna-se inaceitável.

Figura 5 - Modelo de Vida Útil



Fonte: TUUTTI (1980) *apud* Pontes (2006)

Segundo Brandão (1998), a vida útil é definida como o período de tempo durante o qual as estruturas de concreto mantêm condições satisfatórias de uso, preenchendo as finalidades para as quais foi projetada, sem a necessidade de manutenção dispendiosa. A vida útil da construção como um todo depende igualmente do comportamento dos elementos estruturais de concreto armado e dos demais componentes incorporados à estrutura, porém, sem função estrutural, tais como: drenos, juntas, apoios, instalações etc.

De acordo com Alves (2007), a durabilidade do concreto depende principalmente da porosidade capilar, sendo função principalmente do tipo de aglomerante e relação água/cimento. Para Metha e Monteiro (2014), os poros de ar podem ser decorrentes de uma má vibração do concreto ou terem sido intencionalmente incorporados, no entanto, estes

reduzem bastante a resistência do concreto e aumentam a permeabilidade, agindo diretamente na durabilidade do material.

A boa qualidade do concreto depende além do tipo de aglomerante e da relação água/cimento, da cura e do grau de hidratação do cimento, sendo esses os principais parâmetros que regem as propriedades de absorção capilar de água, de permeabilidade, de migração de íons e de difusividade de água e de gases, assim como as propriedades mecânicas, resistência à compressão, à tração, módulo de elasticidade, abrasão, entre outras (HELENE, 1997).

No Brasil não havia um referencial sobre o prazo que deveria durar uma estrutura até o advento da NBR 15575 (ABNT, 2013) – Norma de desempenho de Edificações Habitacionais.

Segundo o CBIC (2013), é necessário que sejam atendidos simultaneamente os seguintes aspectos, para que a vida útil do projeto (VUP) seja atendida:

- Projetos adequados aos programas de necessidades, compatíveis com a VUP pretendida e bem detalhados;
- Emprego de materiais e componentes de qualidade compatível com a VUP;
- Execução com técnicas e processos que possibilitem a obtenção da VUP;
- Atendimento em sua totalidade aos cuidados pré-estabelecidos para se fazer uso correto do edifício;
- Utilização do edifício em concordância ao que foi previsto em projeto.
- As condições de exposição do edifício devem ser especificadas em projeto, a fim de possibilitar a análise de vida útil de projeto e da durabilidade do edifício e de seus elementos.

Segundo Vilasboas (2013) outra face da durabilidade das estruturas de concreto é a agressividade ambiental, que veremos no ítem a seguir.

### **2.3 Agressividade Ambiental**

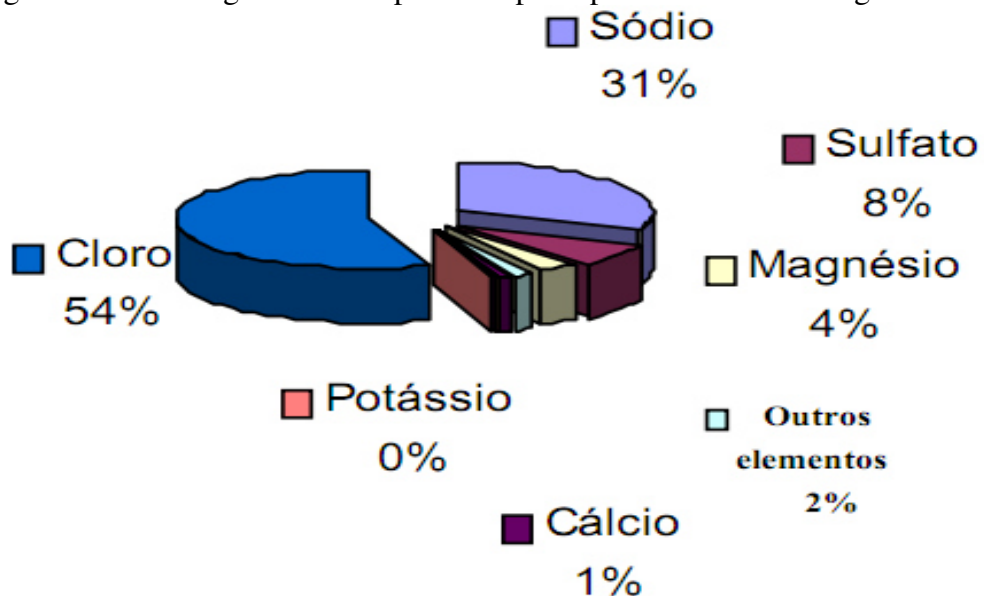
Para Vilasboas e Machado (2010), a agressividade ambiental é normalmente o termo utilizado para descrever o potencial de aporte de substâncias deflagradoras de processos oxidativos (principalmente oxigênio e cloretos) em estruturas de concreto armado. Para Brandão (1998), o estudo da agressividade ambiental visa conhecer o comportamento das estruturas e dos seus materiais componentes (concreto e aço) em face dos ataques por agentes externos agressivos presentes no meio ambiente, de modo que possam ser tomadas medidas preventivas de proteção, com o intuito de garantir a durabilidade das estruturas.

### 2.3.1 Ambiente marítimo

Segundo Pontes (2006), os primeiros estudos de durabilidade do concreto foram realizados em ambiente marítimo, pois é nesse meio em que diversos agentes agressivos atuam conjuntamente causando graves problemas de corrosão. Sabe-se que cerca de 71% da superfície da Terra é coberta por água, e deste total aproximadamente 97,4% está nos oceanos. A água dos oceanos é salgada, pois contem diversos minerais, dentre eles o cloreto de sódio.

Bebianno (2007), afirma que a água do mar é composta por mais 96,5% de água e os outros 3,5% composta por substâncias que podem ser introduzidas no oceano por processos físicos, químicos e biológicos. Na água se misturam e reagem um certo número de íons, dois quais se destacam o cloro e o sódio que se combinam e formam o cloreto de sódio (NaCl) e perfazem 85,6% de todos os sais dissolvidos na água do mar, conforme Figura 6.

Figura 6 - Porcentagem dos componentes principais dissolvidos na água do mar



Fonte: Bebianno (2007)

No Oceano Atlântico, as águas em sua maioria apresentam um teor total médio de sais de 3,5% (35 g/L), distribuídos conforme indicado na Tabela 6 (DIN 4030, 1991).

Tabela 6 – Principais íons presentes na água do Oceano Atlântico

Íons	Quantidade de Íons (mg/L)
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2.800
Mg <sup>++</sup>	1.300
Ca <sup>++</sup>	400
Cl <sup>-</sup>	19.900
Na <sup>+</sup>	11.000
K <sup>+</sup>	400
pH	> 8

Fonte: DIN 4030 (1991)

Verifica-se ainda que, segundo Forschhammer apud Biczók (1972), o cloreto de sódio perfaz um total de 78,32% em relação ao sal total encontrado na composição da água do mar, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Composição da água do mar

Sal	g/1000 mL de água	% em relação ao sal total
Cloreto de sódio	26,9	78,32
Cloreto de magnésio	3,2	9,44
Sulfato de magnésio	2,2	6,40
Sulfato de cálcio	1,3	3,94
Cloreto de cálcio	0,6	1,69
Outros (sulfato de potássio, bicarbonato de cálcio, etc.)	-	0,21
Total	34,3	100,00

Fonte: FORSCHHAMMER, s.d., apud BICZÓK (1972).

O concreto pode ser atacado tanto na pasta de cimento quanto no aço quando se trata de concreto estrutural. O principal agente que ataca o aço em ambiente marinho, segundo Helene (1986) apud Pontes (2006) é o cloreto, enquanto que os sais de magnésios e os sulfatos atacam a pasta de cimento, segundo Biczók (1972) e Mehta e Monteiro (2014).

### 2.3.1.1 Formação e transporte de aerossol marinho

Em regiões costeiras, segundo Romano (2009), todo o processo agressivo referente ao ingresso de cloretos nas estruturas de concreto que não se encontram diretamente em contato com a água do mar, inicia-se pela formação do aerossol marinho e seu transporte em direção à costa. Segundo McKay et al (1994), o aerossol marinho é formado, principalmente, na zona do mar próximo à costa onde ocorre a quebra de ondas (Figura 7). Nessa zona, com a quebra das ondas, são formadas bolhas pelo aprisionamento do ar na superfície da água. O vento causa a agitação da superfície do mar o que também gera bolhas de ar que explodem e formam gotículas de sal. Dessa forma, locais de mar agitado geram maior quantidade de aerossol e concentração salina.

A agitação das cristas das ondas produzem gotas, que segundo Fitzgerald (1991) e Taylor; WU (1992) são levadas ao continente pelo vento, além da formação do aerossol através da evaporação da água do mar, carregando consigo partículas de sal.

Figura 7 - Aerossol marinho



Fonte: Alves (2007)

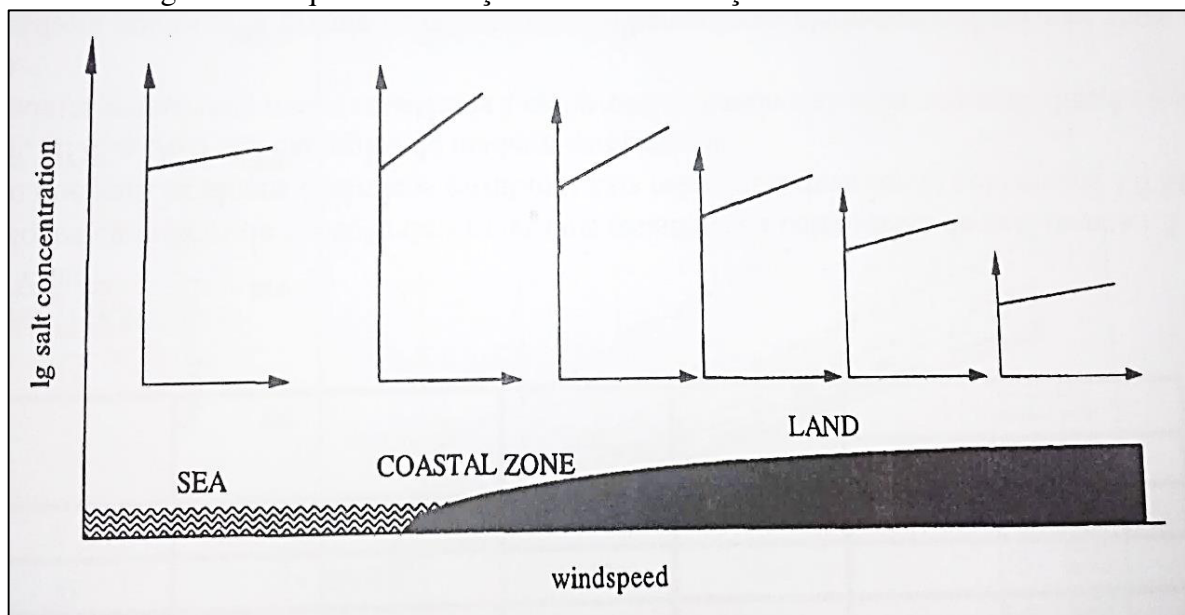
As gotas entram em equilíbrio com o ambiente e podem assumir forma de partículas salinas ou soluções salinas de diferentes concentrações. De acordo com Zezza e Macri (1995) entre 70% e 74% de umidade relativa, as gotículas supersaturadas se tornam sólidas. O aerossol marinho é transportado na direção do continente, e segundo Romano (2009) acaba sendo influenciado por alguns fatores ambientais em seu comportamento, os quais são discutidos mais a seguir.

#### 2.3.1.2 *Influência da velocidade e da direção do vento*

O processo de formação de aerossol está diretamente ligado à relação entre a velocidade do vento e a concentração de sais. Segundo Borba Junior (2011) estudos demonstram que a concentração salina cresce exponencialmente com a velocidade dos ventos.

Gustafsson e Franzén (1996) e Morcillo et al. (2000), declaram que o vento tem uma importante relação no transporte do aerossol em direção ao continente (Figura 8). As partículas maiores podem alcançar distâncias maiores antes de se depositarem.

Figura 8 - Esquema da relação entre concentração e velocidade do vento



Fonte: Gustafsson e Franzén (1996)

De acordo com Borba Junior (2011), quanto maior a intensidade do vento maior a concentração de cloretos na atmosfera. Mesmo quando chega ao continente o vento continua influenciando esta concentração. No entanto, outro fator a se levar em consideração além da velocidade do vento é a sua direção. Os ventos que são oriundos do mar atuam no aumento da concentração enquanto que os que são oriundos do continente são desconsiderados na composição.

Vários autores (Pontes, 2006; Borba Júnior, 2011; Taylor e WU, 1992, dentre outros) descrevem a existência da relação entre a velocidade do vento com a concentração salina no aerossol marinho, relação esta que pode ser descrita por uma função do tipo exponencial. Afirmam ainda que a quantidade de partículas no aerossol aumenta em decorrência da velocidade do vento.

No que diz respeito à velocidade dos ventos, alguns autores comentam sobre o valor de uma velocidade crítica, a partir da qual a geração e o transporte de partículas de sal

ocorreriam. Não há concordância, mas verifica-se que o valor de 3 m/s é o mais aceito pelos autores, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Valores de velocidade crítica

<b>Autor(es)</b>	<b>Velocidade crítica</b>
Spiel e Leew (1996)	7 – 11 m/s
Piazzola e Despiau (1997)	> 5 m/s
Fitzgerald (1991) O'Dowd et al. (1996) Morcillo et al. (2000) Meira (2007 <sup>a</sup> ) Pontes (2006)	> 3 m/s

Fonte: Borba Júnior (2011), com adaptações.

### 2.3.1.3 *Influência da distância em relação ao mar*

Um importante aspecto relatado por Gustafsson e Franzén (1996), apud Borba Júnior (2011), e por diversos outros autores é que a concentração salina diminui à medida que se afasta do mar. Isto ocorre porque as partículas são formadas continuamente no mar, o que não permite a diminuição da concentração de cloretos na atmosfera. Contudo, ao chegar à costa, com a ação da gravidade e devido à diversidade de obstáculos, as partículas logo se depositam. No entanto com o aumento da velocidade do vento, estas partículas podem chegar mais longe, mas o efeito gravimétrico é dominante.

Vários estudos realizados no Brasil e em outros países, conforme lista da Tabela 8, comprovam a influência da distância em relação ao mar. Em todos os estudos verifica-se o decréscimo exponencial a partir dos primeiros metros de distância em relação ao mar.

Tabela 8 - Estudos que abordam a influência da distância com a concentração

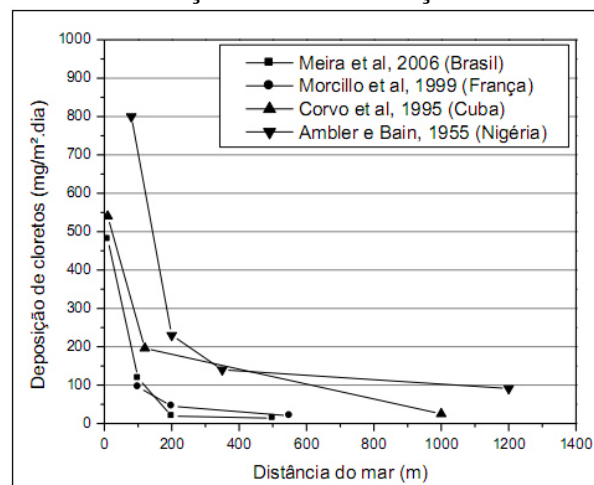
<b>País</b>	<b>Referência</b>
-------------	-------------------

	Sica (2006)
	Albuquerque e Otoch (2005)
	Portella (2013)
	Meira e Padaratz (2002)
	Pontes (2006)
	Alves (2007)
	Costa (2001)
	VilasBoas (2013)
	Borba Jr (2011)
	Vitalle (2013)
	Garcia, Padaratz e Szpoganicz (2007)
Nigéria	Ambler and Bain (1955)
Espanha	Morcillo et al (2000)
Holanda	Ten Harkell (1997)
França	Despiou at al (1991)
Malásia	Mustafa and Yosof (1994)
Bangladesh	Khandaker, Hossain and Easa (2011)
Coréia do Sul	Lee and Moon (2005)
Havaí	Suzuki (2011)
Cuba	Castañeda et al (2012)
México	Castañeda et al (2012)

Fonte: Própria autora

A maioria dos estudos demonstram que a concentração decai drasticamente após os primeiros 200 metros de distância do mar. Conforme exemplo apresentado na Figura 9, referente a estudos realizados no Brasil, França, Cuba e Nigéria, compilado por Borba Junior (2011).

Figura 9 - Concentração salina em relação à distância ao mar

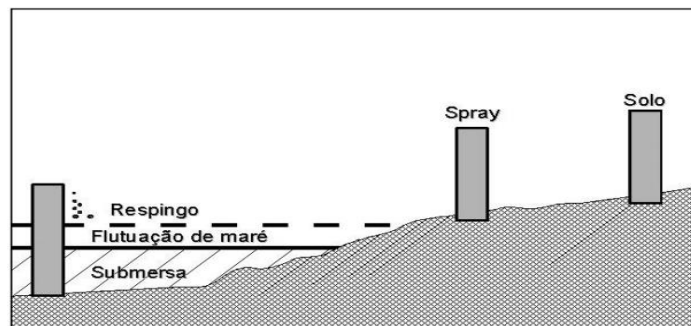


Fonte: Borba Junior (2011)

### 2.3.2 Classes de agressividade ambiental

Segundo Borba Júnior (2011), os ambientes marinhos podem ser divididos em zonas de agressividade ao concreto, conforme a posição em que a estrutura está localizada. Swamy, Hamada e Laiw (1994) classificaram cinco zonas distintas de agressividade (Figura 10), conforme descrição abaixo.

Figura 10 - Zonas de agressividade ao concreto de acordo com a localização



Fonte: Swamy, Hamada e Laiw (1994) apud Borba Júnior (2011)

- Zona submersa: o concreto fica sempre abaixo do nível do mar e a fonte de cloretos é a própria água. Apresenta maior concentração de cloretos, mas a pouca presença de oxigênio não permite a corrosão.
- Zona de flutuação de maré: o concreto fica num local intermediário, entre os níveis máximos e mínimos do mar, sofrendo ciclos de molhagem e secagem de acordo com a maré. Há alta concentração de cloretos e presença de oxigênio. É a mais agressiva das zonas.
- Zona de respingo: o concreto fica acima do nível do mar e bem próximo desse, e recebe os respingos do movimento da maré. É a 2ª mais agressiva.
- Zona de spray: o concreto fica hora em zona de respingo, quando os ventos estão fortes, hora em zona de solo, com os ventos fracos.
- Zona de solo: o concreto recebe apenas a névoa formada pelo aerossol marinho. Está numa faixa a partir de 10m a 20m de distância ao mar.

Mehta e Manmohan, 1980; CEB, 1992; Barbudo, 1992; Helene, 1993; Mehta e Monteiro, 1994; Guimarães, 2000 fazem a correspondência entre o tipo de deterioração com a localização da estrutura conforme apresentado por Andrade (2001) na Tabela 9.

Tang e Andersen (2000) também sugeriram uma divisão para as faixas de agressividade marinha. Esses autores classificaram as regiões como zona submersa, zona de respingo e zona de atmosfera (equivalente à zona de solo da definição anterior). A NBR 6118

(ABNT, 2014), por sua vez, diz que a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

Tabela 9 – Correspondência entre a localização da estrutura e o tipo de deterioração

Área	Características	Tipo de deterioração
Zona de atmosfera marinha (névoa salina)	O concreto nunca está diretamente em contato com a água do mar, porém é atingido pela névoa salina que vem do oceano. O nível de cloretos pode cair à medida que as construções se afastam do mar, mas, em alguns casos, dependendo do tipo da costa e da direção preferencial dos ventos, a névoa salina pode penetrar até muitos quilômetros do litoral.	Correção da armadura induzida por cloretos; Danos causados pelo efeito do frio.
Zona de respingo de marés	Localiza-se acima do nível da maré alta, estando sujeita a ação direta da água do mar através da molhagem do concreto pelas ondas. Essa área é uma das mais sujeitas à deterioração através da penetração de agentes agressivos pelo cobrimento de concreto. O teor de umidade, juntamente com a presença de oxigênio, são fatores que contribuem para a deterioração das estruturas.	Correção da armadura induzida por cloretos; Abrasão pela ação do impacto das ondas; Danos causados pelo efeito do frio.
Zona de variação das marés	O concreto está submetido à ação dos ciclos de molhagem/secagem, onde há uma combinação dos mecanismos de absorção e difusão de íons no concreto, retendo uma grande quantidade de cloretos no interior do material. Além disso, existe o efeito físico do choque das ondas e partículas em suspensão, que podem causar lascamentos das camadas superficiais do material.	Correção da armadura induzida por cloretos; Abrasão pela ação das ondas, gelo ou outros objetos; Ataque biológico causado por microorganismos; Ataque químico ao concreto.
Zona submersa	O processo de difusão de cloretos é o único mecanismo de transporte atuante. Contudo, o concreto pode estar sujeito à ação de ataques químicos, principalmente por íons magnésio ou sulfato.	Ataque químico ao concreto; Ataque biológico causado por microorganismos.

Fonte: Andrade (2001)

Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado no Quadro 4 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Quadro 4 - Classe de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da Estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1</sup> <sup>2</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1</sup>	Grande
		Industrial <sup>1</sup> <sup>2</sup>	
IV	Muito Forte	Industrial <sup>1</sup> <sup>3</sup>	Elevado
		Respingo de Maré	
<sup>1</sup> - Pode-se admitir um microclima com classe de agressividade um nível mais branda para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).			
<sup>2</sup> - Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegida da chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.			
<sup>3</sup> - Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Fonte: ABNT 6118 (2014)

Para Alves (2007), ao analisar este quadro de classe de agressividade ambiental (Quadro 4), vê-se que a classificação ambiental é genérica, ficando sujeita a interpretações próprias do projetista, que pode subjetivamente adotar uma ou outra classificação, expondo às vezes a estrutura a uma agressividade à qual não está adequada. É necessária uma análise criteriosa dos microclimas no qual a estrutura será inserida para dar suporte ao projetista na identificação de possíveis manifestações patológicas associadas, a fim de que o mesmo utilize mecanismos de proteção em seu projeto.

A NBR 12655 (ABNT, 2015), faz uma correspondência entre a classe de agressividade com a qualidade do concreto, conforme segue no Quadro 5. A NBR 6118 (ABNT, 2014), também faz esta correspondência, no entanto não traz o consumo de cimento.

Quadro 5 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

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 (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto kg/m <sup>3</sup>	CA e CP	$\geq 260$	$\geq 280$	$\geq 320$	$\geq 360$
NOTA: CA componentes e elementos estruturais de concreto armado; CP componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015)

A classificação da agressividade ambiental nos permite verificar o risco de deterioração da estrutura, conforme análise feita por Helene (1995) na Tabela 10.

Tabela 10 - Risco de deterioração da estrutura

Classe de Agressividade	Agressividade	Risco de Deterioração da Estrutura
I	Fraca	Insignificante
II	Média	Pequeno
III	Forte	Grande
IV	Muito Forte	Elevado

Fonte: Helene (1995)

A NBR 12655 (ABNT, 2006) estabelece o teor máximo de íons cloro no concreto em porcentagem sobre a massa de cimento, para a proteção das armaduras de aço no concreto, apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Teor máximo de íons cloro para proteção das armaduras de concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloro no concreto % sobre a massa de cimento
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40
Outros tipos de construção com concreto armado	0,30

Fonte: NBR 12566 (ABNT, 2006)

A NBR 6118 (ABNT, 2014) faz uma correspondência entre a classe de agressividade ambiental com o cobrimento nominal, que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução, que está apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - Correspondência entre classe de agressividade e o cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de Agressividade			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> A Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para o concreto armado.

<sup>b</sup> 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, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitando um cobrimento nominal  $\geq 15$ mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$ mm.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Apesar da NBR 6118 (ABNT, 2014) apresentar as classes de agressividade ambiental, não se verificou na literatura uma metodologia normatizada para classificação das zonas da cidade por classe de agressividade de acordo com a concentração do teor de cloretos no ar atmosférico, o que deixa a classificação de forma subjetiva, de acordo com a análise do projetista.

### 3 MATERIAIS E MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos de ensaios utilizados nesta pesquisa e a descrição dos equipamentos utilizados, para determinação do teor de cloretos no ar atmosférico de Fortaleza, bem como para a determinação do teor de cloretos penetrado no interior do concreto e a caracterização climatológica da cidade.

O fluxograma apresentado na Figura 11, resume as diferentes etapas da realização desta pesquisa e posteriormente cada etapa está descrita de forma detalhada.

#### 3.1 Mapeamento e localização dos pontos de coleta de dados

A cidade de Fortaleza está situada no norte do Brasil, capital do estado do Ceará e tem características semelhantes às que ocorrem em todo o litoral do Brasil. O clima é quente, com temperatura anual média de 26,5 °C. A cidade está localizada no litoral e tem uma extensão de 34 quilômetros, com um total de 15 praias, todas estas produtoras de íons cloro que ficam disseminados no ar atmosférico. Com a finalidade de classificar a cidade quanto à agressividade ambiental oriunda de íons cloro escolheram-se pontos para coleta de dados conforme os parâmetros: área de abrangência, época de coleta, número de coletores e locais de instalação do equipamento.

A localização dos pontos de coleta de dados pelo método da vela úmida na cidade de Fortaleza/CE foi determinada de forma que os pontos fossem distribuídos de forma homogênea pela cidade, com intuito de coletar dados na maior área possível, no entanto houve uma concentração maior de pontos nas proximidades da faixa litorânea, haja vista que a revisão de literatura demonstrou que esta é a área com maior concentração de íons cloro.

A distribuição foi feita a partir da projeção de uma linha correspondente à margem da cidade com o mar. Projetou-se linhas distanciando-se desta projeção nas distâncias: 50m (cinquenta metros); 250m (duzentos e cinquenta metros); 500m (quinhentos metros); 1000m (mil metros); 2000m (dois mil metros); 4000m (quatro mil metros); 6000m (seis mil metros); e 8000m (oito mil metros).

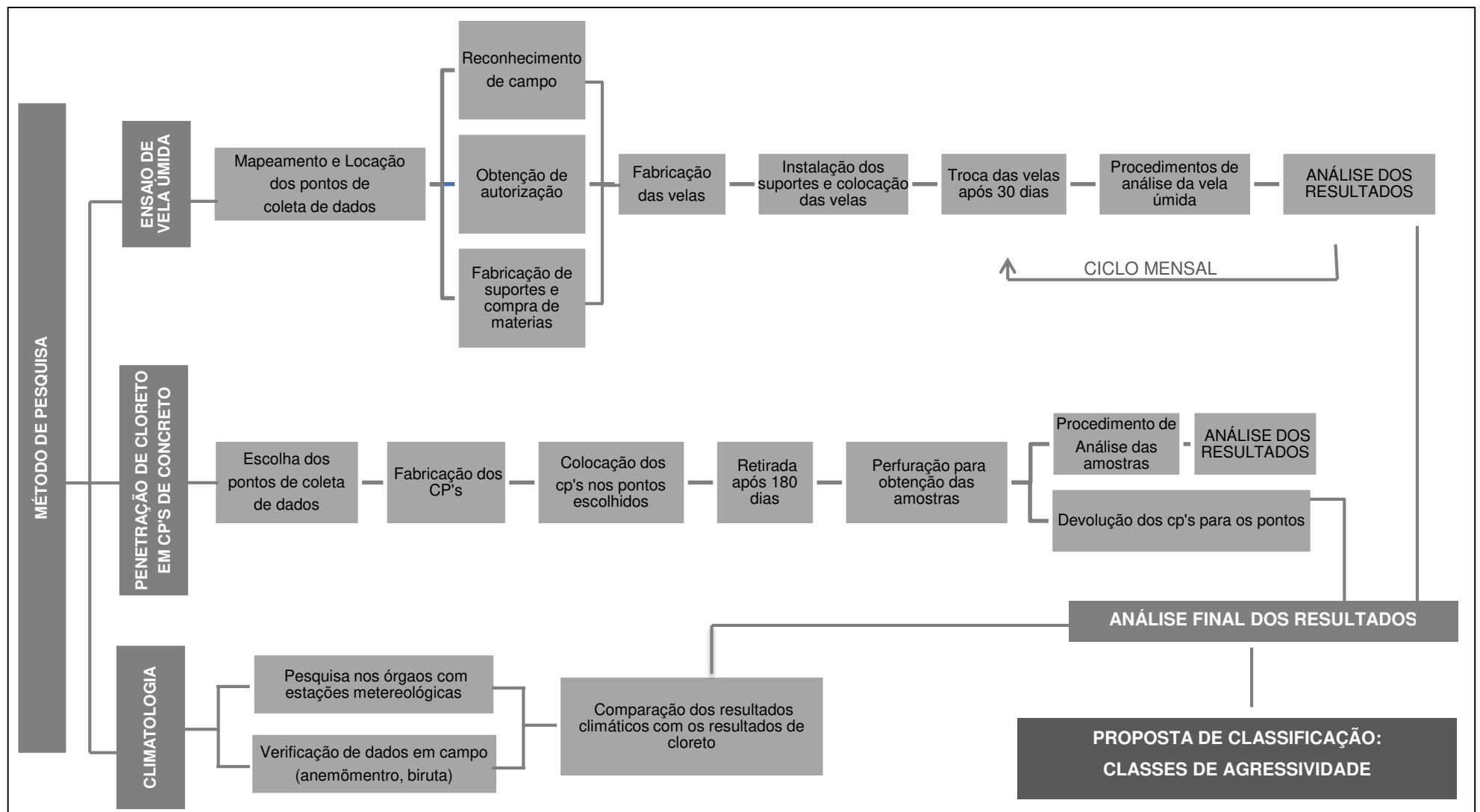


Figura 11 – Fluxograma de organização da pesquisa



Linha 01 – P01, P02, P03, P04, P05, P06, P07 e P08;

Linha 02 – P09, P10, P11, P12, P13, P14, P15 e P16;

Linha 03 – P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23 e P24;

Linha 04 – P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31 e P32;

Linha 05 – P33, P34, P35, P36, P37, P38 e P40;

Linha 06 – P41, P42, P43, P44, P45 e P46.

O polígono que demarca a área de estudo tem origem na linha 01 que se inicia na Av. Leste Oeste na área pertencente à Marinha do Brasil e vai até à Av. Osório de Paiva. E finaliza na Linha 06, que se inicia na Barraca do Pipoca na Praia do Futuro e vai até o Colégio Christus na Av. Maestro Lisboa.

O ponto número 47 foi locado dentro do LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFC (Universidade Federal do Ceará) no campus do Pici, para a realização do ensaio em branco. Este ensaio é feito para servir de referência na determinação de íons cloro presente nas outras velas expostas na cidade. Após a distribuição e locação dos pontos no mapa da cidade de Fortaleza/Ce fez-se a localização destes pontos no Google Earth onde pôde-se encontrar as coordenadas para localização exata destes pontos, conforme Figura 13.

De posse da localização exata passou-se para a fase de reconhecimento de campo através da visitação em cada um dos 46 pontos para verificação do local e da viabilidade de instalação das velas.

Durante as visitas verificou-se a necessidade de relocação de alguns pontos, devido a fatores variados, dentre eles:

- Inacessibilidade física – como exemplo na região da Sabiaguaba, onde não foi possível chegar ao local exato do P43, por ser uma área de mata sem acesso;
- Periculosidade - haja vista que os pontos estavam situados em zonas de alta criminalidade da cidade, como nos bairros do Cais do Porto (P25), Titanzinho (P26), Vicente Pizon (P28), Serrinha (P16), Sabiaguaba (P44) e o P37 que caiu na área onde acontece o Cidade Fortal, onde não havia nenhuma edificação, então foi relocado para um depósito próximo;
- Falta de autorização – Quando não houve autorização para a instalação dos pontos no local exato, então foram transferidos para o ponto mais próximo possível, com exceção do P39 que foi excluído pois não se obteve autorização no local específico e nem nas adjacências;

Figura 13 - Mapeamento com localização final dos pontos



Fonte: Elaborado pela autora

Concomitante à fase de reconhecimento de campo, iniciou-se a fase de obtenção de autorização. Os pontos ficaram distribuídos em edificações com diversos tipos de usos diferentes, tais como: residências, condomínios residenciais, lojas, escolas públicas e privadas, empresas privadas, área do exército, área da marinha, dentre outros, sendo que para cada um destes, o processo para pedido de autorização se deu de forma diferente, o que demandou tempo.

Após este processo de localização dos pontos, reconhecimento de campo e obtenção de autorização, alguns deslocamentos foram necessários, mas foram feitos procurando não ultrapassar um raio maior de que 100 metros, mas houve algumas exceções como o P23, que caiu em uma área pertencente à Base Aérea Brasileira e precisou ser relocado para a escola mais próxima. O P36, P45 e P15 foram locados em residências que não autorizaram e foi necessário relocar por uma média de 200m e o P44 sendo que este que precisou ser relocado por uma distância maior que 200m, devido à periculosidade por se situar em uma área de invasão, dentre outros casos. Pôde-se então chegar à localização real de cada ponto a ser pesquisado, conforme demonstrado na Figura 13, com endereço e coordenadas definidas, conforme apêndice B. Paralelo a este processo de reconhecimento de campo e obtenção de autorização iniciou-se a compra dos materiais e a fabricação dos suportes metálicos que foram utilizados no experimento.

## 3.2 Ensaio pelo método da Vela Úmida

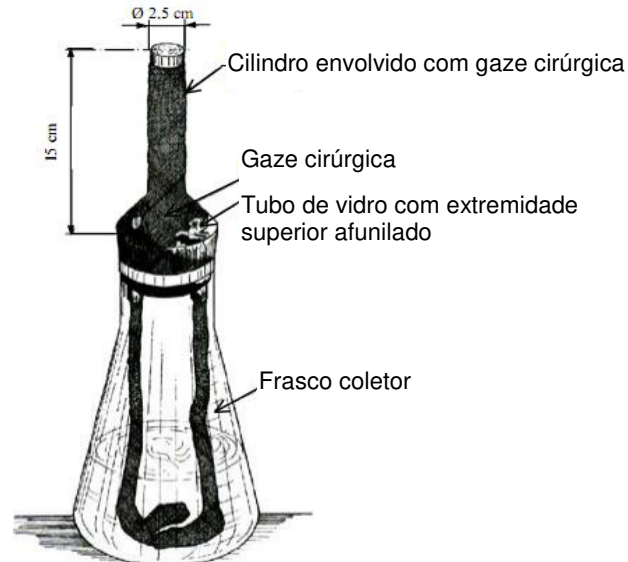
### 3.2.1 Materiais e Fabricação das velas úmidas e suportes metálicos

Velas úmidas (

**Figura 14)** foram utilizadas para se determinar o teor de íons cloro em suspensão e disseminados no ar atmosférico da cidade e foram fabricadas conforme a NBR 6211 (ABNT, 2001), que por sua vez está fundamentada na norma americana ASTM D512 – 89 (ASTM, 1989). A vela era composta por um tubo envolvido com gaze cirúrgica e fixado a um frasco coletor por meio de uma tampa plástica. O tubo utilizado foi de PVC, que possui cloro em sua composição, no entanto, o cloro do tubo de PVC está quimicamente ligado na molécula do

polímero e não em forma livre, logo só poderá haver liberação de ácido clorídrico (HCl) se o tubo ficar exposto a temperaturas acima de 100 °C por períodos prolongados.

Figura 14 - Vela Úmida



Fonte: ABNT NBR 6211, 2001

O tubo era de aproximadamente 2,5 cm de diâmetro, sobre o qual foi enrolada uma camada dupla de gaze cirúrgica, conforme Figura 15. A área da superfície da gaze exposta à atmosfera foi de aproximadamente 100 cm<sup>2</sup> e foi cuidadosamente determinada e expressa em metros quadrados (S). O tubo foi introduzido numa tampa plástica, ficando com uma altura de 15 cm acima desta.

A tampa possuía dois furos localizados o mais próximo possível do tubo, pelos quais passavam as extremidades da gaze, que atingiam o fundo do frasco. O frasco coletor utilizado foi um Erlenmeyer de vidro, com aproximadamente 1000mL de capacidade, conforme Figura 16.

Figura 15 – Preparação dos materiais utilizados na fabricação da vela



Fonte: Própria autora

Figura 16 - Vela Úmida fabricada no LMCC



Fonte: Própria autora

A vela foi preparada em local isento de contaminantes e com luvas de PVC, por isto, a preparação se deu em uma sala dentro no Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC, da Universidade Federal do Ceará, no campus do Pici.

Concomitante à fabricação das velas, fabricou-se os suportes metálicos, Figura 17, em atendimento a NBR 6211 (ABNT, 2001), para a colocação das velas. A norma recomenda que esteja a uma altura mínima de 1m acima do nível do solo e em posição mais alta que todos os obstáculos localizados num raio de 3 m.

A vela foi protegida por meio de uma cobertura feita com uma chapa metálica de 50 cm x 50 cm, como também e ser colocada numa posição central e a uma distância de 20 cm do topo da cobertura.

Para o desenvolvimento do trabalho o suporte foi projetado, primando pela orientação da norma, com os seguintes materiais, conforme Figura 17.

- Barra metálica de 10 x 10 mm, com altura de 130cm, para o suporte;
- Chapa metálica de 1/8" de 50 x 50 cm para a cobertura;
- Chapa metálica de 1/4" de 30 x 30 cm para o apoio.

Figura 17 - Suporte metálico para colocação da vela



Fonte: Própria autora

### ***3.2.2 Instalação e exposição***

Após a fabricação das velas e suportes passou-se para a fase de instalação nos 46 pontos.

O tipo de colocação do suporte variou de acordo com o local em que foi instalado, podendo ser em parede ou laje. No caso de parede ele foi parafusado (Figura 18) e a vela foi amarrada com arame (Figura 19a) e no caso de laje ele foi colocado sobre a laje sendo apoiado com o peso da vela que foi colocada no suporte dentro de um recipiente plástico com areia e/ou brita (Figura 19a), oferecendo mais estabilidade para o frasco coletor e para proteção contra os ventos, evitando desequilíbrio e queda.

Durante esta fase foi necessário à divisão dos pontos em duas fases distintas de instalação, devido a dificuldades como disponibilidade do responsável do local, bem como a logística para ter acesso a todos os pontos e o tempo necessário para instalação.

Figura 18 - a) Perfuração para colocação do suporte (P26), b) suporte colocado na parede (P05)

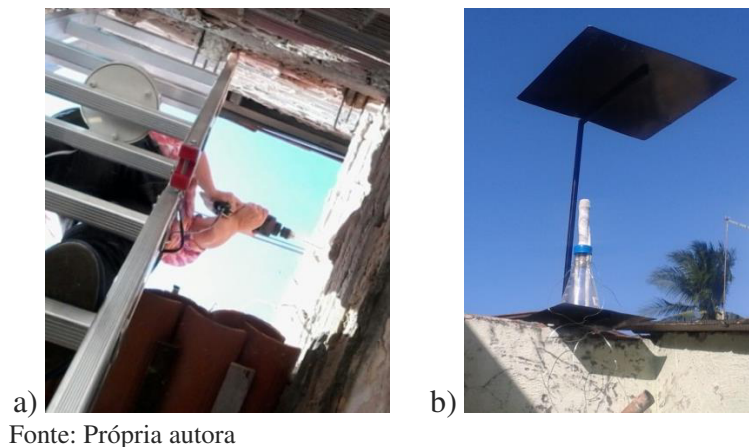
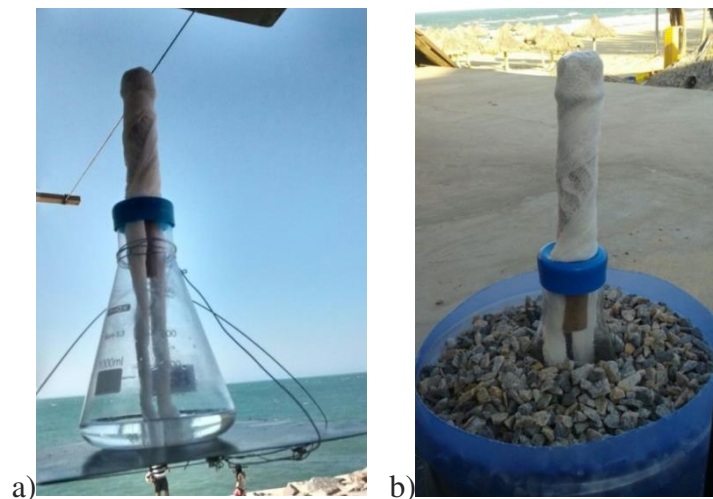


Figura 19 – a) Vela fixada com arame (P25), b) Vela em recipiente plástico (P33)



Fonte: Própria autora

Na primeira fase de colocação, que ocorreu entre os dias 19 à 28 de outubro de 2015, foram definidos como prioridade os pontos das distâncias: 50m (P01, P09, P17, P25, P33 e P41), 250m (P2, P10, P18, P26, P34 e P42), 500m (P03, P11, P19, P27, P35 e P43), 1000m (P04, P12, P20, P28, P36 e P44), 2000m (P05, P13, P21, P29 e P37), e 4000m (P06, P14, P22, P30, P38).

Na segunda fase, que ocorreu entre os dias 03 à 05 de novembro de 2015, foram colocados os pontos das distâncias 6000m (P07, P32 e P45) e 8000m (P08, P16, P24 e P46). Os demais pontos foram colocados durante o processo de troca das velas devido à falta de autorização em tempo hábil, como os pontos P15, P23 e P40.

Foi necessária a recolocação de algumas velas, como no P44, onde a vela foi furtada, e no P43, onde ficou inviável a realização das trocas por indisponibilidade de horário do proprietário do imóvel, o que comprometeu posteriormente o resultado individual destes pontos por alguns meses.

Apesar da instalação ter sido realizada em duas fases diferentes, o cronograma de trocas foi planejado visando à compatibilização das fases com o decorrer dos meses, sem afetar o tempo de exposição, pois se utilizou a diferença dos  $\pm 3$  dias previsto em norma, para fazer esta compatibilização, conforme é demonstrado no cronograma no apêndice C.

Após a fase de instalação dos suportes e colocação das velas passou-se para a fase de troca das velas. Após um período de aproximadamente 30 dias iniciou-se novamente o processo de fabricação das 46 velas para ser feito a substituição no ponto de coleta de dados, Figura 20.

Figura 20 – Velas fabricadas para substituição mensal



Fonte: Própria autora

### 3.2.3 Procedimento de análise

As velas foram trocadas a cada aproximadamente 30 dias, durante o período dos doze meses, de novembro de 2015 a outubro de 2016, onde se retirava a vela que havia ficado exposta e colocava-se uma nova.

A vela recolhida era levada para o LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFC, para a realização do ensaio de determinação de cloretos solúveis em água contida nas amostras, conforme os procedimentos normativos. Os reagentes que foram utilizados atenderam o disposto na NBR 6211 (ABNT, 2001), a fim de determinar o teor de cloretos.

As soluções-padrão de nitrato de mercúrio, cloreto de sódio, indicador misto e hidróxido de sódio foram feitas no LABOSAN – Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará, com o auxílio da equipe técnica do laboratório.

O procedimento adotado para determinação do teor de cloretos esta apresentado na sequência de fotos da Figura 21 e descrito abaixo:

- a) Retirou-se da gaze e recolheu-se todo o líquido do Erlenmeyer;
- b) Lavou-se a gaze e juntou-se as águas de lavagem e adicionou-se água destilada até completar 900ml;
- c) Retirou-se uma alíquota de 50ml e adicionou-se os reagentes na sequência que a norma descreve.
- d) Titulou-se a alíquota com nitrato de mercúrio 0,0125M até obter a coloração violeta.

Figura 21 - Procedimento





Fonte: Própria autora

De posse desses dados os resultados foram expressos em massa de cloreto por unidade de área e por unidade de tempo. Através da Equação 2, conforme NBR 6211 (ABNT, 2001).

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

Onde:

A: volume gasto de solução-padrão de nitrato de mercúrio com a alíquota, em mililitros;

B: volume gasto de solução-padrão de nitrato de mercúrio com o branco, em mililitros;

M: concentração de solução-padrão de nitrato de mercúrio, em molaridade;

VT: volume total da amostra após a diluição, em mililitros;

Va: volume de alíquota, em mililitros;

S: área da gaze exposta, em metros quadrados;

t: tempo de exposição, em dias.

De acordo com Portella (2013), o princípio do método consiste na titulação de íon cloro, resultante da absorção em água contendo glicerol, com solução diluída de nitrato de mercúrio na presença do indicador misto de difenilcarbazona e azul-de-bromofenol. O ponto de titulação é indicado pela formação do complexo mercúrio-difenilcarbazona, de cor azul-violeta. Os resultados são expressos em massa de cloreto por unidade de área e por unidade de tempo, calculados conforme a NBR 6112 (ABNT, 2001).

Este processo de fabricação, substituição das velas e análise dos resultados passou-se a se repetir mensalmente durante todo o período do experimento, conforme cronograma apresentado no apêndice C.

### 3.3 Determinação do teor de cloretos em corpos de prova de concreto

Foram escolhidos 12 pontos, dentro da malha de 46 pontos, para a coleta de dados. Para isto foram fabricados corpos de prova de concreto e colocados ao lado das velas úmidas. Os pontos escolhidos correspondem a duas linhas, uma na Praia de Iracema (P01, P02, P03, P04, P05 e P06) e a outra na Praia do Futuro (P33, P34, P35, P36, P37 e P38). Conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Pontos de exposição dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pela autora

Ficaram expostos em cada um dos 12 pontos de coleta de dados, 1 corpo de prova fabricado com o cimento CP IV e 1 corpo de prova fabricado com o cimento CP IIF, para medição da agressividade e comparação do comportamento entre fabricantes.

Figura 23: Cp's que foram fabricados



Fonte: Própria autora

Para a fabricação dos corpos de prova foi utilizado um traço de concreto já dosado no laboratório (Tabela 12), cujas características dos agregados e cimentos estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 12 – Traço utilizado

Material	Consumo (Kg/m <sup>3</sup> )
Areia	811,62
Brita	1022,16
Água	176,58
Cimento CP IV	339,59
Cimento CP II F 32	339,59

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 13 - Características dos agregados e cimentos

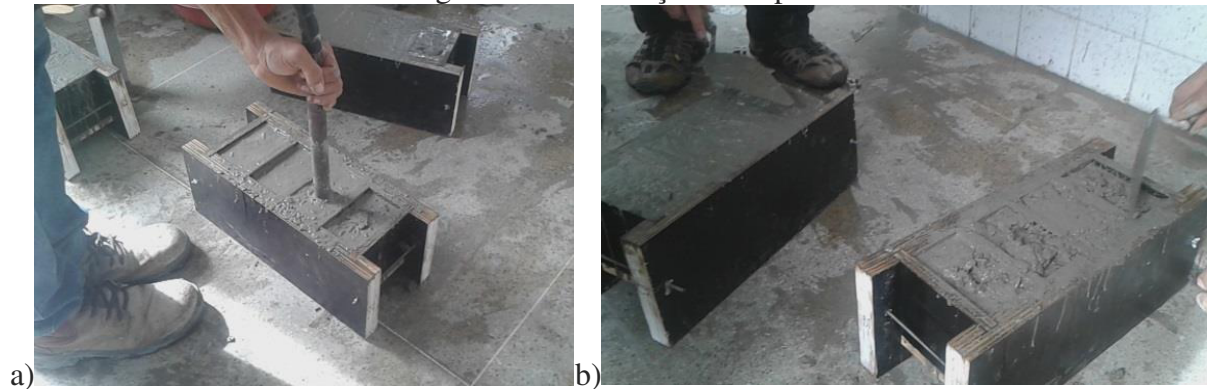
Material	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Unitária solta (g/cm <sup>3</sup> )	DMC (mm)	MF	Absorção (%)
Areia	2,55	1,41	4,8	2,67	0,52
Brita	2,64	1,42	25	7,28	0,85
Cimento CP IV 32	2,82	-	-	-	-
Cimento CP II F 32	2,90	-	-	-	-

Fonte: Elaborada pela autora

A moldagem dos corpos de provas (cp's) foi realizada em formas de madeira, com o auxílio de um vibrador mecânico de imersão (Figura 24a e b), conforme as prescrições da

NBR 5738 (ABNT,2008) - *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*, e curados ao ar livre por 48h, em ambiente natural em laboratório, à temperatura ambiente, variando entre 26°C e 28°C.

Figura 24 - Fabricação dos cp's

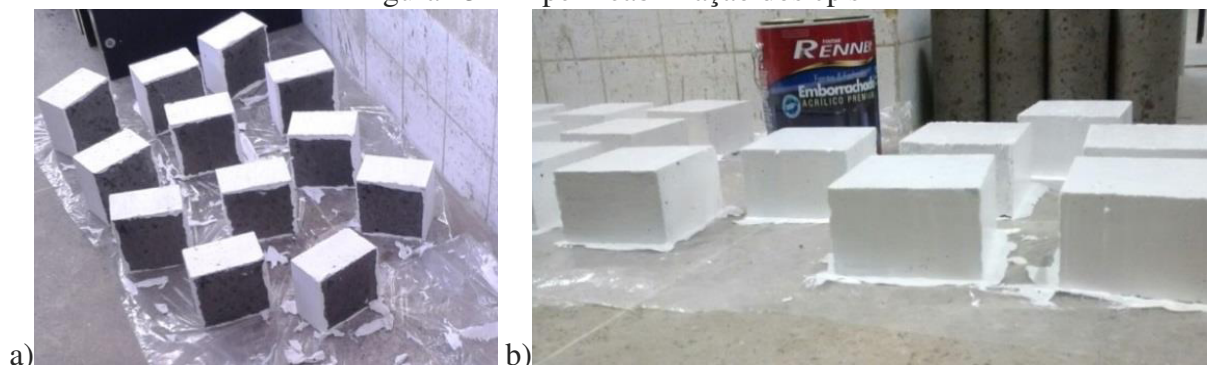


Fonte: Própria autora

Os ensaios de compressão axial realizados nos corpos de prova utilizados nos experimentos foram realizados de conformidade com as prescrições da NBR 5739 (ABNT, 2007). A determinação da resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) dos concretos dosados foi obtida de conformidade com a norma NBR 12655 (ABNT, 2006), onde se verificou a resistência de 30 MPa aos 28 dias.

Após a cura dos corpos de prova prismáticos, estes foram impermeabilizados em todas as faces com exceção de uma face que ficou exposta na direção do mar (Figura 25a e b), com tinta impermeabilizante, pois forma uma película impermeável que acompanha a dilatação e retração da parede assegurando proteção contra intempéries, inclusive maresia.

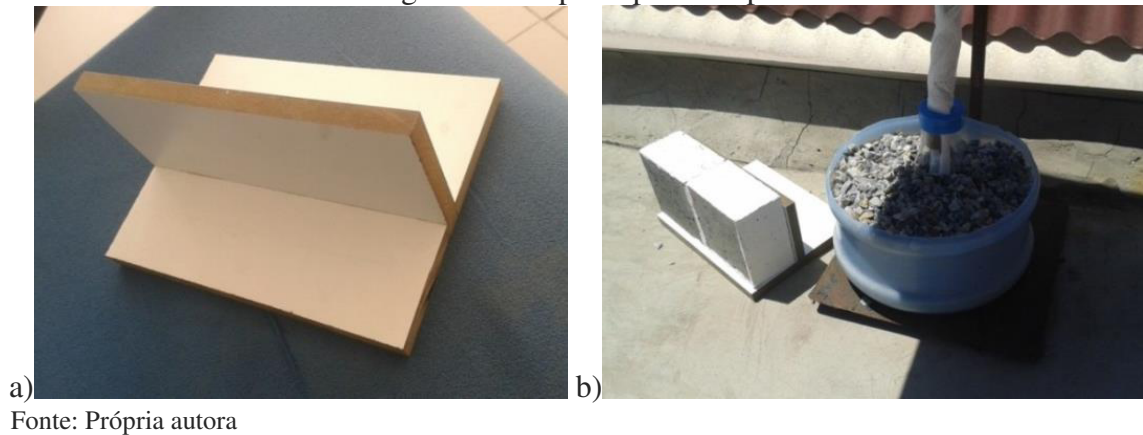
Figura 25 - Impermeabilização dos cp's



Fonte: Própria autora

Os corpos de prova foram colocados em um suporte fabricado com MDF naval de 25 mm de espessura (Figura 26), para evitar que o bloco virasse, devido as grandes rajadas de vento durante o período de exposição.

Figura 26 - Suporte para os cp's



Fonte: Própria autora

Todos os corpos de prova foram posicionados ao lado da vela úmida ao ar livre, sujeitos à ação das intempéries, incluindo névoa salina. Foi realizado, em cada corpo de prova, o ensaio de determinação de cloreto pelo método do íon seletivo, conforme NBR 14832 (ABNT, 2002). Após a exposição de seis meses os corpos de prova foram recolhidos para a primeira análise.

Os blocos foram levados ao laboratório de mecânica do IFCE - Instituto Federal do Ceará, onde foram perfurados e coletado o pó do material a ser analisado. Nesta etapa foi utilizada a furadeira de coluna, conforme Figura 27, para fazer a perfuração em cada corpo de prova, sendo que esta possuía um dispositivo que mantinha a velocidade de perfuração constante e predeterminada no equipamento. As perfurações foram feitas com uma broca de vídea rotatória de 22mm de diâmetro, que pulverizava o concreto (Figura 28a), gerando pó suficiente para a coleta de mais de 5g de amostra (Figura 28b). As amostras foram coletadas com 10mm 20mm e 30 mm de avanço de perfuração e acondicionada em sacos plásticos etiquetados, conforme Figura 28.

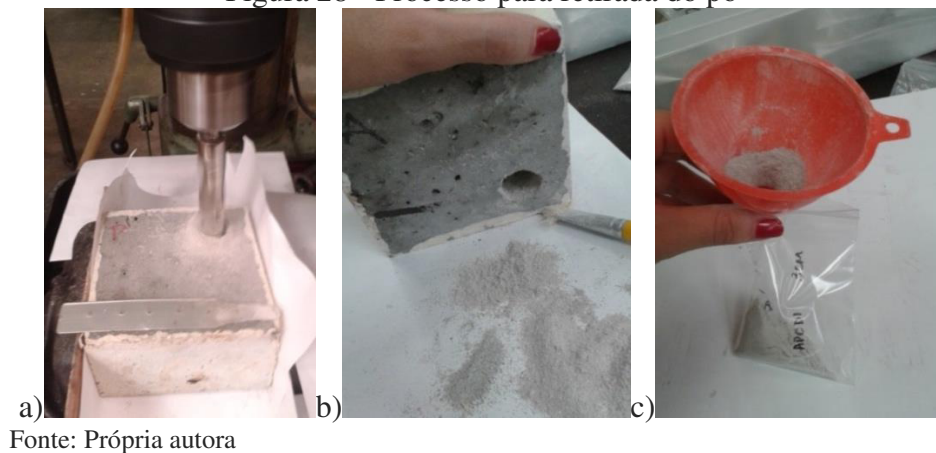
Após este processo de coleta e perfuração, os furos nos blocos foram preenchidos com adesivo epóxi, e posteriormente foram devolvidos para os seus locais de origem onde ficaram expostos por mais um período de seis meses, quando então foram coletados novamente para a realização de novos ensaios.

Figura 27 - Furadeira de Coluna - IFCE



Fonte: Própria autora

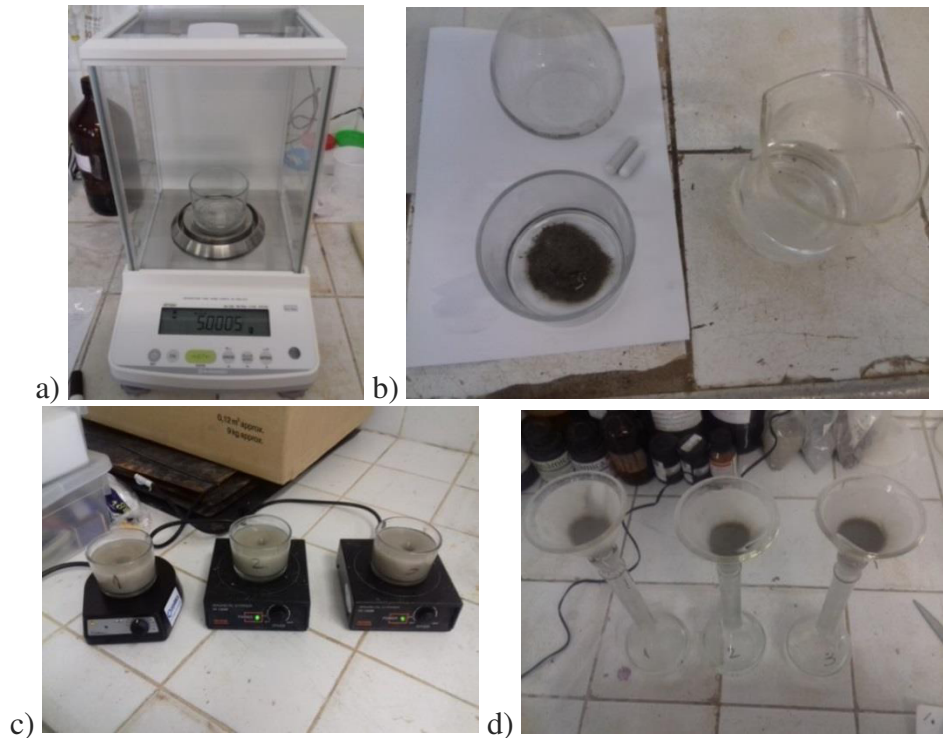
Figura 28 - Processo para retirada do pó



Fonte: Própria autora

Após a coleta das amostras, seguiu-se o procedimento C descrito na NBR 14832 (ABNT, 2002) onde se pesou  $5,000\ 0 \pm 0,001\ 0$  g de amostra e transferiu-se para um béquer, onde se adicionou  $100\ \text{cm}^3$  de água destilada quente, e misturou-se através de agitador magnético por cerca de 10 minutos. Após esta mistura filtrou-se em papel de filtração média para um balão volumétrico de  $250\ \text{cm}^3(\text{V})$ , lavando com água quente. Adicionou-se ao balão  $3\ \text{cm}^3$  de  $\text{HNO}_3$  (Ácido Nítrico), esfriou-se a temperatura ambiente e completou-se o volume com água e homogeneizou-se. Este processo está apresentado na sequência de fotos da Figura 29.

Figura 29 - Procedimento C - NBR 14832 (ABNT, 2002)



Fonte: Própria autora

Seguindo as orientações da norma, após a execução do procedimento C, fez-se a determinação do Slope, onde se misturou uma amostra de 50 cm<sup>3</sup> da água destilada com 50 cm<sup>3</sup> da solução KNO<sub>3</sub> (Nitrato de Potássio). Nesta solução imergiu-se o eletrodo, e adicionou-se 1cm<sup>3</sup> da solução-padrão de cloreto 100 ppm, o que deu o valor do potencial (L1). Acrescentou-se mais 10 cm<sup>3</sup> da solução-padrão de cloreto o que deu mais um valor do potencial (L2). Com base nesses resultados calculou-se o slope para cada água utilizada, através da Equação 3, abaixo:

$$S = L1 - L2 \quad (3)$$

Onde:

S – é o valor do Slope, em milivolts

L1 – é o potencial lido após a adição de 1cm<sup>3</sup> da solução-padrão, em milivolts

L2 - é o potencial lido após a adição de 10cm<sup>3</sup> da solução-padrão, em milivolts

Após a determinação do slope, passou-se para a leitura da amostra, onde transferiu-se para um béquer 50 cm<sup>3</sup> da solução reservada no procedimento C e adicionou-se 50 cm<sup>3</sup> da solução de KNO<sub>3</sub> (Vo). Imergiu-se o eletrodo na solução e anotou-se o potencial desenvolvido (Ei) após a estabilização da leitura, conforme Figura 30 . Em seguida foi adicionado sucessivamente 8 adições de 1 cm<sup>3</sup> em 1 cm<sup>3</sup> (Vi) da solução-padrão 100 ppm de Cl, anotando o valor potencial (Ei) e a somatória do volume (Vo + Vi) obtido após cada adição. Para cada adição calculou-se o potencial P, através da Equação 4:

$$P = 10^{-Ei/s}(V_0 + V_i) \quad (4)$$

Onde:

P – é o potencial calculado, em milivolts

E<sub>i</sub> – representa os potenciais obtidos após cada adição

V<sub>0</sub> – é o volume inicial da amostra (amostra + KNO<sub>3</sub>), em centímetros cúbicos

V<sub>i</sub> – é o volume da solução-padrão adicionado, em centímetros cúbicos

S – é o Slope calculado, em milivolts

Figura 30 - Leitura do potencial desenvolvido



Fonte: Própria autora

Ao final da execução do procedimento C, determinação do Slope e leitura da amostra, calculou-se o teor de cloreto conforme a Equação 5, a seguir:

$$C = \frac{L.V}{(A.m.10)} \quad (5)$$

Onde:

C – é a concentração de cloretos, em porcentagem

L – é a leitura onde a reta intercepta o eixo horizontal, em módulo

V – é o volume do balão utilizado no ensaio, em decímetros cúbicos

A – é a alíquota da amostra utilizada na leitura, em decímetros cúbicos

m – é a massa da amostra em gramas

Nota: Como foi utilizada a solução-padrão de 100 ppm, multiplicou-se o valor de L por 0,1.

### 3.4 Climatologia

De forma paralela foi caracterizada climatologicamente a região durante os doze meses de implantação da vela úmida. As informações das características climatológicas da região, durante o período de execução do projeto, foram fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que corresponde à estação climatológica Fortaleza A305 (Latitude: -3.815701° / Longitude: -38.53792° / Altitude: 30m), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará,

situado no campus do Pici, onde foram analisadas direção e velocidade do vento, precipitação, umidade relativa e temperatura.

Durante o período de estudo foram verificados os resultados de:

- Temperatura;
- Direção predominante dos ventos;
- Velocidade dos ventos;
- Precipitação pluviométrica; e
- Umidade relativa do ar.

No entanto, a direção e velocidade do vento também foram conferidos no local através da utilização de biruta (Figura 31a e b) e anemômetro (Figura 32a e b). Com base nestes resultados fez a análise dos resultados obtidos nos outros ensaios para verificar se houve alguma correlação.

Figura 31 - Verificação da direção do vento com biruta - a) No ponto P29. b) No Ponto P41

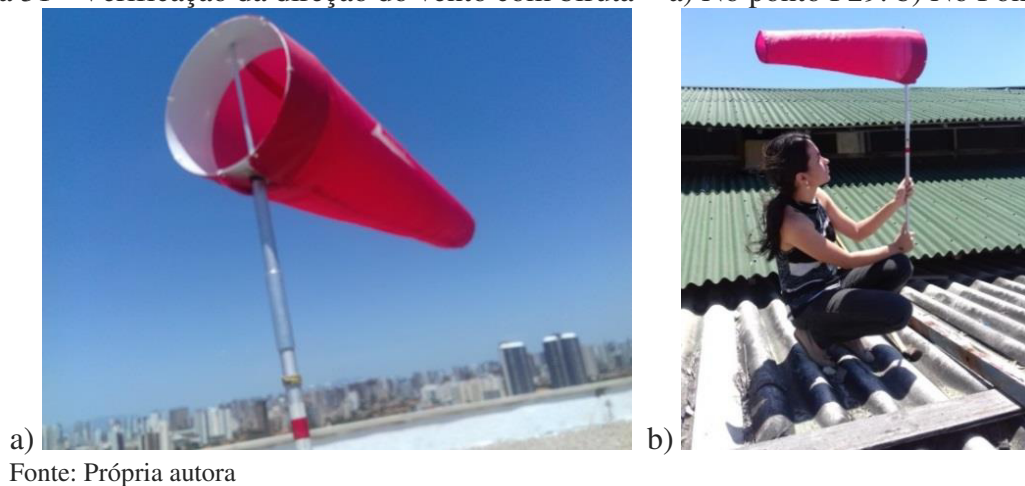


Figura 32 - Verificação da velocidade do vento com anemômetro –

a) No ponto P29. b) No Ponto P41



a)

Fonte: Própria autora



b)

## **4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.**

Neste capítulo são apresentados a caracterização climatológica, os resultados do teor de cloretos em suspensão disseminados no ar atmosférico da cidade de Fortaleza/CE e o teor de penetração de cloretos no interior do concreto, todos baseados nos ensaios descritos no capítulo anterior.

### **4.1 Apresentação e análise dos resultados.**

#### ***4.1.1 Características climatológicas***

##### **4.1.1.1 Direção predominante e velocidade do vento**

Os resultados referentes à direção predominante e velocidade média do vento encontrados a cada mês, durante o período de estudo (novembro de 2015 à outubro de 2016) para a cidade de Fortaleza, estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Direção predominante e velocidade dos ventos

	NO	DE	JA	FE	MA	AB	MA	JU	JU	AG	SE	OU
	V	Z	N	V	R	R	I	N	L	O	T	T
	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201
	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>Velocidade do vento(m/s)</b>	4,1	3,6	2,9	3,1	3,1	3,1	3,2	3,7	3,9	4,3	4,5	4,1
<b>Direção predominante do vento</b>	E/S	E/S	E/S	E/S	E/S	E/S	E/S	SE/E	SE/E	E/S	E/S	SE/E
	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
E – Leste												
SE - Sudeste												

Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

Durante o período de estudo, segundo as informações do INMET, a direção dos ventos apresentou-se predominantemente entre as direções E (Leste) e SE (Sudeste), o que foi verificado e confirmado através da utilização da biruta e bússola nos pontos de coleta de dados. Considerando o direcionamento predominante dos ventos verificou-se que estes adentram a cidade de Fortaleza, pela região onde se situa a Praia do Futuro, posteriormente seguindo para a Praia de Iracema e saindo no sentido da cidade de Caucaia, conforme Figura 33.

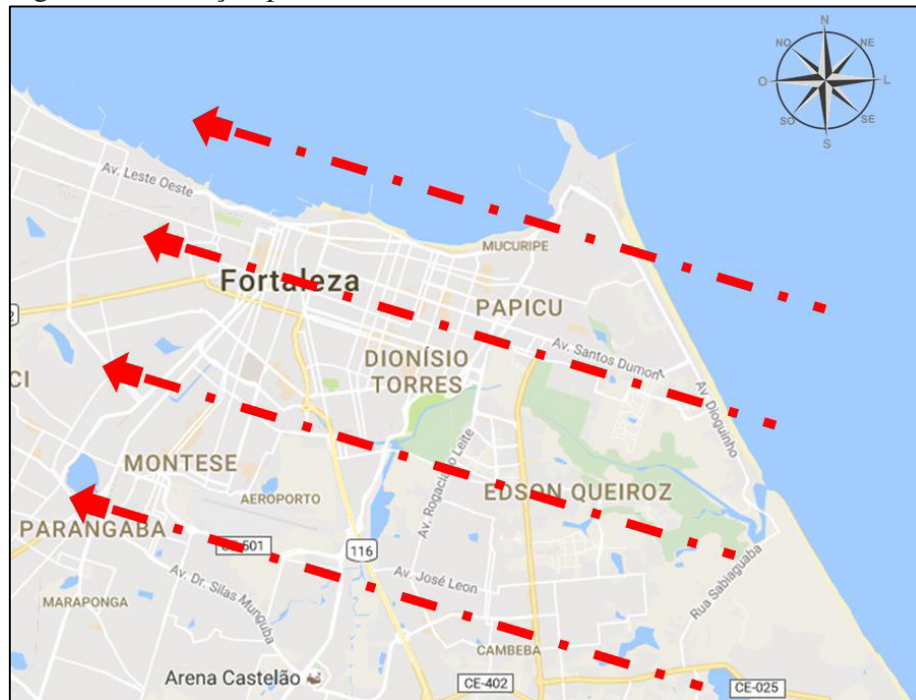
Verificou-se ainda que a velocidade do vento, varia consideravelmente dependendo da localização do ponto na cidade. Por isso, confirmou-se este dado nos pontos de vela úmida através da utilização de anemômetro.

Segundo Vilasboas (2013), a ação dos ventos se constitui como um fator primordial na formação de transporte do aerossol marinho. A velocidade do vento contribui para a concentração salina no aerossol marinho, e desenvolve influência preponderante, com efeito acentuado quando ultrapassa o patamar de 3 m/s. Vários autores, segundo Borba Júnior (2011) consideram como crítica a velocidade de 3 m/s para a maior oferta de aerossol marinho na atmosfera.

No caso de Fortaleza verificamos que a velocidade média do vento variou entre 2,9 m/s à 4,1 m/s durante o período de estudo, segundo os dados do INMET. Os pontos situados na

Praia do Futuro apresentaram velocidades bem superiores a média fornecida pelo INMET, chegando à uma velocidade de até 12,49 m/s equivalente à 52,16 Km/h.

Figura 33 - Direção predominante dos ventos na cidade de Fortaleza/Ce



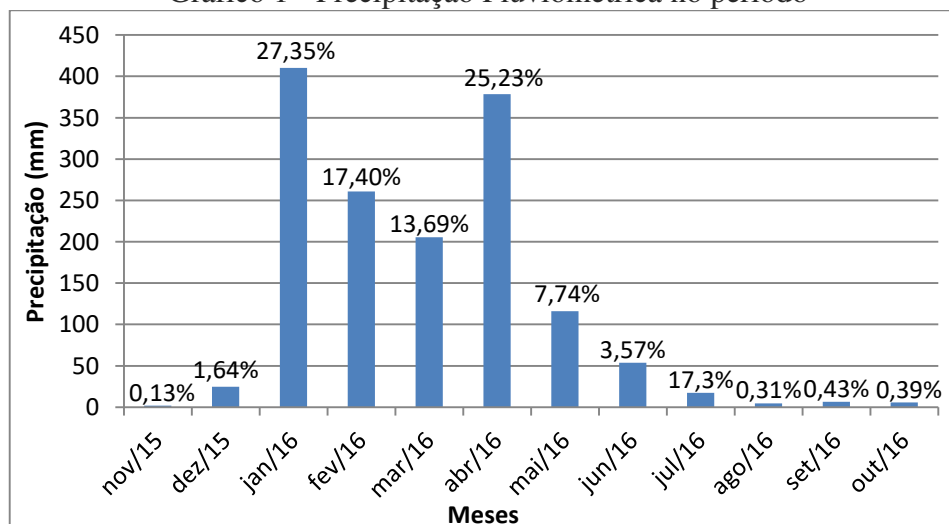
Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.1.1.2 Precipitação pluviométrica

Os valores de precipitação pluviométrica total mensal obtidos no período examinado encontram-se no

Gráfico 1.

Gráfico 1 - Precipitação Pluviométrica no período



Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

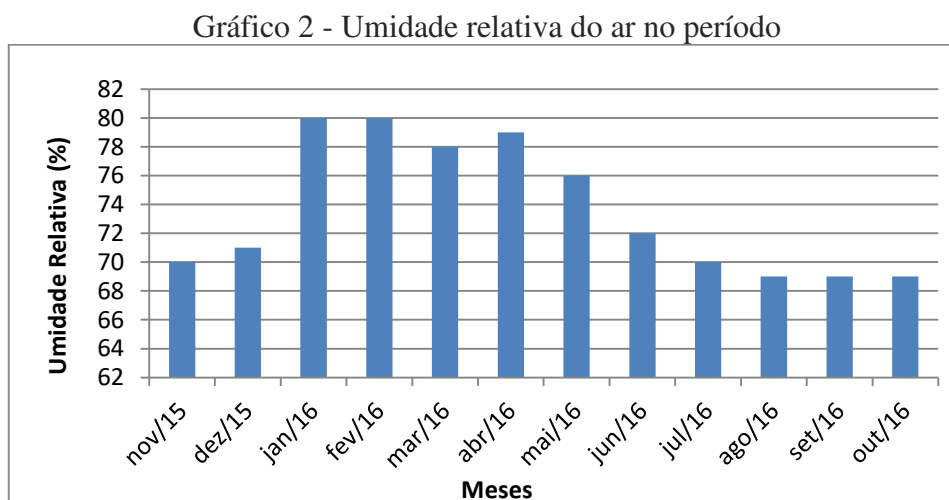
O total anual médio de precipitação é de cerca de 1500 mm. Segundo Geudes *et al* (2005), usualmente a precipitação concentra-se no trimestre de março a maio, quando ocorre mais de 50% do total anual, e a estação seca estende-se de agosto a novembro.

Percebeu-se que a maior concentração de chuvas se deu nos meses de janeiro à abril de 2016, período um pouco mais amplo do que o esperado segundo a literatura, chegando ao valor médio de 410,3mm no mês de janeiro de 2016, na sequência os maiores meses foram abril (378,5 mm) e fevereiro (261,0mm). Verificamos que no período de janeiro à abril de 2016 houve 83,67% da precipitação total esperada para o ano todo.

Dados de precipitação pluviométrica são importantes, pois segundo Villasboas (2013) há a possibilidade da diminuição da concentração superficial de cloretos no concreto após as chuvas.

#### 4.1.1.3 Umidade Relativa

Os valores médios mensais do período de estudo estão apresentados no Gráfico 2, onde se percebeu um comportamento semelhante às médias anuais, com valores médios mensais variando entre 69% e 80%.

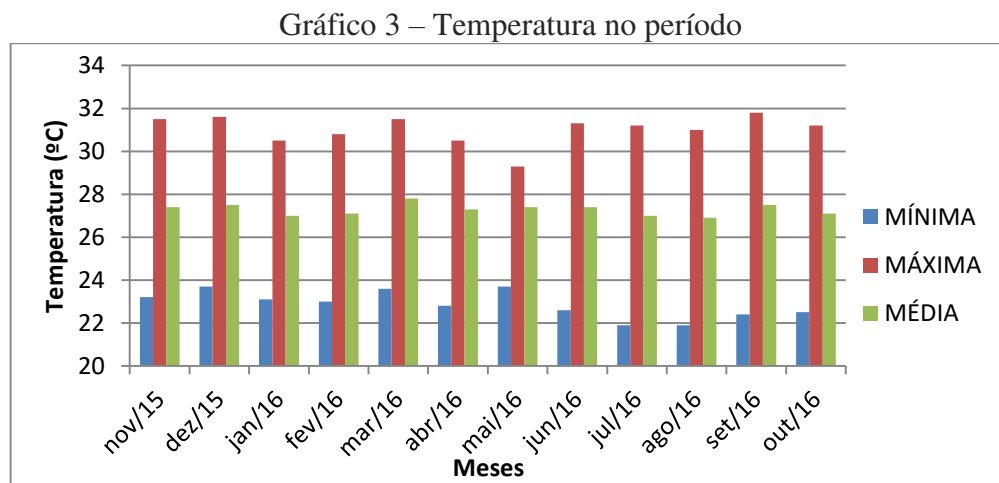


Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

A umidade relativa do ar está diretamente ligada com o processo de transporte de cloretos no concreto. Como este material possui a característica de absorver a umidade do meio com facilidade e de perdê-la com certa dificuldade, o aumento da umidade relativa do ar acelera a sua corrosão. (VILASBOAS, 2013).

#### 4.1.1.4 Temperatura

As temperaturas, mínima, média e máxima obtidos para o período de exposição das velas úmidas, segundo INMET, estão apresentadas no Gráfico 3.



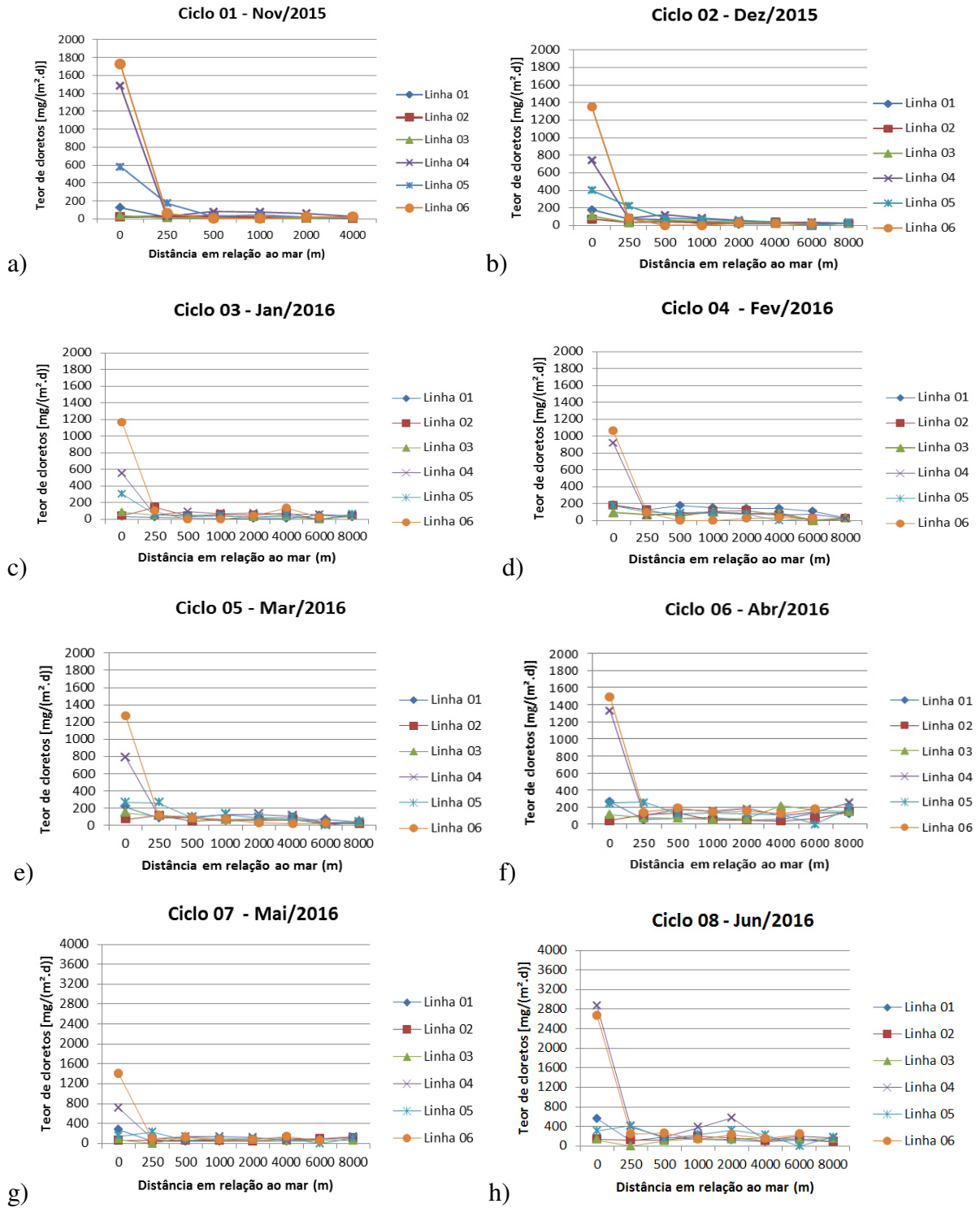
Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

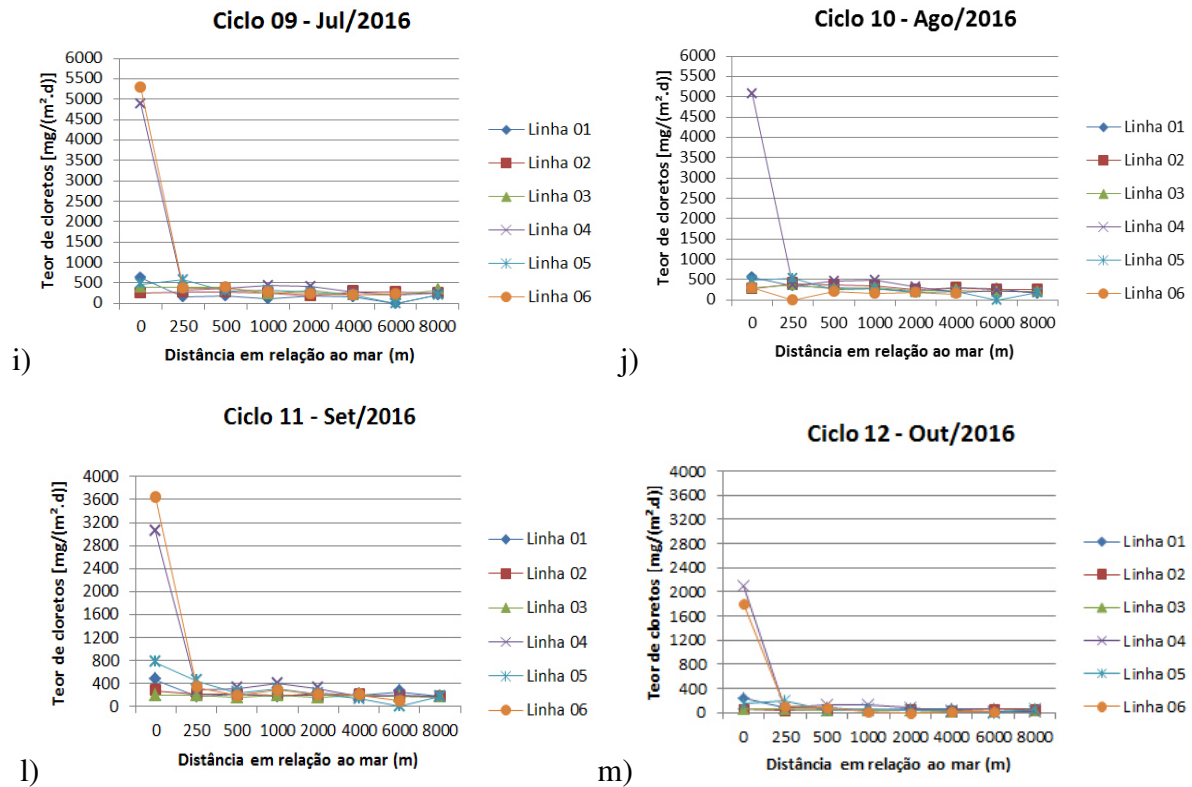
Segundo Portella (2013), a temperatura média do ar em Fortaleza situa-se na faixa de 23°C a 32°C, com média entre 26°C e 28°C. Verificou-se que para o período de estudo as temperaturas variaram dentro dos limites máximos esperados. Segundo Vitali (2013), a velocidade de transporte de cloretos no concreto é agilizada pelas altas temperaturas, pois o aumento da temperatura aumenta o teor de cloretos livres na água dos poros.

#### 4.1.2 Deposição de íons cloro no ar atmosférico pelo método da vela úmida

Os resultados obtidos na determinação do teor de íons cloro no período de novembro de 2015 à outubro de 2016, em miligrama por metro quadrado por dia de exposição [mg/(m<sup>2</sup>.d)], estão apresentados no apêndice D. Nos Gráfico 4a-m, está apresentado a concentração de íons cloro em cada ponto de exposição, por mês.

Gráfico 4 - Deposição do Teor de Cloretos [mg/(m<sup>2</sup>.d)] por ciclo





Fonte: Elaborado pela autora

Verificou-se a diminuição exponencial da concentração de íons cloro no ar atmosférico à medida que a localização do ponto de coleta de dados estava mais distante do mar, coerente com os trabalhos de Portella (2013), Meira e Padaratz (2002), Pontes (2006), dentre outros. Este comportamento foi verificado independentemente do mês de exposição da vela, ou seja, apresentou o mesmo comportamento ao longo de todo o período estudado.

As médias, desvio-padrão e coeficientes de variação dos resultados da deposição de íons cloro, no período de novembro de 2015 à outubro de 2016 encontra-se na Tabela 15.

Tabela 15 - Média, Desvio-Padrão e Coeficiente de Variação.

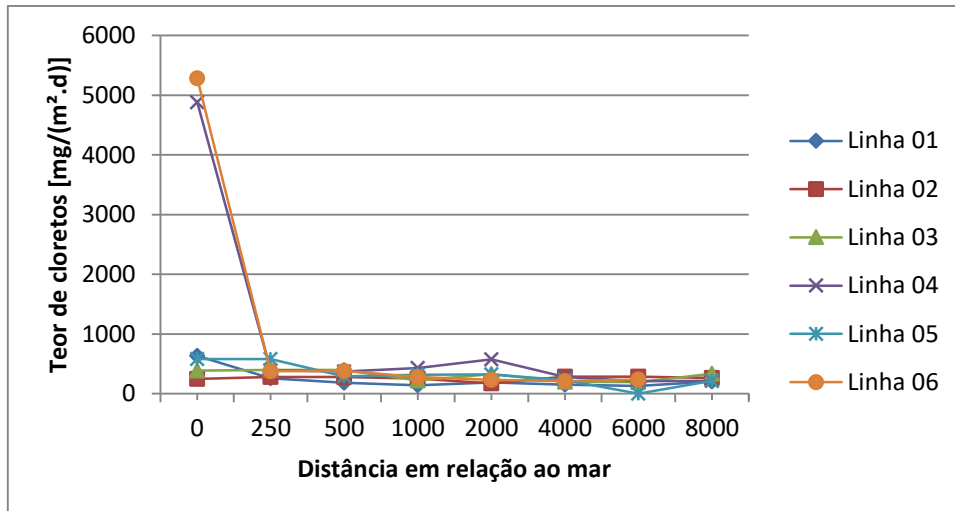
PONTO		MÉDIA [mg/(m <sup>2</sup> .d)]	DESVIO PADRÃO [mg/(m <sup>2</sup> .d)]	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
P01	Escola de Marinheiros	318,60	183,37	58
P02	Escola de Marinheiros	120,79	97,03	80
P03	Cond. Mathias Becker	111,45	82,42	74
P04	Platinum Metais	92,55	74,01	80
P05	Centro Espírita	90,61	76,87	85
P06	Esc. Municipal Antônio Sales	90,76	80,51	89

P07	Oficina Parangaba	91,60	67,56	74
P08	Res. Francisco Ponte	79,56	61,64	77
P09	Cond. Vila de Iracema	123,55	93,54	76
P10	Dragão do Mar	139,31	107,37	77
P11	Sindgel	118,25	104,00	88
P12	Colégio Imac. Conceição	125,22	104,58	84
P13	Residência Marinete	99,62	74,27	75
P14	Exército Brasileiro	108,09	95,13	88
P15	Residência Neuzilândia	121,02	97,97	81
P16	Instituto Ir Giulina Gale	98,50	79,20	80
P17	Cond. Palácio Atlântico	144,77	98,23	68
P18	Condomínio Liz	136,17	133,27	98
P19	Condomínio Atibaia	120,72	107,27	89
P20	Shalom	109,56	87,22	80
P21	NPInfo	103,76	90,40	87
P22	Residência Fabíola	99,83	81,60	82
P23	Escola Jenny Gomes	114,62	83,10	73
P24	Rua Ferreira Lima	103,41	91,32	88
P25	Fera	2040,38	1533,92	75
P26	Resid. Deuzuita - Titanzinho	165,70	128,00	77
P27	Nacional Gás	187,56	120,40	64
P28	GME	216,23	153,09	71
P29	Cagece	202,64	160,02	79
P30	Condomínio San Francisco	101,56	73,96	73
P31	SEDONA	118,04	81,39	69
P32	Meloc	113,79	73,71	65
P33	Barraca Saturno	374,70	204,78	55
P34	Level 3	296,41	154,11	52
P35	Esc. Mun. Cei D. Aloisio	123,33	87,67	71
P36	Terra Bella	148,54	99,44	67
P37	Cidade Fortal	128,17	95,09	74
P38	Escola de Equitação Christus	107,98	71,84	67
P40	Igreja Gileade	109,24	77,18	71
P41	Barraca do Pipoca	2081,25	1336,10	64
P42	Igreja Assembléia de Deus	169,59	106,16	63
P43	Residência Tarcísio	188,48	143,12	76
P44	Escola Sol	152,64	115,87	76
P45	Residência Mafalda	108,46	87,51	81
P46	Christus Sul	104,06	71,66	69

Fonte: Elaborado pela autora

Percebeu-se uma disparidade entre os resultados da Praia de Iracema (correspondente as linhas 01, 02 e 03) em relação à Praia do Futuro (correspondente as linhas 04, 05 e 06), sendo que esta última apresentou resultados muito mais elevados. O Gráfico 5 apresenta a maior concentração encontrada durante o período de estudo.

Gráfico 5 - Maior concentração do Teor de Cloretos

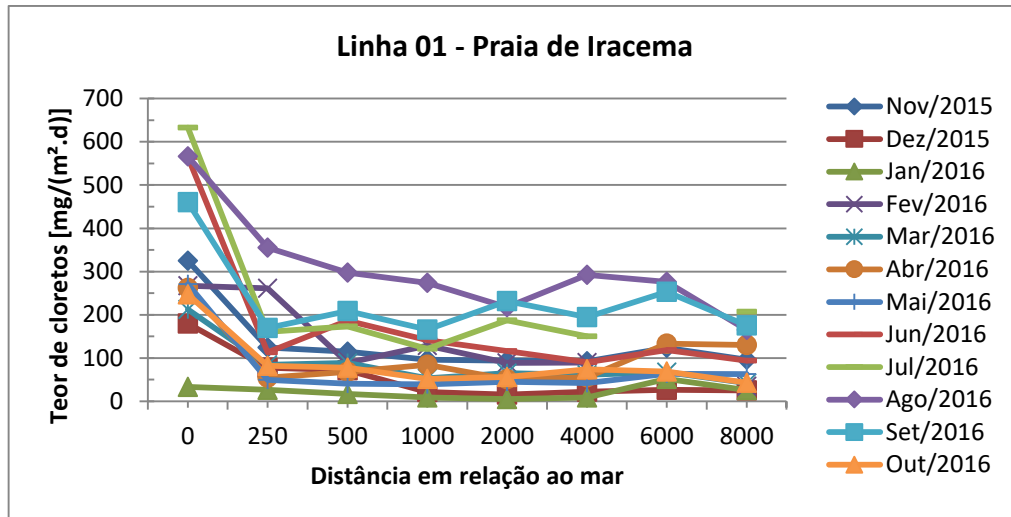


Fonte: Elaborado pela autora

Considerando o maior valor de concentração de íons cloro encontrada durante o período de exposição na praia de Iracema ( $632,91 \text{ mg}/(\text{m}^2.\text{d})$ ) e na praia do Futuro ( $5285,06 \text{ mg}/(\text{m}^2.\text{d})$ ), verifica-se que a praia do Futuro apresenta uma concentração 8,35 vezes maior que a concentração na praia de Iracema, o que demonstra o quanto esta região é mais agressiva que a outra.

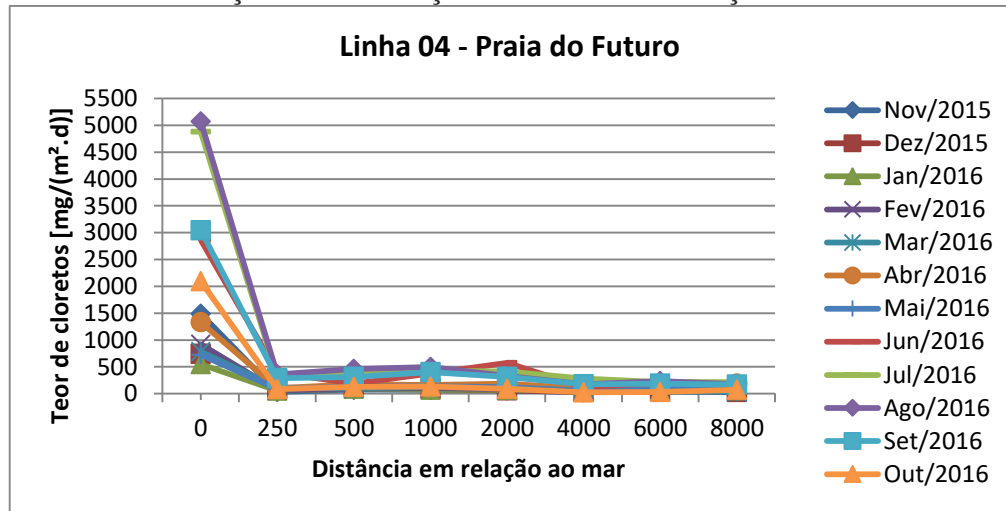
Atribui-se essa diferença de concentração ao direcionamento predominante dos ventos, como foi visto no item referente as características climatológicas, haja vista que os ventos adentram a cidade pelo lado da praia do futuro, trazendo toda a carga de aerossol marinho e depois que segue para a praia de Iracema. No entanto, a partir de 500 metros do mar, observa-se que os resultados da região da Praia do Futuro se assemelham aos da região da Praia de Iracema. Outra característica observada foi à diferença de concentração nos primeiros metros do mar em relação aos meses de exposição. Essas diferenças de concentração estão apresentadas nos Gráfico 6 e Gráfico 7, exemplificando as linhas 01 e 04. Os gráficos das demais linhas se encontram no apêndice E.

Gráfico 6 - Diferença de concentração da linha 01 em relação aos meses de estudo



Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 7 - Diferença de concentração da linha 04 em relação aos meses de estudo



Fonte: Elaborado pela autora

Percebeu-se que de novembro de 2015 à maio de 2016 os valores tiveram uma variação pequena, e a partir de junho esses valores começaram a subir consideravelmente, o que foi atribuído ao período de maior intensidade e velocidade de ventos, o que coincidiu também com a observação no local, onde alguns suportes metálicos quebraram em decorrência da força do vento e da corrosão da peça.

A diferença se apresentou de forma mais evidente e com maior variação na Praia do Futuro, onde se verificou, por exemplo, que a mínima concentração encontrada no P25 da linha 04 foi de 550,48 mg/(m<sup>2</sup>.d) e a máxima 5069,51mg/(m<sup>2</sup>.d), ou seja, a máxima foi maior 9,21 vezes em relação à mínima.

#### 4.1.2.2 Comparação com outros estudos

Ao se comparar os resultados deste trabalho com os de estudos anteriores realizados na cidade de Fortaleza/CE percebe-se que a Praia do Futuro também apresenta resultados superiores aos da Praia de Iracema para qualquer distância estudada, conforme Tabela 16.

Tabela 16 - Comparativo com resultados anteriores

<b>CIDADES:</b>	Fortaleza / CE				Fortaleza	Fortaleza	Fortaleza	Fortaleza
<b>FONTE:</b>	Próprio Autor				Portella (2013)	Silva (2011)	Oliveira (2013)	Albuquerque e Otoch (2005)
<b>PONTOS:</b>	46				4	4	5	4
<b>PERÍODO:</b>	out/2015 à out/2016				ago/2011 à jul/2012	jul/2011 à out/2011	mai/2012 à ago/2012	ago/1990 à out/1991
<b>LOCAL:</b>	Praia do Futuro		P. de Iracema		P.do Futuro	P. do Futuro	P. de Iracema	P. do Futuro
<b>DIST. (m)</b>	Média	Maior	Média	Maior	Média	Média	Média	Média
15	-	-	-	-	-	-	-	3502
50	1498,77	5285,0	195,63	632,91	-	-	-	-
100	-	-	-	-	670	484,35	144,14	-
250	204,23	291,98	93,02	140,62	-	-	130,68	-
300	-	-	-	-	499	208,08	125,31	-
400	-	-	-	-	-	-	116,84	-
500	143,83	181,33	99,33	125,4	-	-	-	-
740	-	-	-	-	281	151,16	-	-
880	-	-	-	-	-	-	83,49	-
1000	147,40	206,14	105,94	119,22	162	112,93	76,76	23,6
1460	-	-	-	-	-	-	55,63	-
2000	127,73	202,69	93,23	104,21	-	-	-	-
4000	95,6	112,82	77,87	106,7	-	-	-	31,5
6000	64,12	74,97	77,55	80,66	-	-	-	-
8000	73,45	73,45	80,08	102,52	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora

Cabe ressaltar que esta é uma análise geral, pois há grande diferença nas pesquisas, no que diz respeito a quantidade e localização de pontos estudados e o período de exposição, que influencia nas características climáticas. Nas últimas décadas alguns estudos foram realizados na região costeira do Brasil, dentre os quais destacam-se oito estudos realizados na região nordeste, um na região sudeste e dois na região sul, conforme a seguir.

- São Luís/MA - Sica (2006) realizou um mapeamento da corrosividade atmosférica na cidade, fazendo o levantamento do teor de cloretos no ar, dentre outros, em 15 pontos, durante os anos de 2002 à 2005.
- Fortaleza/CE – Foram realizados alguns estudos, onde destacam-se o realizado na década de 90 citado por Romero et al (1991) apud Albuquerque e Otoch (2005) e o realizado por Portella (2013), que em sua dissertação avalia a durabilidade de concretos expostos a névoa salina na praia do Futuro durante o período de agosto de 2011 à julho de 2012.
- João Pessoa/PB – Meira e Padaratz (2002) demonstram o efeito do distanciamento em relação ao mar na agressividade por cloretos, nesta cidade, durante o período de novembro de 2001 à março de 2002, através da coleta de dados em 5 pontos.
- Recife/PE – Pontes (2006) realizou em sua dissertação o estudo da disseminação de íons cloro na orla marítima no bairro de Boa Viagem, durante o período de agosto de 2005 à janeiro de 2006, coletando dados em 5 pontos.
- Maceió/AL –Alves (2007) fez uma análise da perspectiva de vida útil de estruturas em concreto face ao teor de cloreto registrado nesta cidade, coletando dados em 25 pontos, em outubro e novembro de 2006.
- Salvador/BA – Nesta cidade destacam-se dois estudos: o de Costa (2001), que verificou o teor de cloretos, em 9 pontos, durante o período de agosto de 2000 à janeiro 2001, e o de VilasBoas (2013), que fez o estudo em 20 pontos durante o período de outubro de 2010 à novembro de 2011.
- Vitória/ES – Borba Júnior (2011) fez um estudo da deposição de cloretos e sua concentração em concretos na região sudeste, em 5 pontos, em dois períodos: em novembro de 2007 e em fevereiro de 2008.
- São Francisco do Sul/SC – Vitalli (2013) estudou o efeito do distanciamento do mar da contaminação do concreto por cloretos, em 6 pontos, de janeiro de 2011 à maio de 2012.
- Florianópolis/SC – Garcia, Padaratz e Spoganicz (2007) publicou um artigo sobre a agressividade marinha medida pela taxa de deposição de cloretos na região da grande Florianópolis, através de dados obtidos em 6 pontos de coleta de dados.

Tabela 17 - Resumo dos estudos no Brasil

Cód.	Cidade	Referência	Pontos	Período
A	São Luís / MA	Sica (2006)	15	2002 à 2005
B	Fortaleza / CE	Albuquerque e Otoch (2005)	4	Ago/1990 à Out/1991
C	Fortaleza / CE	Portella (2013)	4	Ago/2011 à Jul/2012
D	João Pessoa / PB	Meira e Padaratz (2002)	5	Nov/2001 à Mar/2002
E	Recife / PE	Pontes (2006)	5	Ago/2005 à Jan/2006
F	Maceió / AL	Alves (2007)	25	Out/2006 e Nov/2006
G	Salvador / BA	Costa (2001)	9	Ago/2000 à Jan/2001
H	Salvador / BA	VilasBoas (2013)	20	Out/2010 à Nov/2011
I	Vitória / ES	Borba Jr (2011)	5	Nov/2007 e Fev/2008
J	São Franc. do Sul / SC	Vitalle (2013)	6	Jan/2011 à Mai/2012
K	Florianópolis / SC	Garcia (2008)	6	Nov/2006 à Nov/2007

Fonte: Elaborado pela autora

Ao se comparar os resultados obtidos neste estudo com os resultados destas outras cidades citadas, como expressos na Tabela 18 , pôde-se perceber que de forma geral o comportamento da concentração de íons cloro na Praia do Futuro na cidade de Fortaleza é superior ao das outras cidades,

Tabela 18 – Comparativo da média com outras cidades

CIDADES :	Fortaleza / CE		D	E	F	G	H	I	J	K
	P. Fut.	P. Irac.								
Dist. (m)	Média									
0-10	-	-	540,74	554,4	-	-	-	513,59	-	1096
11-40	-	-	-	-	740,46	-	1150,29	-	-	-
41-60	1498,77	195,63	-	-	402,58	-	-	-	590,77	-
61-100	-	-	125,26	393,04	230,59	46,2	950,84	54,83	63,51	11,5
101-150	-	-	-	-	-	21,1	225,25	125,12	-	-
151-200	-	-	13,89	145,07	-	-	562,56	-	34,1	21,1
201-250	204,23	93,02	-	40,76	64,87	-	-	43,21	-	-
251-300	-	-	-	-	-	-	303,96	-	-	-
301-500	143,83	99,33	11,74	44,06	77,09	-	156,86	-	20,14	15
501-750	-	-	-	-	46,23	4,2	108,71	5,46	16,22	6,5
751-1000	147,41	105,94	-	-	139,75	2,9	-	-	-	23,7
1001-2000	127,73	93,23	5,95	-	97,47	2,6	99,1	-	9,56	-
2001-3000	-	-	-	-	72,58	4,6	103,44	-	-	-
3001-4000	95,6	77,87	-	-	-	-	-	-	-	-
4001-6000	64,12	77,55	-	-	73,66	-	-	-	-	-
6001-8000	73,45	80,08	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora

Até os primeiros 60 metros de distância do mar, a Praia do Futuro apresenta a maior média de concentração em relação as outras cidades (1498,77 mg/(m<sup>2</sup>.d)). Em contrapartida, na Praia de Iracema, o valor médio (195,63 mg/(m<sup>2</sup>.d)) é inferior Macéio e São Francisco do Sul. O que demonstra a diferença no comportamento dentro da mesma cidade, e enfatiza que a direção predominante e velocidade dos ventos influenciam diretamente na quantidade de deposição de íons cloro. Dentre os valores obtidos nos outros trabalhos, o maior valor encontrado para esta distância, até então, tinha sido em São Francisco do Sul/SC (590,77 mg/(m<sup>2</sup>.d)) o que nos mostra que a praia do Futuro em Fortaleza é 153,69% mais agressiva que esta cidade, conforme Tabela 19 - Comparativo de agressividade.

Tabela 19 - Comparativo de agressividade

CIDADES:	Fortaleza / CE		Maior Agressividade/distância	Praia do Futuro	Praia de Iracema
	Praia do Futuro	Praia de Iracema			
Distâncias (m)	Cloreto (mg/m <sup>2</sup> .dia)	Cloreto (mg/m <sup>2</sup> .dia)	Cloreto (mg/m <sup>2</sup> .dia)	% mais agressivo	% mais agressivo
41-60	1498,77	195,63	S. Franc. do Sul / SC 590,77	153,69%	-66,88%
201-250	204,23	93,02	Maceió/AL 64,87	214,83%	43,39%
301-500	143,83	99,33	Salvador/BA 156,86	-8,30%	-36,67%
751-1000	147,41	105,94	Maceió/AL 139,75	5,48%	-24,19%
1001-2000	127,73	93,23	Salvador/BA 99,10	28,89%	-5,92%
4001-6000	64,12	77,55	Maceió/AL 73,66	-12,95%	-5,28

Fonte: Elaborada pela autora

Ao se analisar os resultados na faixa de 201 à 250 metros percebemos que tanto a Praia de Iracema quanto a Praia do Futuro se mantem superiores a todas as outras cidades. A praia do Futuro se apresenta 214,83% mais agressiva que o maior valor encontrado para esta distância, de 64,87 mg/(m<sup>2</sup>.d) em Maceió/AL. No entanto ao se distanciar e chegar na faixa dos 301 à 500 metros, a cidade de Salvador apresenta uma média de 156,85 mg/(m<sup>2</sup>.d), um pouco superior a da praia do Futuro 143,83 mg/(m<sup>2</sup>.d), sendo seguido pela praia de Iracema com 99,33 mg/(m<sup>2</sup>.d), o que nos demonstra que a praia do futuro é 8,30 % menos agressiva e a praia de Iracema 36,67% menos agressiva que Salvador, para esta distância.

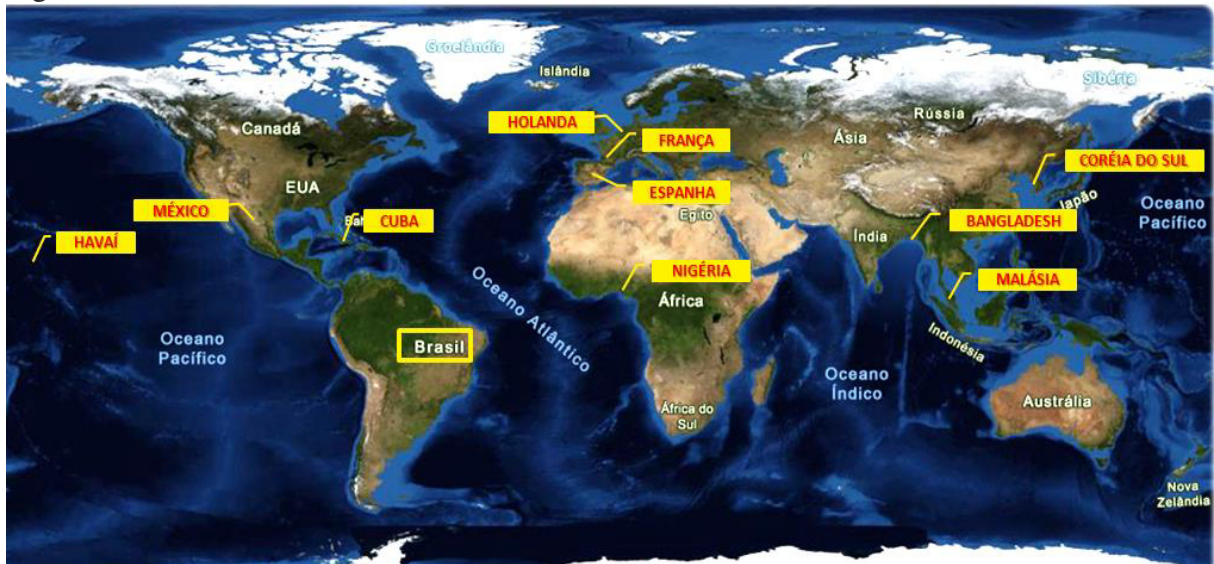
A medida que se afasta do mar se percebe uma considerável redução na concentração de íons cloro em todas as cidades, no entanto para a faixa dos 751 à 1000 a Praia do Futuro em Fortaleza continua apresentando valores superiores a todas as outras cidades com 147,41 mg/(m<sup>2</sup>.d), seguida de Maceió com 139,75 mg/(m<sup>2</sup>.d) e seguida pela Praia do Iracema com 105,94 mg/(m<sup>2</sup>.d).

Verificou-se ainda que a partir dos 2000 metros há poucos dados de medição, no entanto, para os valores encontrados percebe-se que não há uma variação grande em função do aumento da distância e da cidade.

Analisando os dados de forma geral, dentre as cidades estudadas, verificasse que após Fortaleza, as cidades de Salvador/BA e Maceió/AL podem ser consideradas as mais agressivas no que diz respeito a concentração de íons cloro no ar atmosférico. No entanto vale ressaltar que esta análise comparativa nos dá uma visão geral, mas restrita, levando em conta que em cada cidade o estudo foi realizado de forma singular, em anos diferentes, com variação de tempo de exposição e de distância em relação ao mar, além das diferenças climáticas peculiares de cada cidade em questão.

Verificou-se alguns estudos similares feitos em âmbito internacional, dos quais destacamos os seguintes países, conforme Figura 34 e descrição abaixo.

Figura 34 - Países com estudos similares



Fonte: Elaborado pela autora

- Nigéria, localizada no continente Africano, onde se realizou um estudo de maio de 1953 à fevereiro de 1954, em Lighthouse Beach – Lagos, região banhada pelo golfo da Guiné, que é uma reentrância na costa ocidental da África, fazendo parte

ainda do Oceano Atlântico, onde os resultados foram apresentados por Ambler and Bain (1955);

- Espanha, no continente Europeu, em estudo feito por Morcillo et al (2000), de agosto de 1994 à abril de 1995 e de março de 1996 à fevereiro de 1997, na cidade de Tarragona que é banhada pelo mar Mediterrâneo.
- Holanda, no continente Europeu, banhada pelo Mar do Norte, apresenta dados de 1983 à 1994, em pesquisa de Tem Harkell (1997);
- França, no continente Europeu, o estudo de Despiau et al (1991) apresenta resultados de pesquisa feita na ilha de Porquerolles, no mar mediterrâneo, em maio de 1990, outubro de 1990 e maio de 1991;
- Malásia, localizado no continente asiático, segundo Mustafa na Yosof (1994), a pesquisa foi realizada de janeiro à dezembro de 1991, em Port Dickson, no Estreito de Malaca, que é a passagem marítima entre o Oceano Índico e o Oceano Pacífico;
- Bangladesh, país asiático, foi realizado o estudo na cidade portuária de Chittagong, banhada pelo golfo de Bengala vindo do Oceano Índico, de abril à setembro de 2000 por Khandaker, Hossain e Easa (2011);
- Cuba, na América Central, por Castañeda et al (2012), estudo realizado de setembro de 2007 à agosto de 2008, na cidade de Havana;
- México, na América Central, também é apresentado por Castañeda et al (2012), em um estudo realizado de setembro de 2007 à agosto de 2008, na cidade de Yucatán;
- Havaí, ilha pertencente aos Estados Unidos da América, onde foi realizado um estudo na ilha de Oahu, de agosto de 2003 à fevereiro de 2004, descrito por Suzuki (2011);
- Coreia do Sul, no continente asiático, Lee e Moon (2005) desenvolveram um trabalho com a finalidade de pesquisar a sismicidade no país como um todo, através de 70 pontos distribuídos na região Oriental, Ocidental e Costa Sul da Coreia do Sul, durante o período de um ano;

A Tabela 20 compila os estudos citados anteriormente.

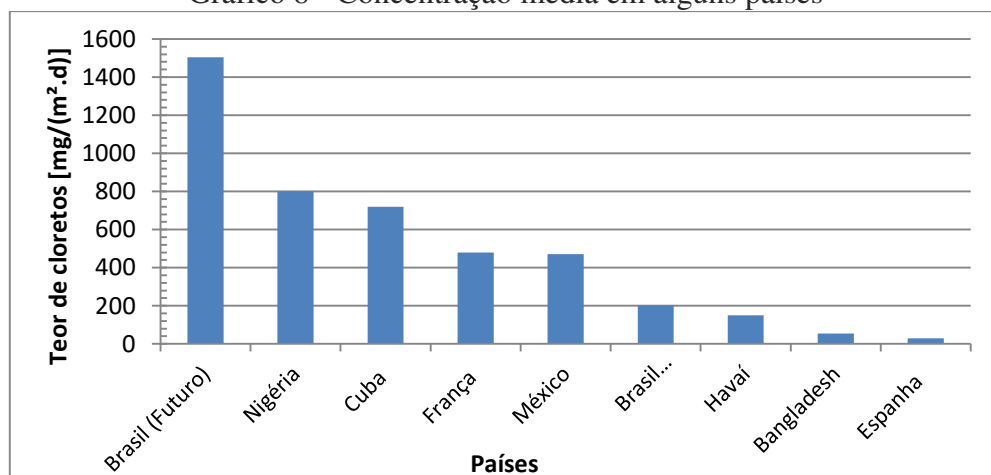
Tabela 20 - Resumo dos estudos internacionais

País	Continente	Referência	Período
Nigéria	África	Ambler and Bain (1995)	Mai/1953 à Fev/1954
Espanha	Europa	Morcillo et al (2000)	Ago/1994 à Abr/1995
Holanda	Europa	Ten Harkel (1997)	1983 à 1994
França	Europa	Despiau et al (1991)	Mai/Out 1990, Mai/1991
Malásia	Ásia	Mustafa and Yosof (1994)	Jan/1991 à Dez/1991
Bangladesh	Ásia	Khandaker, Hossain and Easa (2011)	Abr/2000 à Set/2000
Coréia do Sul	Ásia	Lee and Moon (2005)	Set/200? à Ago/200?
Havaí	América	Suzuki (2011)	Ago/2003 à Fev/2004
Cuba	América	Castañeda et al (2012)	Set/2007 à Ago/2008
México	América	Castañeda et al (2012)	Set/2007 à Ago/2008

Fonte: Própria autora

Apesar destes países terem realizado estudos parecidos, nem todos utilizaram o mesmo procedimento, o que inviabiliza uma comparação direta. Nos países que adotaram a mesma metodologia, os resultados são demonstrados de formas diferentes, então se agrupou os resultados que foram fornecidos em forma de média, no Gráfico 8, e os que apresentaram os resultados máximos, no Gráfico 9.

Gráfico 8 - Concentração média em alguns países



Fonte: Própria autora

Ao se considerar os países em que foram apresentadas as médias, percebe-se que a Praia do Futuro, apresenta resultados superiores aos destes, com 87,97% a mais de concentração de íons cloro (Tabela 21), em relação à Nigéria, segundo colocado. O Brasil, na Praia do Futuro, é 52,67 vezes mais agressivo que a Espanha, último colocado entre os países que demonstraram os resultados médios. No que diz respeito à Praia de Iracema verificamos que ela é menos

agressiva que a Nigéria, Cuba, França e México, ficando com o resultado muito próximo ao encontrado no Havaí e apresentando resultado bem superior a Bangladesh (273,71%) e Espanha (607,11%).

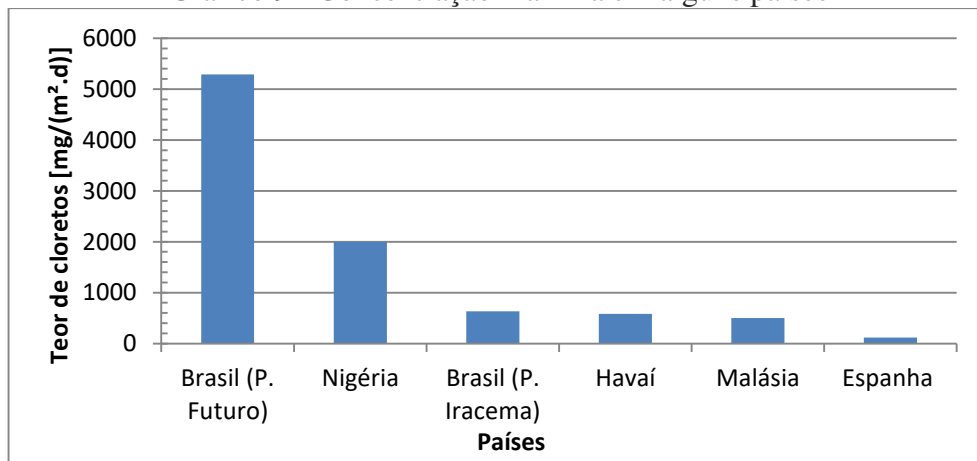
Tabela 21 - Comparativo de agressividade (concentração média)

Fortaleza / CE		Agressividade Cloreto (mg/m <sup>2</sup> .dia)	Praia do Futuro % mais agressivo	Praia de Iracema % mais agressivo
Praia do Futuro Cloreto (mg/m <sup>2</sup> .dia)	Praia de Iracema Cloreto (mg/m <sup>2</sup> .dia)			
1498,77	195,63	Nigéria 800,00	87,34625	-75,5463
		Cuba 719,50	108,3072	-72,8103
		França 480,00	212,2438	-59,2438
		México 470,80	218,3454	-58,4473
		Havaí 150,00	899,18	30,42
		Bangladesh 54,02	2674,472	262,1437
		Espanha 28,55	5149,632	585,2189

Fonte: Elaborada pela autora

Os países que apresentaram os valores máximos obtidos nos primeiros metros de distância do mar, durante o período de exposição de estudo, percebeu-se que o Brasil e a Nigéria se mantiveram em primeiro e segundo lugar, respectivamente, sendo que a disparidade é elevada, onde o Brasil, na praia do Futuro, se mostra, aproximadamente, 62% mais agressivo que a Nigéria. Em seguida com valores próximos aparece o Havaí e a Malásia, e por fim, a praia de Iracema no Brasil e a Espanha com valores bem menores, como apresentado no Gráfico 9 e na Tabela 22.

Gráfico 9 - Concentração máxima em alguns países



Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 22 - Comparativo de agressividade (concentração máxima)

Fortaleza / CE		Agressividade	Praia do Futuro	Praia de Iracema
Praia do Futuro	Praia de Iracema			
Cloreto (mg/m <sup>2</sup> .dia)	Cloreto (mg/m <sup>2</sup> .dia)	Cloreto (mg/m <sup>2</sup> .dia)	% mais agressivo	% mais agressivo
5285,06	632,91	Nigéria 2000,00	164,25	-68,35
		Havaí 580,00	811,21	9,12
		Malásia 500,00	957,01	26,58
		Espanha 114,47	4516,98	452,90

Fonte: Elaborada pela autora

#### 4.1.3 Penetração de cloreto em corpos-de-prova expostos na cidade.

Os resultados do teor de cloretos nos corpos de prova de concreto, nas profundidades de 1, 2 e 3 cm, estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Teor de cloretos (% massa de cimento)

Ponto	Distância ao mar	CIMENTO CP II F 32			CIMENTO CP IV		
		1 CM	2 CM	3 CM	1 CM	2 CM	3 CM
<b>P01</b>	50 m	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00
<b>P02</b>	250 m	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01
<b>P03</b>	500 m	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>P04</b>	1000 m	0,01	0,01	0,01	0,00	0,10	0,01
<b>P05</b>	2000 m	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
<b>P06</b>	4000 m	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>P33</b>	50 m	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01	0,03
<b>P34</b>	250 m	0,01	0,01	0,03	0,06	0,01	0,02
<b>P35</b>	500 m	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05
<b>P36</b>	1000 m	0,03	0,07	0,03	0,07	0,00	0,04
<b>P37</b>	2000 m	0,03	0,01	0,02	0,00	0,02	0,03
<b>P38</b>	4000 m	0,03	0,01	0,05	0,01	0,07	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

Segundo a NBR12655 (ABNT, 2006) o teor máximo de íons cloro sobre a massa de cimento do concreto endurecido é de 0,15%, para concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura, que foi o caso desta pesquisa. Conforme a Tabela 23 - Teor de cloretos todos os valores encontrados foram muito abaixo disso, isto possivelmente ocorreu porque o tempo de exposição foi pequeno.

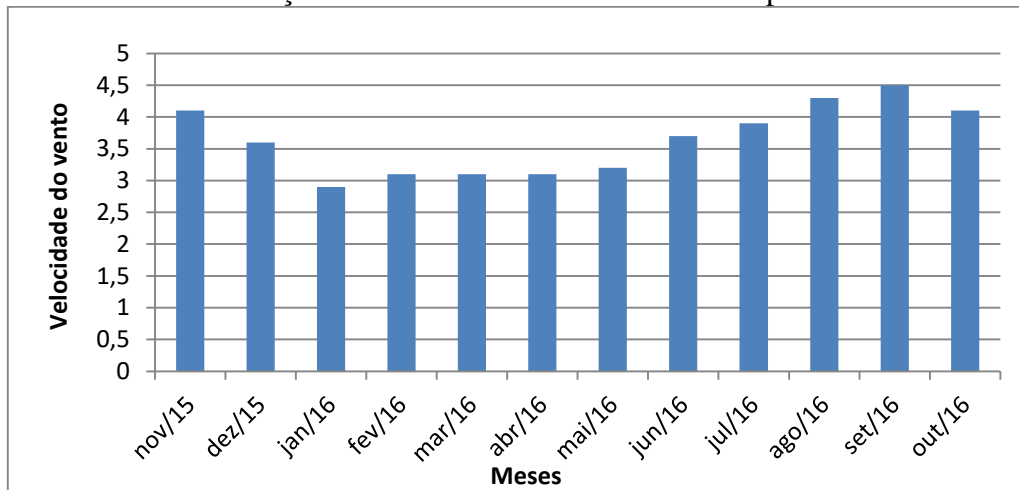
No entanto, apesar de verificarmos que para um período de 6 meses de exposição não houve uma penetração de cloretos que fosse significativa, já podemos verificar alguns comportamentos diferenciados quando comparamos os resultados referentes à Praia de Iracema (P01, P02, P03, P04, P05 e P06) com os resultados da Praia do Futuro (P33, P34, P35, P36, P37 e P38), pois percebe-se que os valores da Praia do Futuro mostram-se ligeiramente maiores dos da Praia de Iracema, o que entra em concordância com os resultados encontrados no ensaio da vela úmida.

#### **4.2 Discussão dos resultados**

O vento tem um papel primordial na formação e no transporte do aerossol marinho por isso se verificou como se comportou a ação do vento durante o período de exposição das velas úmidas. No Gráfico 10 está apresentada a variação da velocidade do vento durante os meses de estudo, onde se percebe que há um decréscimo nos valores de novembro de 2015 a janeiro de 2016, depois há pouca variação na velocidade até junho de 2016 onde se inicia crescimento na velocidade até setembro de 2016 e posteriormente os valores começam a baixar.

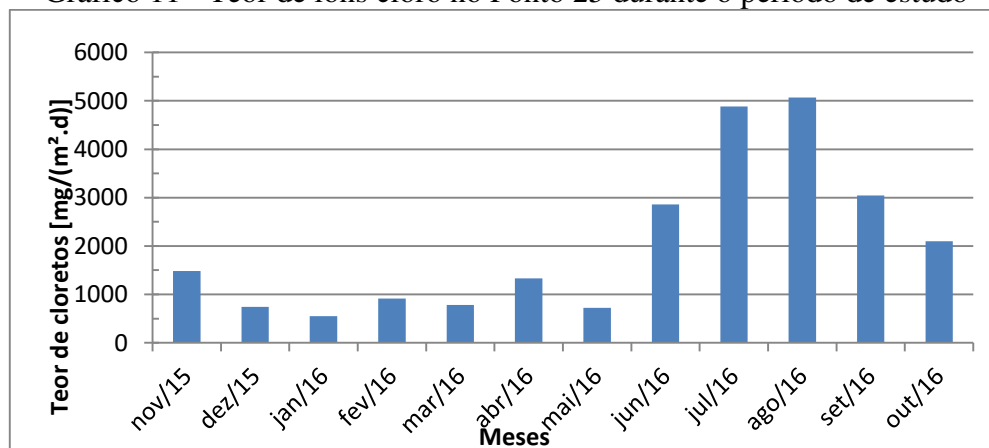
Ao se comparar o teor de íons cloro encontrados durante o período de estudo, verificou-se que a variação seguiu em concordância com a variação da velocidade dos ventos, como exemplificado no Gráfico 11, que apresenta os resultados do teor de íons cloro no Ponto 25, situado na Praia do Futuro, onde se percebe um decréscimo na concentração de íons cloro nos meses de novembro de 2015 à janeiro de 2016, seguido de pouca variação até maio de 2016, e posteriormente apresentando um crescimento elevado de junho de 2016 à agosto de 2016, voltando a decair posteriormente. Logo, verificamos que quanto maior a velocidade do vento, há uma maior a concentração de íons cloro no ar atmosférico.

Gráfico 10 - Variação da velocidade do vento durante o período de estudo



Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 11 - Teor de íons cloro no Ponto 25 durante o período de estudo

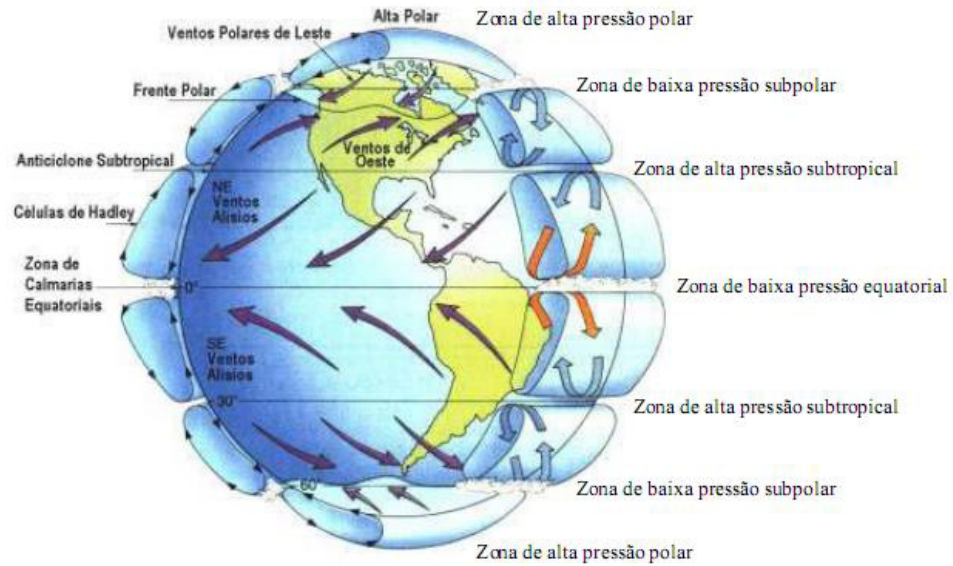


Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados que foram apresentados podem estar atribuídos a diversos fatores e características, das quais destacamos a influência da circulação geral dos ventos e o oceano adjacente. Considerando os países que apresentaram a média dos resultados, percebemos que os que apresentaram as maiores concentrações foram, respectivamente: Brasil, Nigéria, Cuba, França e México, sendo que todos estes são banhados pelo Oceano Atlântico. Outra similaridade entre estes países é que se encontram relativamente próximos à linha do Equador, sendo que a circulação geral da atmosfera, segundo Silva (2003), na zona compreendida entre as latitudes de 30°N e 30°S, a circulação se dirige para o Equador na superfície, conhecida como zona de convergência intertropical, onde os ventos de superfície são conhecidos como Ventos Alísios, conforme

Figura 35.

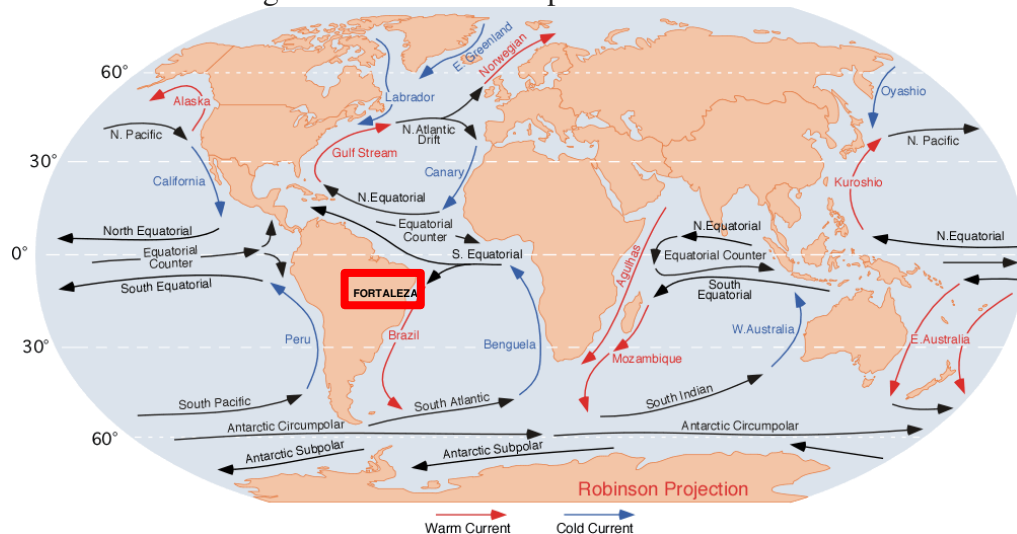
Figura 35 - Modelo de circulação Global



Fonte: Centro Brasileiro de Energia Eólica apud Silva (2003)

Vale ressaltar que as águas de superfície dos oceanos estão em constante movimento, gerando as correntes oceânicas, que podem ser determinadas por diversos fatores, dentre estes a interferência de ventos e a diferenciação entre densidades e salinidade das águas de certas regiões oceânicas. As correntes também variam de acordo com a localidade em que se apresentam no globo. As correntes situadas abaixo da linha do equador possuem sentido anti-horário, opostamente às correntes situadas acima da linha do equador. A Figura 36 demonstra as principais correntes superficiais oceânicas.

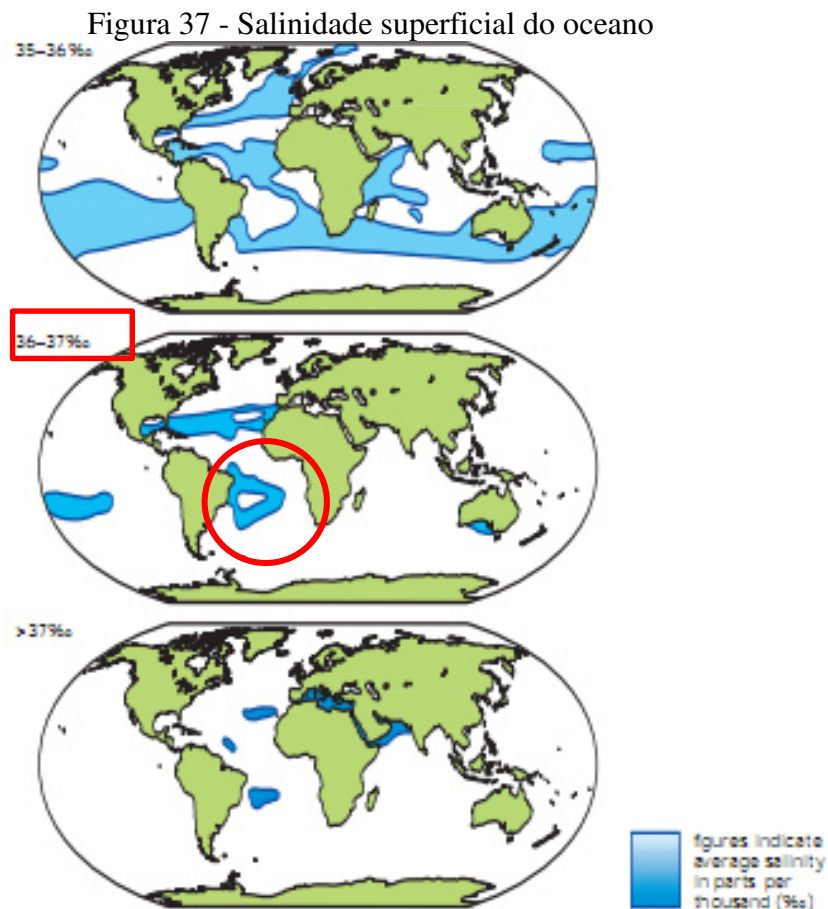
Figura 36 - Correntes superficiais oceânicas



Fonte: Alexandre (2008)

Ao se analisar as correntes oceânicas verificou-se que os países que obtiveram maiores resultados foram aqueles em que a corrente oceânica adentrava de frente ao país, em alguns casos como na praia de Iracema os valores são mais baixos em função da posição desta praia em relação à Praia do Futuro, como já visto anteriormente. Verificou-se que os países com valores mais baixos como Bangladesh e Malásia, estão situados em regiões em os ventos oriundos das correntes oceânicas estão no sentido contrário ao continente.

Outro fator verificado foi a salinidade superficial do oceano, que segundo Marine Science (2006), a região da cidade de Fortaleza é banhada pelo Oceano Atlântico no trecho em que ele corresponde a aproximadamente 36% à 37% de salinidade superficial, uma das mais altas encontradas como se apresenta na Figura 37. Pode se considerar então que o Brasil, na praia de Fortaleza apresenta maiores resultados também por influência de sua localização geográfica no globo terrestre, pois isto favorece captação de ventos oriundos das correntes oceânicas e dos ventos alísios, por conta de sua proximidade com a zona equatorial, além de estar situado em uma zona de alta salinidade superficial do oceano.



Fonte: Adaptado de Marine Science (2006)

## 5 PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DA AGRESSIVIDADE DO AR ATMOSFÉRICO DE FORTALEZA

A NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta as classes de agressividade ambiental da região onde se vai construir uma edificação em estrutura de concreto armado, que variam da classe I (Fraca) à classe IV (Muito forte), conforme apresentada no referencial teórico e resumida no Quadro 7.

Quadro 7 - Classe De Agressividade Ambiental

<b>Classe de agressividade ambiental</b>	<b>Agressividade</b>	<b>Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto</b>	<b>Risco de deterioração da Estrutura</b>
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingo de Maré	

Fonte: Adaptada da ABNT 6118(2014)

No entanto não se verificou na literatura uma metodologia para classificação das zonas da cidade por classe de agressividade, de acordo com a concentração do teor de cloretos no ar atmosférico, ou qualquer outro agente agressivo, o que deixa a classificação da NBR 6118 de forma subjetiva. A própria NBR 6118 afirma que o responsável pelo projeto estrutural, de posse de dados relativos ao ambiente em que será construída a estrutura, pode considerar classificação mais agressiva do que estabelecido na norma.

Para este trabalho apresenta-se duas propostas para classificar a classe de agressividade ambiental da cidade de Fortaleza/Ce, uma conforme trabalho de Vilasboas (2013) e outra baseada no trabalho de Meira et al (2010) e na segunda lei de Fick, conforme a seguir.

### 5.1 Classificação conforme Vilasboas (2013)

A NBR 14643 (ABNT, 2001), que trata da *Corrosão atmosférica – Classificação da corrosividade de atmosferas*, estabelece uma metodologia de classificação da atmosfera em categorias de corrosividade. Essa classificação é feita através da caracterização da atmosfera em termos de dados atmosféricos ou de medidas de taxa de corrosão de metais padrão, ou seja, o que esta norma considera como relevante na corrosão de metais e ligas são: tempo de superfície úmida e teores de SO<sub>2</sub> e Cl<sup>-</sup>. Esta norma então apresenta tabelas com a classificação do tempo, a classificação em termos de contaminação de SO<sub>2</sub> e a classificação em termos de contaminação por Cl<sup>-</sup>. Para a classificação da contaminação da atmosfera por cloretos, a referida norma utiliza os dados constante no Quadro 8.

Quadro 8 – Classificação de contaminação por Cl<sup>-</sup>.

Teor de deposição de Cl <sup>-</sup> (mg/(m <sup>2</sup> .d))	Classificação de contaminação da atmosfera por Cl <sup>-</sup>
$B \leq 3$	B0
$3 < B \leq 60$	B1
$60 < B \leq 300$	B2
$300 < B \leq 1500$	B3
Notas	
<sup>1</sup> A determinação do teor de cloreto para esta norma está baseada no método da vela úmida especificado na NBR 6211.	
<sup>2</sup> Resultados obtidos na aplicação de diferentes métodos para a determinação do teor de cloretos na atmosfera nem sempre são comparáveis e conversíveis.	
<sup>3</sup> Para os objetivos desta norma a taxa de deposição de cloreto é expressa como média anual. Os resultados de medidas de curto prazo são muito variáveis e a dependência de efeitos climáticos é muito forte.	
<sup>4</sup> Qualquer taxa de deposição de cloreto da categoria B0 é insignificante do ponto de vista de ataque de corrosão.	
<sup>5</sup> Contaminação excessiva por cloreto típica de zona de arrebentação e névoa marinha está fora do escopo desta norma.	

Fonte: NBR 14643 (ABNT, 2001)

O trabalho realizado em Salvador, por Vilasboas (2013), apresenta uma tabela em que faz uma classificação dos diferentes tipos de ambientes em termos de contaminação de íons cloro, relacionando a classificação por contaminação de cloretos da NBR 14643 (ABNT, 2001) com as classes de agressividade apresentada na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Para esta classificação, Vilasboas (2013) considerou como Classe IV (Muito Forte) os pontos com a concentração maior que 1500 mg/(m<sup>2</sup>.d), como Classe III (Forte), os pontos da categoria B3 que possuíam atmosferas com taxas de deposição de cloretos superiores a 300 mg/(m<sup>2</sup>.d) e menores que 1500 mg/(m<sup>2</sup>.d), como Classe II (Moderada), os pontos da categoria B2 com valores entra 60 mg/(m<sup>2</sup>.d) e 300 mg/(m<sup>2</sup>.d) e como Classe I (Fraca), os da categoria B1 – com valores menores que 60 mg/(m<sup>2</sup>.d). A classificação adotada por Vasconcelos, está apresentada no Quadro 9.

Quadro 9 – Classificação das classes de agressividade em função da concentração de cloretos

ABNT NBR 6118/2014			ABNT NBR 14643/2001	
Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Risco de deterioração da Estrutura	Classificação de contaminação da atmosfera por Cl <sup>-</sup>	Teor de cloretos (mg/(m <sup>2</sup> .d))
I	Fraca	Insignificante	B0	0 < B < 3 mg/(m <sup>2</sup> .d)
			B1	3 < B < 60 mg/(m <sup>2</sup> .d)
II	Moderada	Pequeno	B2	60 < B < 300 mg/(m <sup>2</sup> .d)
III	Forte	Grande	B3	300 < B < 1500 mg/(m <sup>2</sup> .d)
IV	Muito Forte	Elevado	-	B > 1500 mg/(m <sup>2</sup> .d)

Fonte: Adaptada de Vilasboas (2013)

Para este trabalho procedeu-se à classificação dos diversos ambientes pesquisados em termos de contaminação de cloreto, agressividade e risco de deterioração da estrutura, considerando os valores obtidos nos ensaios pelo método da vela úmida, normatizado pela NBR 6211 (ABNT, 2011), e o que dispõe a NBR 14643 (ABNT, 2001) - *Corrosão atmosférica - Classificação da corrosividade de atmosferas* e a NBR 6118 (ABNT, 2014) - *Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*, conforme análise utilizada por VilasBoas (2013).

Foram utilizados dois valores de cloretos para se propor uma classificação para Fortaleza, o valor médio do teor de cloretos correspondente à média aritmética de todos os valores encontrados durante todo o período de exposição do ponto (Tabela 24) e o valor máximo do teor de cloretos obtido durante todo o período de exposição independente do mês em que ele foi encontrado (Tabela 25).

Tabela 24 - Classificação dos ambientes de acordo com o valor médio

	Ponto	Deposição Média Mg/(m <sup>2</sup> .dia)	Classificação de contaminação da atmosfera por C1 <sup>-</sup> (NBR 14643)	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
<b>LINHA 01</b>	P01	318,60	B3	Forte	Grande
	P02	120,79	B2	Moderada	Pequena
	P03	111,45	B2	Moderada	Pequena
	P04	92,55	B2	Moderada	Pequena
	P05	90,61	B2	Moderada	Pequena
	P06	90,76	B2	Moderada	Pequena
	P07	91,60	B2	Moderada	Pequena
	P08	79,56	B2	Moderada	Pequena
<b>LINHA 02</b>	P09	123,55	B2	Moderada	Pequena
	P10	139,31	B2	Moderada	Pequena
	P11	118,25	B2	Moderada	Pequena
	P12	125,22	B2	Moderada	Pequena
	P13	99,62	B2	Moderada	Pequena
	P14	108,09	B2	Moderada	Pequena
	P15	121,02	B2	Moderada	Pequena
	P16	98,50	B2	Moderada	Pequena
<b>LINHA 03</b>	P17	144,77	B2	Moderada	Pequena
	P18	136,17	B2	Moderada	Pequena
	P19	120,72	B2	Moderada	Pequena
	P20	109,56	B2	Moderada	Pequena
	P21	103,76	B2	Moderada	Pequena
	P22	99,83	B2	Moderada	Pequena
	P23	114,62	B2	Moderada	Pequena
	P24	103,41	B2	Moderada	Pequena
<b>LINHA 04</b>	P25	2040,38	B4	Muito Forte	Elevado
	P26	165,70	B2	Moderada	Pequena
	P27	187,56	B2	Moderada	Pequena
	P28	216,23	B2	Moderada	Pequena
	P29	202,64	B2	Moderada	Pequena
	P30	101,56	B2	Moderada	Pequena
	P31	118,04	B2	Moderada	Pequena
	P32	113,79	B2	Moderada	Pequena

*Continua.*

*Conclusão.*

	Ponto	Deposição Média Mg/(m <sup>2</sup> .dia)	Classificação de contaminação da atmosfera por Cl <sup>-</sup>	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
<b>LINHA 05</b>	P33	374,70	B3	Forte	Grande
	P34	296,41	B3	Forte	Grande
	P35	123,33	B2	Moderada	Pequena
	P36	148,54	B2	Moderada	Pequena
	P37	128,17	B2	Moderada	Pequena
	P38	107,98	B2	Moderada	Pequena
	P40	109,24	B2	Moderada	Pequena
<b>LINHA 06</b>	P41	2081,25	B4	Muito Forte	Elevado
	P42	169,59	B2	Moderada	Pequena
	P43	188,48	B2	Moderada	Pequena
	P44	152,64	B2	Moderada	Pequena
	P45	108,46	B2	Moderada	Pequena
	P46	104,06	B2	Moderada	Pequena
	P47	94,39	B2	Moderada	Pequena

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 25 - Classificação dos ambientes de acordo com o valor máximo

	Ponto	Deposição Máxima Mg/(m <sup>2</sup> .dia)	Classificação de contaminação da atmosfera por Cl <sup>-</sup> (NBR 14643)	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
<b>LINHA 01</b>	P01	632,9143	B3	Forte	Grande
	P02	355,4522	B3	Forte	Grande
	P03	297,6251	B2	Moderada	Pequena
	P04	273,6767	B2	Moderada	Pequena
	P05	231,6246	B2	Moderada	Pequena
	P06	291,9218	B2	Moderada	Pequena
	P07	217,5223	B2	Moderada	Pequena
	P08	207,3200	B2	Moderada	Pequena
<b>LINHA 02</b>	P09	285,8401	B2	Moderada	Pequena
	P10	405,8524	B3	Forte	Grande
	P11	360,0369	B3	Forte	Grande
	P12	352,7389	B3	Forte	Grande
	P13	250,3308	B2	Moderada	Pequena
	P14	304,0852	B3	Forte	Grande
	P15	285,2909	B2	Moderada	Pequena
	P16	262,2563	B2	Moderada	Pequena

*Continua.*

					<i>Conclusão.</i>
	Ponto	Deposição Média Mg/(m <sup>2</sup> .dia)	Classificação de contaminação da atmosfera por Cl <sup>-</sup> (NBR 14642)	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
<b>LINHA 03</b>	P17	390,5000	B3	Forte	Grande
	P18	396,3091	B3	Forte	Grande
	P19	400,1818	B3	Forte	Grande
	P20	309,1533	B3	Forte	Grande
	P21	330,4727	B3	Forte	Grande
	P22	239,3585	B2	Moderada	Pequena
	P23	197,5091	B2	Moderada	Pequena
	P24	335,4750	B3	Forte	Grande
<b>LINHA 04</b>	P25	5069,5187	B4	Muito Forte	Elevado
	P26	395,1813	B3	Forte	Grande
	P27	462,9697	B3	Forte	Grande
	P28	495,0942	B3	Forte	Grande
	P29	574,9293	B3	Forte	Grande
	P30	281,7097	B2	Moderada	Pequena
	P31	235,1592	B2	Moderada	Pequena
	P32	215,3667	B2	Moderada	Pequena
<b>LINHA 05</b>	P33	769,9190	B3	Forte	Grande
	P34	580,8568	B3	Forte	Grande
	P35	293,5946	B2	Moderada	Pequena
	P36	315,7133	B3	Forte	Grande
	P37	324,9501	B3	Forte	Grande
	P38	227,4651	B2	Moderada	Pequena
	P40	215,3667	B2	Moderada	Pequena
<b>LINHA 06</b>	P41	5285,0625	B4	Muito Forte	Elevado
	P42	379,4063	B3	Forte	Grande
	P43	380,8941	B3	Forte	Grande
	P44	285,1306	B2	Moderada	Pequena
	P45	234,1256	B2	Moderada	Pequena
	P46	211,7091	B2	Moderada	Pequena
	P47	237,9526	B2	Moderada	Pequena

Fonte: Elaborado pela autora

Para melhor visualização dos dados apresentados nas Tabela 24 e 25, produziu-se mapas temáticos, os quais estão apresentados na Figura 38 e 39.

Figura 38 - Mapa esquemático das zonas de agressividade (valores médios)



Fonte: Elaborado pela autora

Verificou-se com o mapeamento da concentração média (Figura 38) que a cidade situa-se, em sua maioria, dentro da classe de agressividade II (Moderada), apresentando-se na Classe III (Forte), apenas um trecho da Praia de Iracema, correspondente ao ponto 01 e em um trecho da Praia do Futuro, correspondente ao ponto 33, e como Classe IV (Muito Forte), em dois trechos da praia do Futuro, correspondente aos pontos 25 e 41.

No entanto, a análise através dos valores médios pode não corresponder totalmente à realidade, haja vista que os valores tiveram uma grande variação, em alguns casos apresentando um coeficiente de variação de até 92%, conforme foi apresentado nos resultados da Tabela 15. Por isso a importância da verificação do mapeamento com os valores máximos encontrados, conforme a seguir na Figura 39.

Figura 39 – Mapa esquemático das zonas de agressividade (Valores máximos)

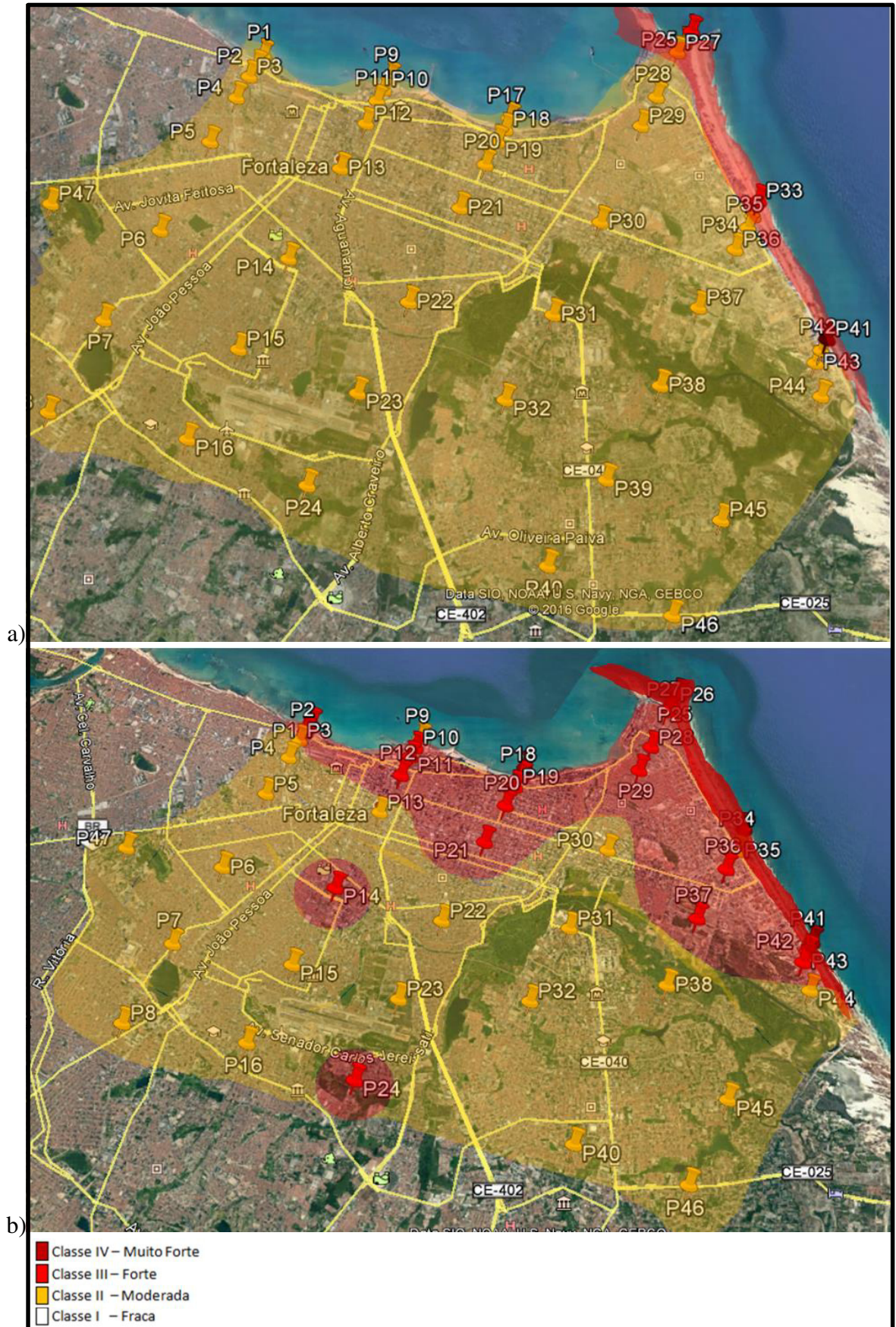


Fonte: Elaborado pela autora

Ao se analisar os valores máximos, percebe-se a grande diferença no comportamento da agressividade na cidade, pois onde anteriormente se verifica uma predominância da Classe II (Moderada), agora há claras divisões na cidade, onde os primeiros metros da Praia do Futuro se apresentam como classe IV (Muito Forte) e os primeiros metros da Praia de Iracema como classe III (Forte). Ao se afastar do mar percebe-se que a faixa da classe III (Forte) se estende nas linhas 02, 03, 04 e 05 à uma distância entre 1000 m e 2000 m em relação ao mar, e posteriormente então ela passa para a classe II (Moderada). Apenas o P14 (4000m) e o P24 (8000m) se apresentaram como classe III (Forte) e, portanto, diferentes do entorno.

Estes mapas foram gerados a partir dos resultados de todo o período de estudo, no entanto percebe-se que mesmo ao se comparar os valores máximos, estes valores variaram consideravelmente se comparados aos resultados de períodos diferentes do ano. Como exemplo tem-se a Figura 40a, que corresponde ao período de novembro de 2015 à maio de 2016 e a Figura 40b que corresponde ao período de junho de 2016 à outubro de 2016.

Figura 40 – Comparação entre a classe de agressividade ambiental (CAA). a) Período de nov/2015 à mai/2016. b) Período de jun/2016 à out/2016.



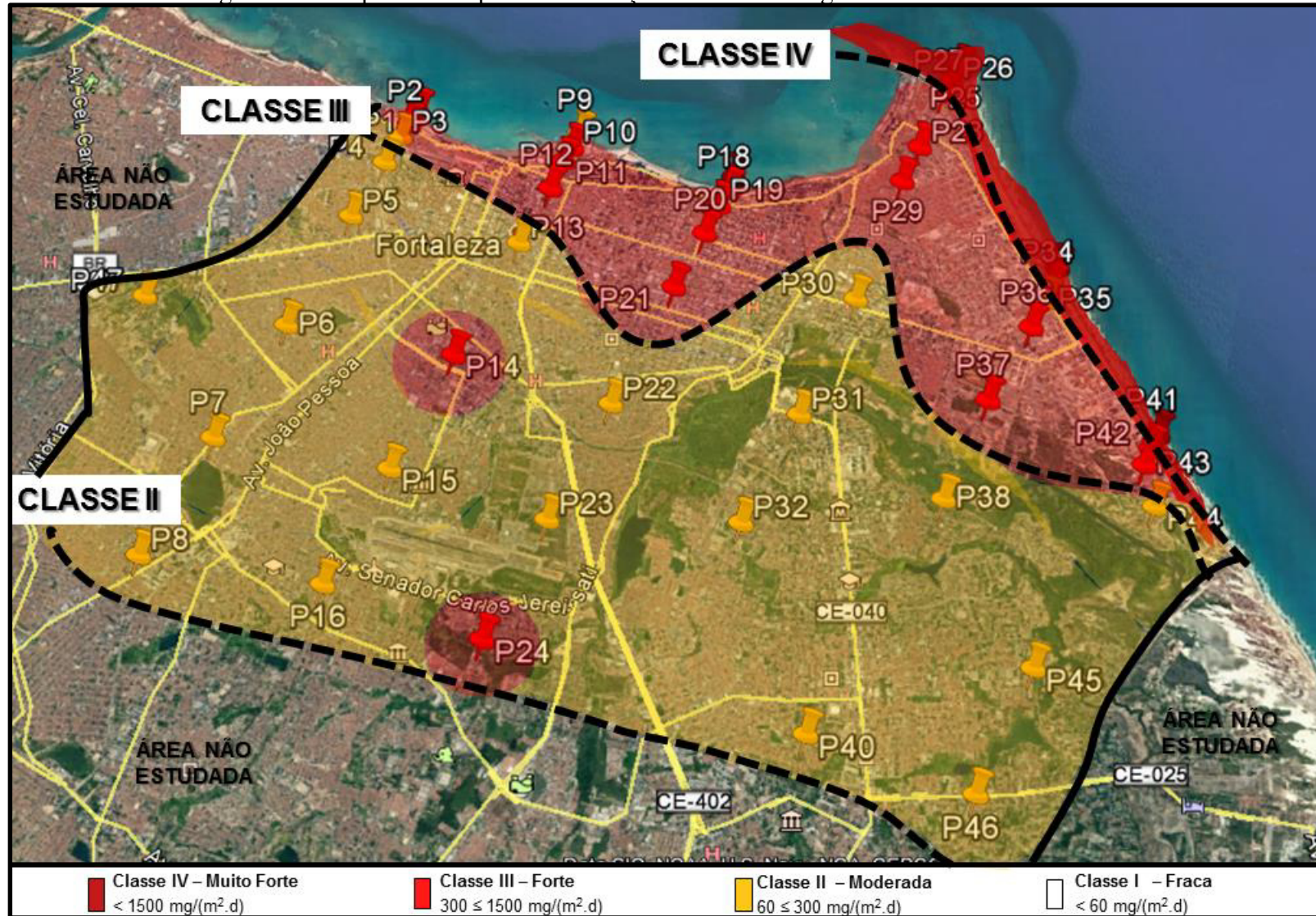
Fonte: Elaborado pela autora

Ao se considerar os valores máximos de novembro de 2015 à maio de 2016 (Figura 40a) percebe-se que a cidade como um todo se caracterizava como classe II (Moderada), apenas com a faixa litorânea da Praia do Futuro considerada como classe III (Forte) e um ponto (P41) considerado como classe IV (Muito Forte). O período seguinte de junho de 2015 à outubro de 2016 (Figura 40b), apresenta um comportamento bem diferente, apresentando-se como zona de agressividade IV à 250m na Praia do Futuro nos pontos 25 e 41. Percebeu-se também que a zona de agressividade classe II (Forte) se inicia a 250m do mar na Linha 01, 1000m na Linha 02, 2000m nas Linhas 03, 04 e 05, e 500m na Linha 06. A exceção são os pontos P14 (4000m) e o P24 (8000m), que são classe III (Forte).

Considerando que as estruturas ficarão expostas a todos os períodos do ano, sofrendo todas as influências da variação de ventos, temperatura, umidade, dentre outros, propôs-se uma classificação das zonas de agressividade da cidade a partir dos valores máximos de concentração de íons cloro, encontrados no períodos de estudo, onde se fez a classificação conforme descrita a seguir.

Para os primeiros 250m da Praia do Futuro sugere-se a classe IV (Muito Forte), seguindo como Classe III (Forte) até 2000m de distância em relação ao mar, finalizando com Classe II (Moderada), até aproximadamente os 8000m de distância. Para a região da Praia de Iracema e Beira-Mar se propõe que seja considerada Classe III (Forte), até os 2000m de distância em relação ao mar, com exceção na primeira linha onde pode ser considerado até os 1000m, e após, toda em toda a região da Praia de Iracema, pode ser considerada como classe II (Moderada), até os 8000m de distância. Sendo assim, observa-se que nenhum trecho da área pesquisada se apresenta como classe I (Fraca). Esta classificação está demonstrada no mapa a seguir (Figura 41) com a divisão das classes e demonstração da concentração do teor de íons cloro.

Figura 41 – Proposta final para classificação das zonas de agressividade em Fortaleza/CE



Fonte: Elaborado pela autora

## 5.2 Classificação conforme Meira (2010) e a 2ª lei de Fick

Segundo Meira (2010), uma maneira de estabelecer relações entre a taxa de deposição de cloretos sobre a vela úmida com o desempenho de estruturas de concreto é através de análise de vida útil. Para Cabral (2000), a segunda lei de Fick, apresentada na Equação 6, pode ser utilizada para prever a vida útil de um elemento de concreto armado, pois ao se conhecer os parâmetros desta equação é possível estimar o tempo em que os agentes agressivos poderão alcançar a armadura localizada a uma certa profundidade. O autor afirma que outra informação que poderá ser obtida é o tempo necessário para que a concentração de cloretos, na profundidade onde as armaduras estão localizadas, alcance a concentração limite para que haja corrosão.

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{X}{2\sqrt{D_{ef}.t}}\right) \quad (6)$$

Onde:

$C_x$  – Concentração dos cloretos na profundidade  $x$ , no tempo  $t$ ;

$C_0$  – Concentração inicial de cloretos no interior do concreto;

$C_s$  – Concentração de cloretos na superfície do concreto;

$X$  – profundidade considerada;

$D_{ef}$  – Coeficiente efetivo de difusão;

$t$  – duração de tempo considerado;

$\operatorname{erf}$  – função erro de Gauss.

A penetração de agentes agressivos para o interior do concreto pode ser modelada, segundo Cabral (2000), por outras formulações, no entanto a segunda lei de Fick é bastante empregada devido à sua extrema simplicidade de resolução matemática e pela sua consagração quando comparada às outras.

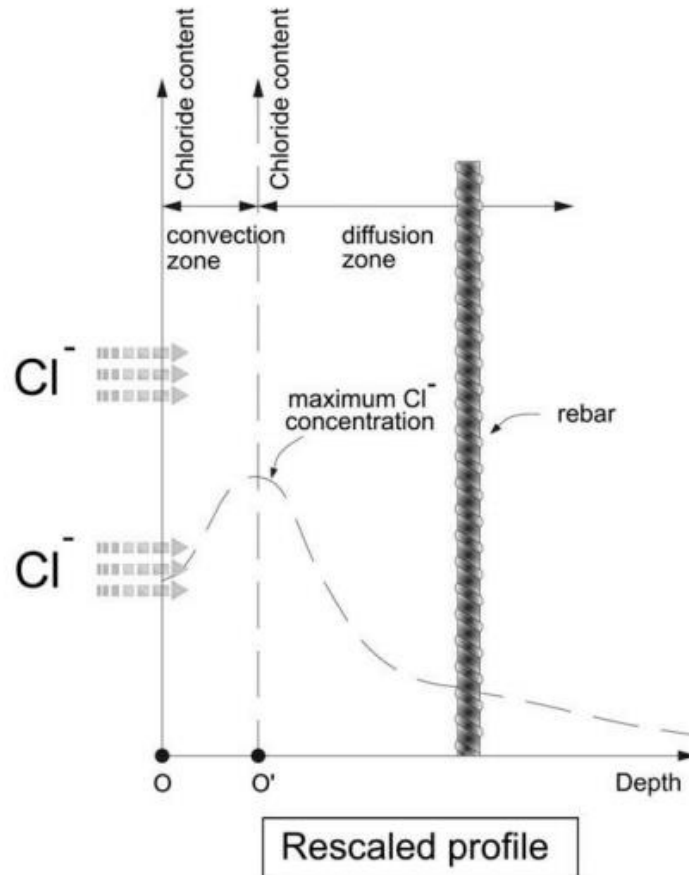
Para se utilizar a Equação 6 na determinação da classificação da agressividade ambiental da cidade de Fortaleza, utilizou-se a seguinte sequência:

### 1) Cálculo da concentração de cloretos na superfície do concreto ( $C_s$ )

Segundo Meira (2010), o transporte de cloretos para o concreto pode ser analisado considerando-se apenas a zona de difusão, que leva em consideração um reescalonamento dos perfis de cloreto a partir da extremidade da zona de convecção (Figura 42). Assumindo-se que a profundidade da zona convectiva não muda ao longo do tempo, que é uma aproximação às

condições reais, a concentração máxima de cloreto na interface entre as zonas convectiva e de difusão ( $C_{m\acute{a}x}$ ) significa o teor de cloreto superficial do perfil redimensionado.

Figura 42 - Representação esquemática das zonas



Fonte: Meira (2010)

Para calcular o parâmetro  $C_s$  necessário para uso da equação 6 utilizou-se a equação da concentração máxima de cloreto na interface entre as zonas de convecção e de difusão ( $C_{m\acute{a}x}$ ) apresentada por Meira (2010) (Equação 7). Tendo em vista que essa interface entre as zonas de convecção e difusão ocorre a poucos milímetros da superfície do concreto, considerou-se  $C_{m\acute{a}x}$  igual a  $C_s$ .

$$C_{m\acute{a}x} = C_0 + K_{cm\acute{a}x} \sqrt{D_{ac}} \quad (7)$$

Onde:

$C_{m\acute{a}x}$  – A concentração máxima de cloreto na interface entre as zonas de convecção e de difusão

$C_0$  - O teor inicial de cloretos no concreto

$K_{cm\acute{a}x}$  - É um coeficiente dependente do ambiente e material

$D_{ac}$  - É a deposição acumulada de cloretos na vela úmida.

Para o cálculo da  $C_{m\acute{a}x}$  utilizou-se como teor inicial de cloretos no concreto ( $C_0$ ) o valor de zero. Para o  $K_{cm\acute{a}x}$  (coeficiente dependente do ambiente e material) utilizou-se o valor de 0,027 para o cimento CPIV, dado este fornecido por Meira (2016) de um trabalho ainda não publicado, e o valor de 0,021 para o cimento CP II F, dado de Meira (2010). Para a deposição acumulada de cloretos na vela úmida (Dac), foram utilizados as médias obtidas com o ensaio da vela úmida durante o período de novembro de 2015 à outubro de 2016, dividindo-se a cidade em duas macroregiões, denominadas de região da Praia de Iracema (linhas 1, 2 e 3) e região da Praia do Futuro (linhas 4, 5 e 6). Para cada macroregião considerou-se ainda a distância em relação ao mar (50m, 250m, 500m, 1000m, 2000m, 4000m, 6000m e 8000m) e o tipo de cimento utilizado (CP IV e CP IIF). Os resultados do cálculo no  $C_{m\acute{a}x}$  encontram-se no Apêndice F.

## 2) Determinação do coeficiente efetivo de difusão (Def) para os concretos produzidos com CP II F e CP IV

O coeficiente de difusão de cloretos em concreto foi calculado conforme modelo matemático proposto por Pereira (2001). A autora propõe, a partir da análise estatística dos resultados obtidos em seus ensaios, o modelo matemático que é ajustado para as propriedades estudadas (Equação 8). Para a autora a penetração de cloretos depende do coeficiente de difusão, e este é governado pela relação água/cimento, pelo tipo de cimento, pela presença de adições minerais, pela temperatura e pelo tempo de exposição. A autora também utilizou para ensaios o cimento CP IV e CP II F.

Para coeficiente efetivo de difusão de cloretos (em  $\cdot 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s).

$$C_{Cl} = 3,95998 + 1,68574 * ac - 0,697335 * idade - 0,9577 * temp - 0,777977 * tcp \quad (8)$$

$$R^2=0,825$$

Pereira (2001) apresenta níveis codificados para cada uma das variáveis independentes utilizadas, conforme apresentado na Tabela 26. Com base nesta codificação, para a relação de água/cimento de 0,50, encontrou-se o código -0,0645. Logo, os dados codificados utilizados, foram:  $a/c=-0,0645$ ;  $Idade=1$ ;  $Temperatura=0,43$ ;  $Cimento\ CP\ IIF=-1$  e  $Cimento\ CP\ IV = 1$ .

Tabela 26- Níveis codificados

<b>Relação água/cimento</b>	Nível real	0,28	0,35	0,45	0,60	0,75
	Nível codificado	-1	-0,70	-0,28	0,36	1
<b>Idade</b>	Nível real	7	14	28	63	91
	Nível codificado	-1	-0,83	-0,50	0,33	1
<b>Temperatura</b>	Nível real	5	15	23	30	40
	Nível codificado	-1	-0,43	0,14	0,43	1
<b>Cimento</b>	Nível real	CP IIF		CP IV		
	Nível codificado	-1		1		

Fonte: Pereira (2001)

Com os dados codificados e o modelo matemático proposto por Pereira (2001) chegou-se aos seguintes coeficientes de difusão:

- CP IIF =  $3,520 \cdot 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s
- CP IV =  $1,964 \cdot 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s

### 3) Cálculo do teor de cloretos no concreto (Cx) na profundidade x e no tempo t

Para calcular a concentração dos cloretos na profundidade x, no tempo t (Cx), utilizou-se a simplificação da equação da segunda Lei de Fick, com as mesmas variáveis, apresentada na Equação 9.

$$Cx = Cs \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_{ef}.t}} \right) \right] \quad (9)$$

Onde:

C<sub>x</sub> – Concentração dos cloretos na profundidade x, no tempo t;

C<sub>s</sub> – Concentração de cloretos na superfície do concreto;

X – profundidade considerada;

D<sub>ef</sub> – Coeficiente efetivo de difusão;

t – duração de tempo considerado;

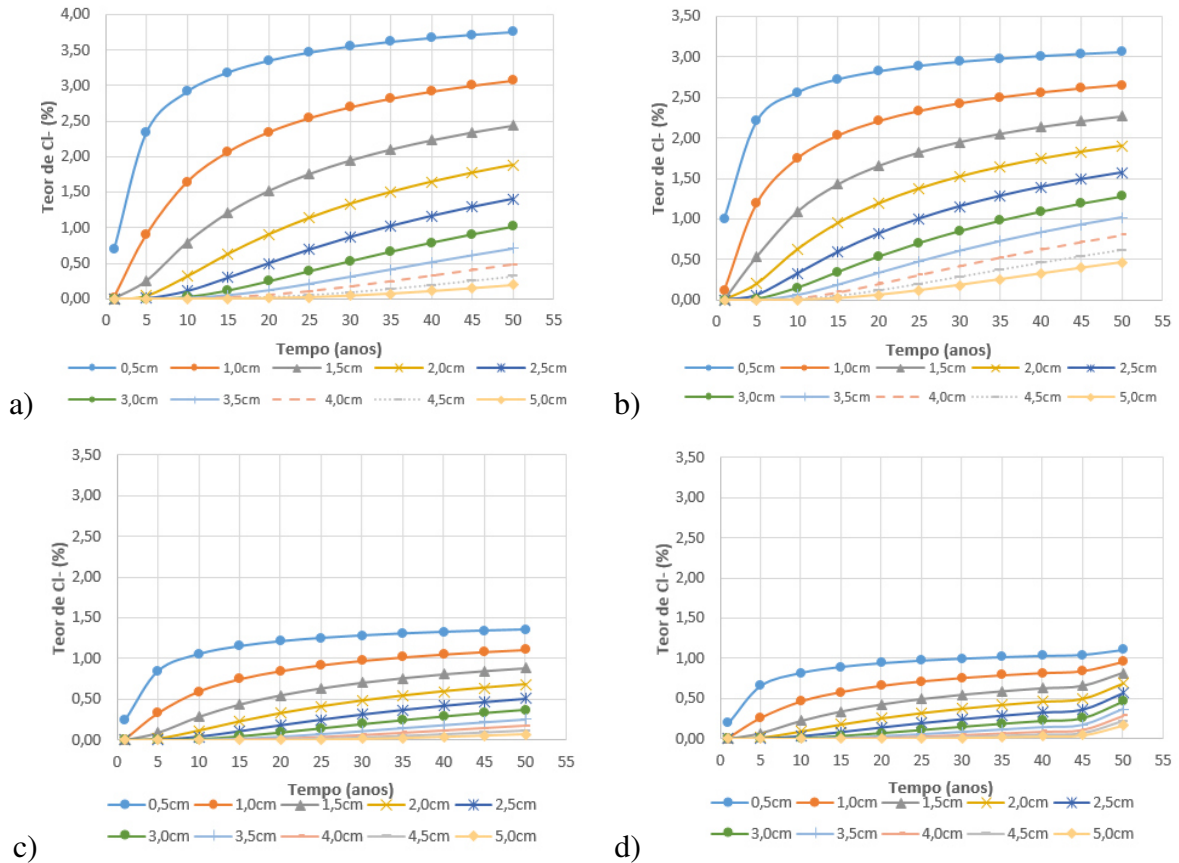
erf – função erro de Gauss.

Utilizando-se a equação 9 calculou-se a concentração de cloretos nas profundidades (x) de 0,5cm, 1,0cm, 1,5cm, 2,0cm, 2,5cm, 3,0cm, 3,5cm, 4,0cm, 4,5cm e 5,0cm no período de tempo (t) de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 anos, para cada distância do mar avaliada (50, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000 e 8000 metros) e para cada tipo de concreto com cimento utilizado (CP II F e CP IV).

Com os resultados para os primeiros 50m de distância em relação ao mar, percebeu-se que a concentração aumenta de forma muito elevada nos primeiros anos para os primeiros centímetros de profundidade, com o passar do tempo o teor de íons cloro passa a se manter

equilibrado em todos os anos. Nos Gráfico 12a, 12b, 12c e 12d percebe-se ainda que independente do ano, a concentração decaí conforme aumenta a profundidade e que para os 50 anos (tempo estimado para a vida útil da estrutura) na maior profundidade estudada (5,0cm) a concentração de íons cloro fica abaixo dos 0,40% máximo definido por norma.

Gráfico 12 - Profundidade de penetração do teor de íons cloro (%) por tempo (anos) para a distância de 50m em relação ao mar.

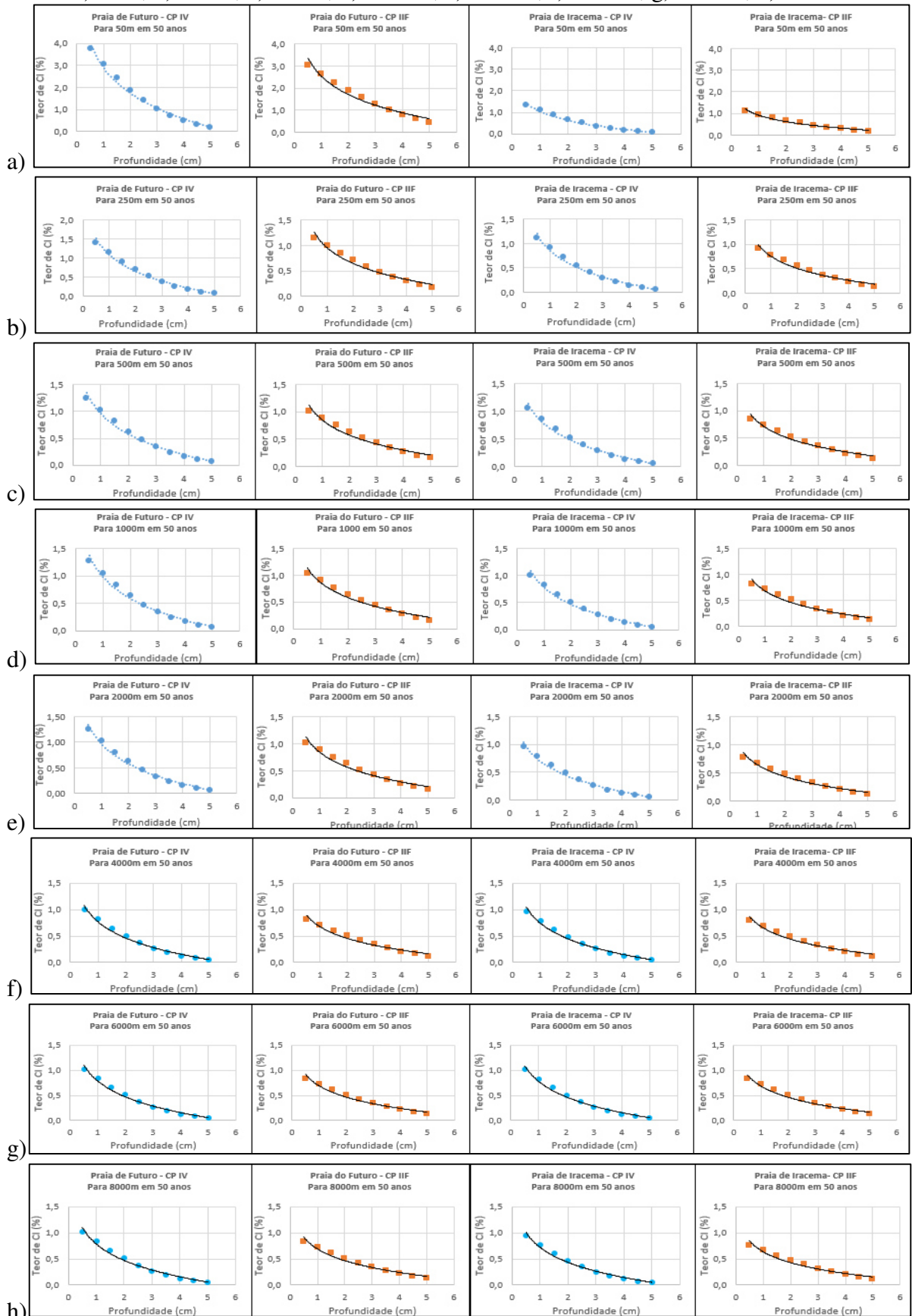


- a) Praia do Futuro – CP IV
- b) Praia do Futuro – CP IIF
- c) Praia de Iracema – CP IV
- d) Praia de Iracema – CP IIF

Fonte: Elaborado pela autora

Verificou-se também a relação entre concentração de íons cloro com a profundidade atingida em 50 anos por distância em relação ao mar e tipo de cimento, conforme apresentado na sequência dos Gráfico 13a a 13h.

Gráfico 13 - Teor de cloretos com a profundidade atingida em 50 anos por distância.  
 a) 50m, b) 250m, c) 500m, d) 1000m, e) 2000m, f) 4000m, g) 6000m, h) 8000m.



Fonte: Elaborado pela autora

Com as equações geradas pelos gráficos do teor de cloretos (%) em relação à profundidade (cm), pode-se determinar a profundidade exata da penetração do cloreto para um período de 50 anos, de onde a concentração de íons cloro atinge seu valor máximo de 0,40% no concreto. Esta determinação foi feita para todas as distâncias estudadas e está apresentada na Tabela 27.

Tabela 27- Profundidade que o teor de 0,40% de cloreto é atingido aos 50 anos.

Distância (m)	Profundidade (cm)			
	PRAIA DO FUTURO		PRAIA DE IRACEMA	
	CP IV	CP II F	CP IV	CP II F
<b>50</b>	4,45	5,99	2,91	3,27
<b>250</b>	2,98	3,44	2,52	2,72
<b>500</b>	2,76	3,07	2,40	2,53
<b>1000</b>	2,79	3,12	2,33	2,42
<b>2000</b>	2,75	3,06	2,21	2,42
<b>4000</b>	2,30	2,38	2,23	2,28
<b>6000</b>	2,35	2,45	2,33	2,42
<b>8000</b>	2,35	2,45	2,20	2,20

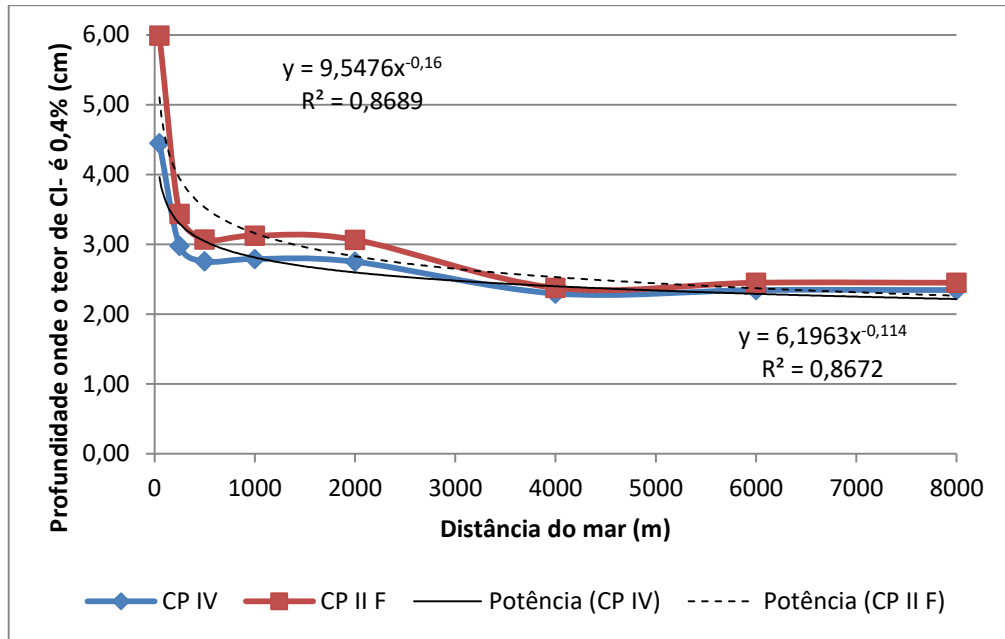
Fonte: Elaborada pela autora

Verifica-se que à medida que se afasta do mar a penetração de íons cloro diminui tanto para o cimento CP IV quanto para o CP IIF. Este comportamento é percebido tanto na região da Praia do Futuro quanto na região da Praia de Iracema.

Observa-se ainda que na Praia do Futuro, com o cimento CP IIF, com distância de 50 metros em relação ao mar, o teor crítico de cloretos chega a 5,99cm, logo, o cobrimento máximo de 5,0cm para viga/pilar e de 4,5cm para vigas, indicado na NBR 6118 (ABNT, 2014) para classe de agressividade IV, não seria suficiente e uma estrutura nestas condições não atenderia a previsão de vida útil de 50 anos.

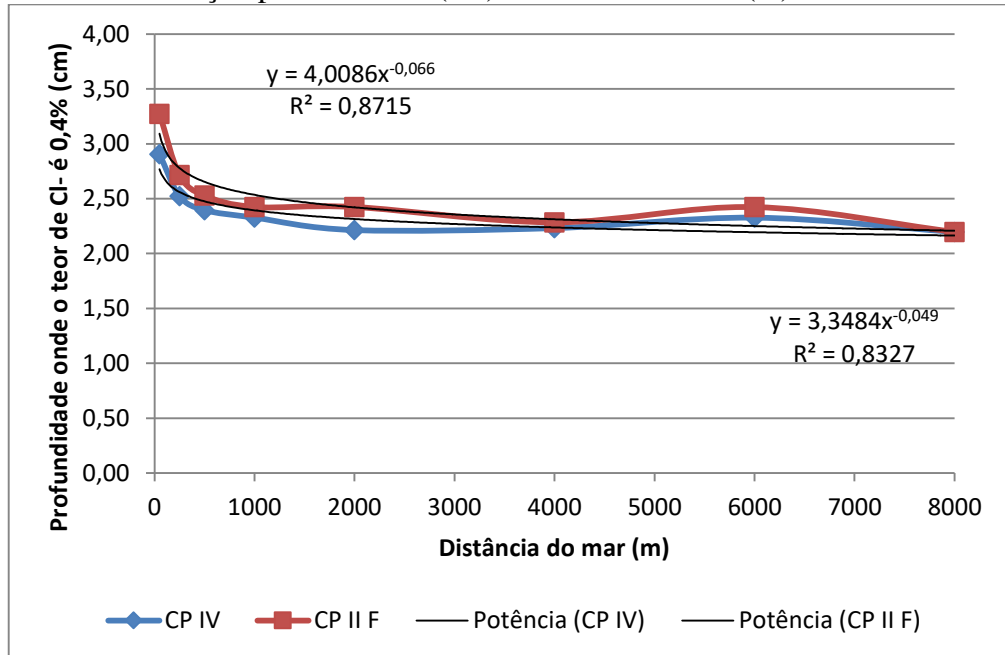
A partir desses dados originaram-se então os gráficos da relação profundidade por distância e tipo de cimento para a Praia do Futuro (Gráfico 14) e para a Praia de Iracema (Gráfico 15), onde se percebeu o comportamento similar ao da relação concentração de íons cloro com distância do mar: quanto maior a concentração, maior a profundidade de penetração desses íons no concreto.

Gráfico 14 - Relação profundidade (cm) e distância ao mar (m) – Praia do Futuro



Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 15 - Relação profundidade (cm) e distância ao mar (m) – Praia de Iracema



Fonte: Elaborado pela autora

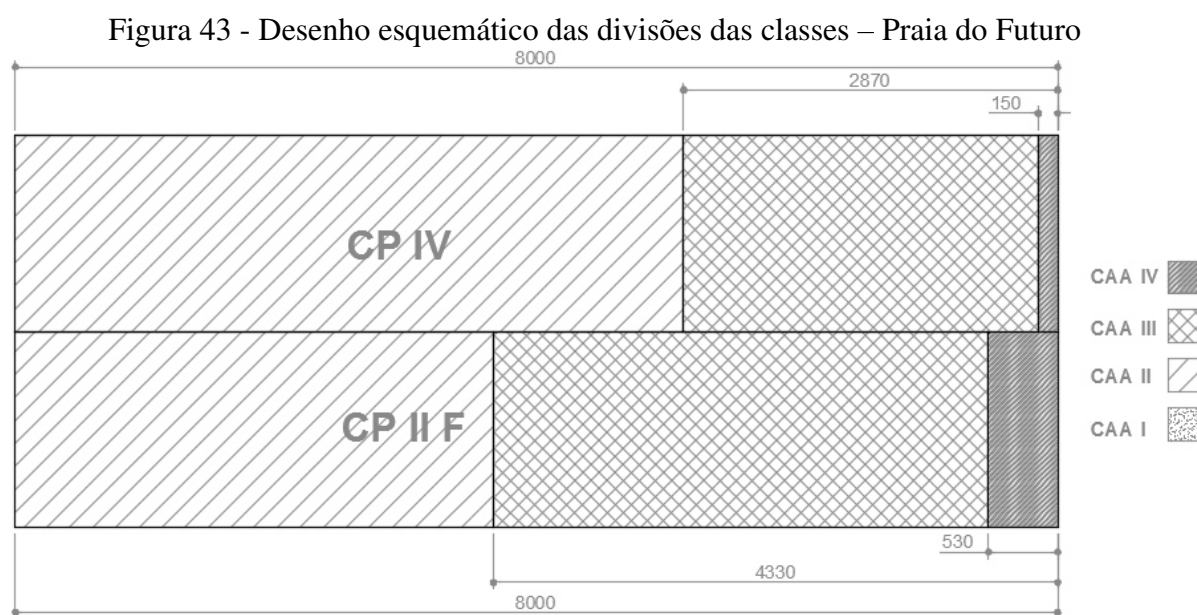
Com as equações oriundas destes gráficos, considerando que x é a distância e y a profundidade, pode-se definir a profundidade aonde o teor de íons cloro chega a 0,40% em qualquer distância e vice versa. Fez-se uma correlação dos resultados encontrados com a NBR 6118 (ABNT, 2014), norma esta que apresenta uma relação do cobrimento nominal com as classes de agressividade ambiental, como foi apresentado no referencial teórico no Quadro 6.

Esta norma define um cobrimento nominal para classe de agressividade III, de 40mm para viga/pilar e 35mm para lajes. Partindo-se desta premissa calculou-se, através das equações do Gráfico 14 e do Gráfico 15, as distâncias necessárias para que o teor crítico de cloretos (0,40%) atingissem o limite desses cobrimentos, de onde então se pode definir a distância limite para a classe de agressividade III, e conseqüentemente das classes adjacentes (classe II e classe IV). Levando em consideração as diferenças entre regiões e tipos de cimento, esta classificação foi feita de forma separada como apresentado no Quadro 10 e nas Figura 43 e 44, para as regiões da Praia do Futuro e da Praia de Iracema, respectivamente.

Quadro 10 - Divisão das classes de agressividade ambiental por distância

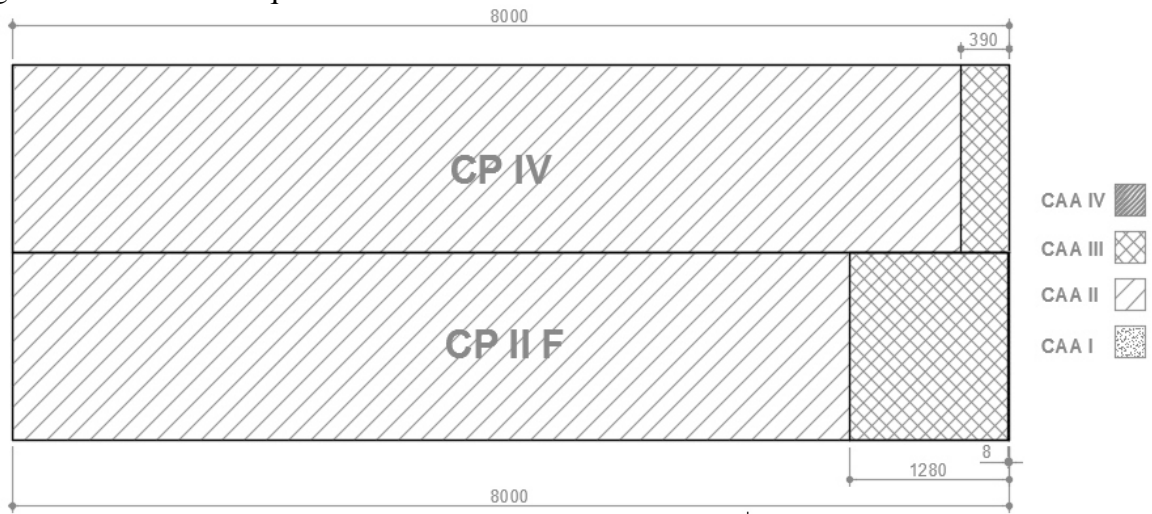
REGIÃO	TIPO DE CIMENTO	CLASSE DE AGRESSIVIDADE			
		I	II	III	IV
PRAIA DO FUTURO	CP IIF	-	4330-8000m	530-4330m	0-530m
	CP IV	-	2870-8000m	150-2870m	0-150m
PRAIA DE IRACEMA	CP IIF	-	1280-8000m	8-1280m	0-8
	CP IV	-	390-8000m	0-390m	-

Fonte: Elaborado pela autora



Fonte: Elaborado pela autora

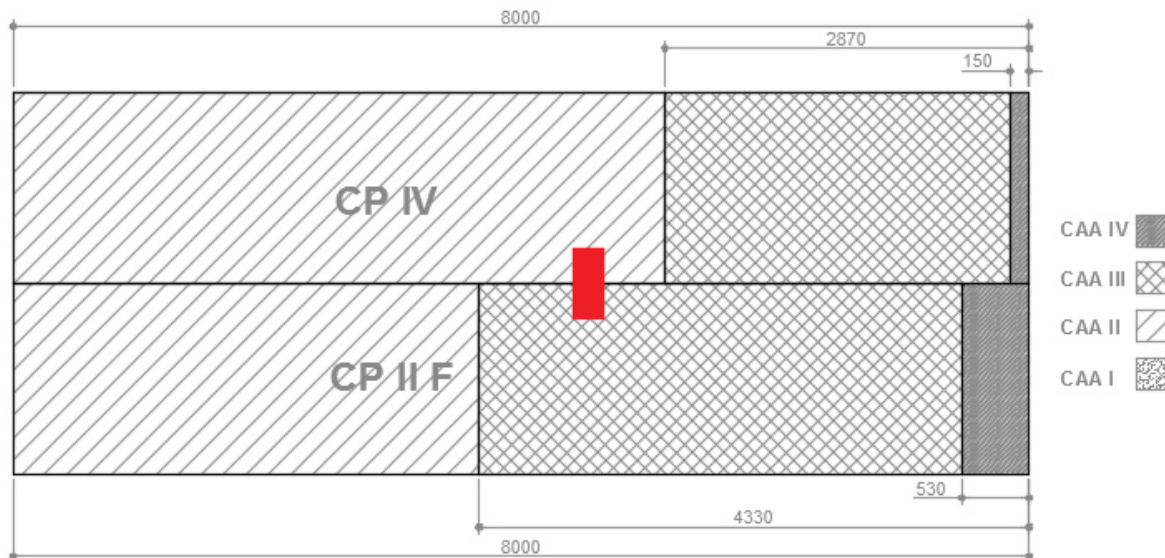
Figura 44 - Desenho esquemático das divisões das classes – Praia de Iracema



Fonte: Elaborado pela autora

Verifica-se com estes resultados que a delimitação da classe de agressividade ambiental vai variar em função dos tipos e características dos materiais utilizados na estrutura. Como exemplo, ao se considerar os valores e divisões das classes de agressividade ambiental acima mencionados, para uma estrutura localizada na Praia do Futuro há 3200 m de distância do mar (Figura 45), percebe-se que se ela for projetada com concreto que utiliza o cimento CP IV, ela estará situada na zona de agressividade classe II (Moderada). No entanto, se a mesma for construída com concreto que utiliza o cimento CP II F, a mesma estará situada na zona de agressividade classe III (Forte).

Figura 45 – Situação hipotética na Praia do Futuro

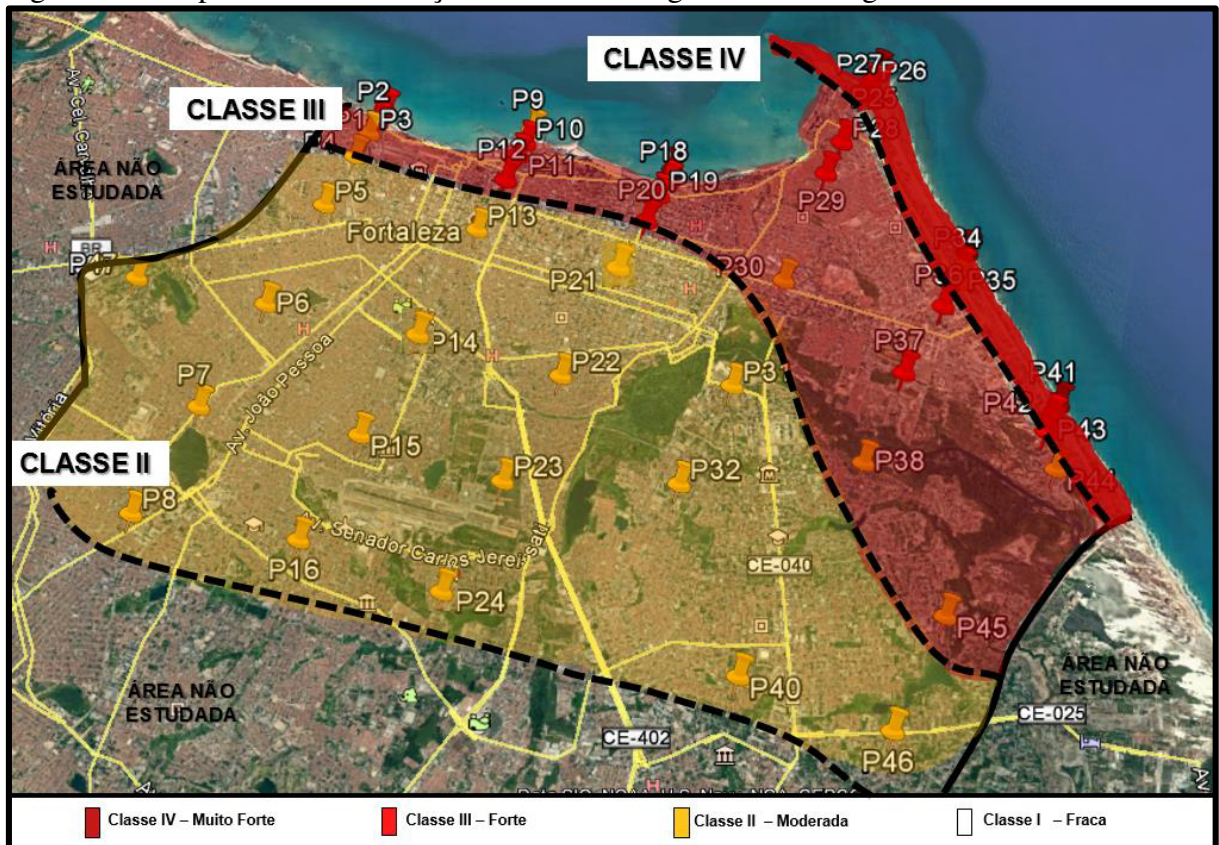


Fonte: Elaborado pela autora

Esta diferença está relacionada com os cimentos dos concretos, onde o concreto com o CP IV apresenta menor porosidade se comparado ao concreto com o CP II F. Logo, para esta obra, se construída com cimento CP II F precisará atender requisitos para classe de agressividade III (Forte), com maiores cobrimentos nominais para as armaduras, gerando mais custos para a construção, enquanto que se construída com CP IV, precisará atender requisitos para a classe de agressividade II (Moderada), reduzindo custos no valor global da obra.

No entanto, para propor uma classificação das zonas de agressividade ambiental, levou-se em consideração o concreto com o cimento CP II F, haja vista que as distâncias encontradas também contemplam o concreto com o cimento CP IV. No caso inverso, se adotada as distâncias para o concreto com o cimento CP IV, não atenderia o concreto produzido com o cimento CP II F. Assim, a proposta de classificação das zonas de agressividade ambiental para a cidade de Fortaleza, baseada na 2ª lei de Fick está apresentada na Figura 46.

Figura 46 - Proposta de classificação das zonas de agressividade segundo a 2ª lei de Fick.



Fonte: Elaborado pela autora

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho são apresentadas as conclusões relativas as características climatológicas, a deposição de íons cloro no ar atmosférico pelo método da vela úmida e a penetração de cloreto em corpos-de-prova de concreto expostos na cidade. Também são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

A cidade de Fortaleza ainda não possui nenhum tipo de delimitação das zonas de agressividade ambiental, o que torna a classificação subjetiva durante o processo de projeto. Esta dissertação procurou estudar o comportamento da agressividade no ar atmosférico da cidade e espera-se, contribuir para o aprofundamento deste conhecimento e assim nortear as próximas construções, levando em consideração a zona da cidade, primando pela durabilidade das estruturas.

### 6.1 CONCLUSÕES

Constatou-se com os resultados deste estudo, a alta agressividade do meio ambiente quanto à névoa salina, no que diz respeito à concentração de íons cloro, na cidade de Fortaleza.

Com os estudos da climatologia se verificou com o comportamento do vento, velocidade e direção, que quanto maior a velocidade do vento maior a concentração de íons cloro e a direção do vento, predominantemente vindo do leste e do sudeste, contribuem para que a Praia do Futuro se apresente mais agressiva. A posição geográfica da cidade de Fortaleza no globo terrestre também colabora para que ela se apresente como uma das mais agressivas do mundo, em função das correntes superficiais oceânicas e da salinidade superficial do oceano. A umidade relativa do ar e a precipitação pluviométrica foram inversamente proporcionais a concentração de cloretos. A temperatura média manteve-se nos limites esperados, entre 26° e 28°, a elevada temperatura pode ter elevado o teor de cloretos livres na água dos poros.

Com a coleta de dados pelo método da vela úmida percebeu-se que a concentração de íons cloro no ar atmosférico diminuiu exponencialmente à medida que se afasta do mar. A concentração nos primeiros metros se dá de forma diferenciada na Praia de Iracema e a Praia do Futuro, sendo que a última apresenta valores muito superiores, no entanto, e que a partir de 500 m a 1000 m estes teores são similares para as duas regiões da cidade de estudo. Verificou-se ainda que em um mesmo ponto a variação da concentração se dá em decorrência dos meses, se apresentando mais elevado nos períodos de maior velocidade do vento.

Ao se comparar com outras cidade estudadas no Brasil percebe-se que nos primeiros metros de distância do mar, a cidade de Fortaleza, na Praia do Futuro, apresenta

resultados superiores aos das outras cidades. Quando comparada a outras cidades no âmbito internacional ela apresenta o mesmo comportamento, se mostrando mais agressiva do que as outras cidades pesquisadas.

No que diz respeito a penetração de cloreto em corpos-de-prova de concreto, verificou-se que o tempo de exposição não foi suficiente para obter-se valores significativos, logo, é necessário um estudo com um tempo de exposição maior para verificar os dados.

Para se classificar as zonas de agressividade ambiental da cidade, partiu-se dos resultados encontrados de concentração de cloreto e utilizou-se a relação de entre a ABNT NBR 14643 com a ABNT NBR 6118, de acordo com Vilasboas, e outra proposta com base na segunda lei de Fick. Nas duas propostas a região da Praia do Futuro apresenta as classes de agressividade IV (Muito Forte), III (Forte) e II (Moderada), enquanto que a região da Praia de Iracema tem-se apenas as classes III (Muito Forte) e II (Moderada). Na primeira proposta percebe-se que a classe IV (Muito Forte) se estende por uma área maior na Praia do Futuro, e que a classe III (Forte) ocupa grande região da Praia de Iracema, diferentemente da segunda proposta, onde a classe II (Moderada) tem uma abrangência maior, predominando na maior área da cidade.

Confirma-se portanto que a cidade é altamente agressiva, nos primeiros metros de distância do mar, requerendo portanto diretrizes construtivas especiais para manter a durabilidade das construções nesta área.

## **6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Realizar os ensaios de teor de penetração de cloretos em corpos de prova de concretos com outros tipos de cimento, tais como CP II Z 32, CP III e CP V, haja vista a grande utilização destes na cidade de Fortaleza;
- Fazer levantamento da concentração de íons cloro em toda a cidade, por um período mínimo de 2 anos, para verificação das possíveis variações anuais;
- A instalação de pilaretes com tipos de concreto compatíveis com as exigências da NBR 6118/14 para verificação do limite crítico de cloretos que provoca a despassivação da armadura na Região da Praia do Futuro e simulação da vida útil dessas estruturas;
- Determinar, através de ensaio específico, os reais coeficientes de difusão para os diferentes tipos de concreto;
- Fazer avaliação e comparação dos custos entre estruturas construídas na Região da Praia do Futuro com as construídas na Praia de Iracema;

- Avaliar concretos com resistências superiores à 30 MPa exposto na região da Praia do Futuro e Praia de Iracema;
- Fazer software que indique, através de endereço selecionado, a relação concentração de íons cloro presente no local com as características construtivas aplicáveis para melhor atender a vida útil da estrutura.

## REFERÊNCIAS

ABBAS, Saffer; SOLIMAN, Ahmed M.; NEHDI, Moncef L. Chloride Ion Penetration in Reinforced Concrete and Steel Fiber-Reinforced Concrete Precast Tunnel Lining Segments. International Concrete Abstracts Portal. Publication: **Materials Journal**. v. 111. p. 613-622. 2014

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia prático de utilização do cimento Portland**. Boletim técnico. São Paulo: ASBP, 2002.

ALBUQUERQUE, Augusto T.; OTOCH, Sergio. **Proposta de classificação da agressividade do ambiente na cidade de Fortaleza**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47. 2005, Olinda. Anais. Olinda: IBRACON, 2005. p. 743-748

ALEXANDRE, José Alberto Alfonso. **As correntes marinhas**. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 2008.

ALVES, Amara Midia Correa. **Contribuição à análise da perspectiva de vida útil de estruturas em concreto face ao teor de cloreto registrado em Maceió-AL**. 2007. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

AMBLER, H.R.; BAIN, A.A.J. Corrosion of metals in the tropics. **Journal of Applied Chemistry**. p.437-467, 1955.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 2012. 459 p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 201.2R-01 – Guide to Durable Concrete**. Detroit (USA), 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D512-89**: Standard test methods for chloride ion in water, USA, 1989.

\_\_\_\_\_. **ASTM E632-82: Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials**. West Conshohocken (PA), USA, 1996.

AMORIM, Anderson Anacleto. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. 74 p. Monografia (Especialização em construção civil) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2010.

ANDRADE, Carmem. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo, PINI. 1992. 104 p.

ANDRADE, Jairo Jose de Oliveira. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco.** (Dissertação de Mestrado). UFRS, Porto Alegre, 1997. 148 p.

ANDRADE, Jairo Jose de Oliveira. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768:** Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação** — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 14832: Cimento Portland e clínquer - Determinação de cloreto pelo método do íon seletivo.** Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15577: Agregados - Reatividade álcali-agregado.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15577-1: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15900: Água para amassamento do concreto – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 5736: Cimento Portland pozolânico. Especificação.** Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5737: Cimentos Portland resistentes a sulfatos.** Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 6211: Corrosão atmosférica - Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida.** Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Notas de aula da disciplina Estruturas de Concreto 1.** Bauru/SP. Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista. 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Notas de aula da disciplina Concretos Especiais**. Bauru/SP. Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista. 2016.

BEBIANNI, Maria João. **Notas de aula da disciplina Introdução às ciências do mar – módulo: Oceanografia química**. Faro, Portugal, 2007.

BICZÓK, Imre. **Corrosion y protección del hormigón**. Trad. Emílio J. Dócon Asensi. Bilbao: Urno, 1972.

BORBA JUNIOR, José Carlos. **Agressividade ambiental em zona de atmosfera marinha: estudo da deposição de cloretos e sua concentração em concretos na região sudeste**. 2011. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2011.

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

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. **Avaliação dos sistemas de reparo utilizados em estruturas atacadas por cloretos através da resistência de polarização**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. **Notas de aula da disciplina Patologia das Edificações**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2014.

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

CÁNOVAS, Manuel Fernandes. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: PINI, 1988.

CASTAÑEDA, Abel; et al. Atmospheric Corrosion of Reinforced Concrete Steel in Tropical Coastal Regions. **Engineering Journal**, v. 17 n. 2. 2012

CIB W80/RILEM 175-SLM. **Prediction of service life of building materials and components**. In: Conseil International du Bâtiment pour la Recherche L'étude et la Documentation e Réunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions, Rotterdam, 1983. p. 98.

COSTA, Eduardo Antônio Lima. **Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador**. 2001. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2001.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. **Adições minerais para concreto estrutural**. In: Geraldo Isaia. (Org.). **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. 1ed. São Paulo: IBRACON, v. 1, 2005, p. 1-31.

DESPIAU, S., COUGNENC, S. and FRESH, F. Marine and atmospheric aerosol measurements on the Mediterranean Coast. Laboratoire d'Océanographie Physique de Toulon, La Garde cedex, *Journal of Aerosol Science.*, v. 22, Suppl. I, p. S645-S648, 1991.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN-4030 Part 1. Assessment of water, soil and gases for their aggressiveness to concrete: principles and limiting values.** Berlin, Germany, 1991.

DOTTO. Joseanne Maria Rosarola. **Ataque por íons de cloreto custa R\$ 800 milhões por ano ao Brasil.** Entrevista concedida a Altair Santos, 01 de agosto de 2012. Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/ataques-por-ions-de-cloreto-custa-r-800-milhoes-por-ano-ao-brasil/> Acesso em 15.09.2016.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **Structural concrete: textbook on behaviour, design and performance updated knowledge of the CEB/FIP model code 1990.** Bulletin n° 1, Suíça, 1999, 232p.

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

FRANÇA, Esdras Poty de. **Tecnologia Básica do Concreto.** In: Apostila Curso Engenharia de Produção Civil. Disciplina materiais de construção. CEFET. Belo Horizonte. 2004. p. 7-13.

GARCIA, Raphael Barp. **Avaliação da atmosfera marinha em estruturas de concreto na região de Florianópolis – SC.** 2008. 193 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2008.

GARCIA, Eduardo; et al  
. **Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV): Uma Alternativa como Material Pozolânico.** Cerâmica Industrial. v. 19, p. 31 – 38, 2014.

GARCIA, Raphael Barp.; PADARATZ, Ivo José. ; SZPOGANICZ, Bruno. **Agressividade marinha medida pela taxa de deposição de cloretos na região da Grande Florianópolis.** In: 49o. Congresso Brasileiro do Concreto, 2007, Bento Gonçalves. CBC 2007. São Paulo: Arte Interativa, 2007. v. 1. p. 420-431.

GUEDES, Roberto Lage; et al. Série temporal de precipitação mensal de fortaleza, brasil: comparação entre observações e dados de reanálise do NCEP/NCAR. *Revista Brasileira de Meteorologia.* v. 20, n. 1, p. 83 – 92, 2005.

GUSTAFSSON, Mats E. R.; FRANZÉN, Lars G. Dry deposition and concentration of marine aerosols in a coastal area, SW SWEDEN. Goteborg University, Earth Sciences Centre, Department of Physical Geography. *Atmospheric Environment.* v. 30, n. 6, p. 977-989, Sweden, 1996.

HELENE, Paulo Roberto do Lago.. **Manual para reparo, reforço e proteção das estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. Vida útil das estruturas. **Téchne**, n. 17, julho/agosto, p. 28-31, 1995.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Vida útil das estruturas de concreto**. In: IV Congresso Ibero-Americano de Patologia das Construções e IV Congresso de Controle de Qualidade. **Anais...** Porto Alegre, 1997. v.1, p. 1-30.

HELENE, Paulo Roberto do Lago.. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Pini, 1986.

KHANDAKER, M. A., HOSSAIN e EASA, S. M. **Spatial distribution of marine salts in coastal region using wet candle sensors**. Dept. of Civil Engineering, Ryerson University, Toronto, 2011.

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

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**. Brasília, DF, 2016

LEE, Jong-Suk.; MOON, Han-Young. Salinity distribution of seashore concrete structures in Korea. **Building and Environment**. v. 41.p.1447–1453. 2006.

McKAY, W. A.; et al. The Characteristics of the shore-line sea spray aerosol and the landward transfer of radionuclides discharged to coastal sea water. **Atmospheric Environment**, v. 28, n20 p 3299-3309, 1994.

MARINE SCIENC. **An illustrated guide to Science**. Chelsea House Publishers. 2006.

MARTIN, Juan Fernando Matias. **Aditivos para Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. v. 1. Cap. 13, p. 381-406.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 22

MEIRA, Gibson Rocha; PADARATZ, Ivo José. **Efeito do distanciamento em relação ao mar na agressividade por cloretos**. In: 44º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Anais...** Belo Horizonte, IBRACON, 2002.

MEIRA, Gibson Rocha; et al. Chloride penetration into concrete structures in the marine atmosphere zone – relationship between deposition of chlorides on the wet candle and chlorides accumulated into concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, p. 667-676, 2007.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2013.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

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

MUSTAFA, M. A.; YOSOF, K. M.. **Atmospheric chloride penetration into concrete in semi-tropical marine environment**. Department of Civil & Structural Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia 43600 UKM Bangi, West Malaysia. **Cement and Concrete Research**, v. 24, n. 4, p. 661-670, 1994.

NEPOMUCENO, Antônio Alberto. **Mecanismo de Transporte de Fluidos no Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, p.793-827.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo. PINI, 1997.

NEVILLE, Adam M.; BROOKS, Jeffrey J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman. 2013. 452 p.

NOGUEIRA, Kelson. **Reação álcali-agregado: diretrizes e requisitos da ABNT NBR 15577/2008**. 2010, 93 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte, 2010

OLIVEIRA, Paulo César. M. **Avaliação do teor de deposição de íons cloreto na atmosfera da praia de Iracema em Fortaleza/CE**. 2013. 59 f. Monografia – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2013.

PAULETTI, Cristiane. **Estimativa da carbonatação natural de materiais cimentícios a partir de ensaios acelerados e de modelos de predição**. 2009. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PASTANA, Carlos Eduardo Troccoli. **Notas de aula da Técnica das Construções 1. Umidade e impermeabilizações**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2014.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto e Construções**. Ibracon. 53, p. 14- 19, jan/mar. 2009.

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

PONTES, Ronaldo Bezerra. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, 2006.

PORTELLA, Caio Sander A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos segundo a ABNT NBR 6118:2007 e expostos aos cloretos disseminados em névoa salina na Praia**

**do Futuro, em Fortaleza-Ce.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

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

ROQUE, James AAntonio; MORENO JR, Armando Lopes. **Considerações sobre vida útil do concreto.** *In:* 1º Encontro Nacional de Pesquisa Projeto e Produção em Concreto pré-moldado. São Carlos (SP), 2005.

SICA, Yuri Cleverthon. **Mapeamento da corrosividade atmosférica de São Luís – MA e a correlação das variáveis ambientais que influenciaram na degradação dos materiais metálicos.** 2006. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Ciências dos Materiais) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2006.

SILVA, Felipe Alisson. S. **Avaliação de teor de íons cloreto no ar atmosférico da praia do futuro em Fortaleza/Ce.** 2011. 59f. Monografia – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SILVA, Gustavo Rodrigues. **Características de vento da região nordeste: Análise, modelagem e aplicações para projetos de centrais eólicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013

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

SWAMMY, R.N.; HAMADA, H.; LAIW, J. C. **A critical evaluation of chloride penetration into concrete in marine environment.** *In:* PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CORROSION AND CORROSION PROTECTION OF STEEL IN CONCRETE (Edited by Swamy, 1994: Sheffield – UK). Proceedings. Sheffield: Sheffield Academic Press, 1994. p. 404-419.

SUZUKY. Kyle.; ROBERTSON, Ian N. **Atmospheric Chloride Deposition Rate for Corrosion Prediction on Oahu.** 2011. 67 p. Department of Civil and environmental Engineering. College os Engineering, University of Hawaii at Manoa. 2011.

TANG, Luping; ANDERSEN, A. **Chloride ingress data from five years field exposure in a Swedish marine environment.** *In:* SECOND INTERNATIONAL RILEM WORKSHOP ON TESTING AND MODELLING CHLORIDE INGRESS INTO CONCRETE. Proceedings. Paris: RILEM, 2000.

TAYLOR, Nancy J.; WU, Jin. Simultaneous measurements of spray and sea salt. **Journal of Geophysical Research**, v.97, n. C5, p. 7355-7360, 1992.

TEN HARKEL, M. J. The effects of particle-size distribution and chloride depletion of sea-salt aerosols on estimating atmospheric deposition at a coastal site. 1997. **Atmospheric Environment**. v. 1. 31, n. 3, p. 417-427, Great Britain. 1997.

TROIAN, Aline. **Avaliação de concretos produzidos com agregado reciclado frente a penetração de íons cloreto**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNISINOS, São Leopoldo (RS), 2010.

UEDA, T.; TAKEWAKA, K. Performance-based Standard Specifications for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan. **Structural Engineering International**, v. 4, p. 359-366, 2007.

VILASBOAS, José Marcílio Ladeia. **Estudo dos mecanismos de transporte de cloretos no concreto, suas inter-relações e influência na durabilidade de edificações na cidade do Salvador-BA**. 2013. 323 pg. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2013.

VILASBOAS, José Marcílio Ladeia.; MACHADO, Sandro Lemos. Uma proposta de classificação da agressividade ambiental para a cidade de Salvador-BA. **Revista Estruturas e Materiais**. IBRACON. v. 3, n. 2, p. 219 – 247, 2010.

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

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

## APÊNDICE A – AGRADECIMENTOS

Agradeço às empresas e proprietários dos imóveis que permitiram a instalação das estações de monitoramento para coleta de dados, durante todo o período de estudo, a saber:

- Ao Comte Mário Luís Machado Brandão, da Escola de Aprendizes Marinheiros do Ceará;
- Aos Sr. Hebernildo e Sra. Elenita, do condomínio Mathias Becker;
- Ao Sr. Alexandre Braga, da empresa Platinum Metais;
- Ao Sr. Francisco Cajazeira, do Centro Espirita;
- À diretora Cláudia Cunha Melo e a Professora Francisca Viana, da Escola Municipal Antônio Sales;
- Ao Sr. Radiê, da oficina mecânica na Parangaba;
- À Sra. Paula Andrea e ao Sr. José, do Residencial Francisco Ponte;
- À Sra. Rosa Keller, do Condomínio Vila de Iracema;
- Aos Srs. Sr. Paulo Linhares e ao Engenheiro Osvaldo, do Instituto de Arte e Cultura do Ceará – IACC (Dragão do Mar);
- Aos Srs. Agenor Lopes da Silva e Dyego, da empresa Sindgel CE;
- À Sra. Diretora, Ir. Rejane Maria Barbosa e ao Sr. Charles, do Colégio Imaculada Conceição;
- À Sra. Maria Araújo Albuquerque;
- Ao Comt Gen Div Marco Antônio Freire Gomes, do Comando 10º Região Militar – Fortaleza - Exército Brasileiro;
- À Sra. Neuzilânia;
- Aos Srs. Máximo Baraglia e Giusepe Miglorati, do Instituto ir. Giulina Gale;
- A Sra. Alcina, do Condomínio Palácio Atlântico;
- À Sra. Silvia Pinheiro Coelho, do Condomínio Liz;
- À Sra. Ana Elise, do Condomínio Atibaia;
- Ao Sr. Reimar Barata, da Comunidade Shalom;
- Ao Sr. Diego Leite de Oliveira, da empresa NP informática;
- À Sra. Fabíola Farias;
- Ao Sr. Antônio Bezerra;
- À Diretoria da Escola Jenny Gomes;
- À Sra. Sheila Roberta, da distribuidora Água Flora;
- Ao Sr. João Carlos;

- À Sra. Deuzuita Novaes;
- Ao Sr. Paulo Henrique, da empresa Nacional Gás;
- À Sra. Conceição, da empresa GME – Gordura e Margarina Especiais Grupo M. Dias Branco;
- Ao Sr. André Schramm, da CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará;
- Aos Srs. André Campos e Ceison, do Condomínio San Francisco;
- À Sra. Maria Inês Dias de Sousa Ferreira, da Loja Sedona;
- Ao Sr. Igor, da empresa MELOC Locação de Equipamentos;
- Ao Sr. Antônio Saturnino Lopez, da Barraca Saturno;
- Ao Sr. Carlos Augusto Fugi, da empresa Level 3;
- À Professora Ceíça, da Escola Municipal Ceí Dom Aloisio Lorscheider;
- Ao Dr. Jaime Cavalcante de Alencar Albuquerque, da Secretaria Municipal de Educação;
- Ao Sr. Lucas Barroso e a Sra. Celeste, da empresa Terra Bella Motores;
- Aos Srs. Maurício e Paulo Lopes, da M. Dias Branco;
- Ao Sr. Leonardo Rodrigues, da Escola De Equitação Christus;
- Ao Sr. Edenilson, da Igreja Comunidade da Fé;
- Ao Sr. Eduardo Rodrigues Aragão, da Barraca do Pipoca;
- Aos Srs. 1º secretário Pr. Antônio Carlos de Lyra e Pr. Elder, da IEADTC – Igreja Evangélica Assembléia de Deus do Templo Central;
- Ao Sr. Tarcísio;
- À Diretora Nilces de Alencar, da Escola Sol;
- À Sra. Mafalda;
- À Sra. Elizabeth Feijão, Colégio Christus Sul.

## APÊNDICE B – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS

PONTO	ENDEREÇO	COORDENADAS			
		LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	
LINHA 01	P01	AV. PRESIDENTE CASTELO BRANCO.	3°42'56.48"S	38°32'31.55"O	15M + 5
	P02	AV. PRESIDENTE CASTELO BRANCO.	3°43'5.48"S	38°32'39.69"O	19M + 1,5
	P03	RUA MONSENHOR DANTAS, 100,	3°43'11.84"S	38°32'43.73"O	21M + 1,8
	P04	AV. JOSE JATAHY.	3°43'25.38"S	38°32'45.39"O	22M + 2
	P05	AV. BENJAMIN BARROSO, 796, MONTE	3°43'54.83"S	38°33'0.76"O	22M + 2
	P06	RUA TAVARES IRACEMA, 675, RODOLFO	3°44'54.71"S	38°33'26.95"O	27M + 2
	P07	RUA GOIÁS, 1840, PARANGABA	3°45'51.28"S	38°34'7.22"O	28M + 2
	P08	AV. OSÓRIO DE PAIVA, 1451, PARANGABA	3°46'49.76"S	38°34'26.34"O	31M + 2,2
LINHA 02	P09	RUA DOS TABAJARAS, 1381, PRAIA DE	3°43'8.12"S	38°31'8.53"O	12M + 5
	P10	RUA DRAGÃO DO MAR, 81, PRAIA DE	3°43'16.04"S	38°31'12.74"O	10M + 3
	P11	AV. PRES. CASTELO BRANCO, 108, MOUR	3°43'24.36"S	38°31'16.92"O	17M + 6
	P12	AV. SANTOS DUMMONT, 55, CENTRO.	3°43'40.55"S	38°31'20.94"O	22M + 6
	P13	RUA ANTONIO POMPEU, 326, CENTRO.	3°44'8.74"S	38°31'37.66"O	28M + 4
	P14	AV. EDUARDO GIRÃO, 1533, BAIRRO DE	3°45'5.64"S	38°32'7.95"O	15M + 2
	P15	RUA JOAQUIM PIMENTA, VILA UNIÃO.	3°45'47.72"S	38°32'36.97"O	31M + 3,5
	P16	RUA ANTONIO BOTELHO, 715, SERRINHA	3°47'2.62"S	38°32'58.71"O	23M + 2
LINHA 03	P17	AV. BEIRA MAR, 2580, MEIRELES.	3°43'32.23"S	38°29'51.76"O	23M + 3
	P18		3°43'39.47"S	38°29'53.99"O	22 M + 3
	P19	RUA JOAQUIM NABUCO, 500, MEIRELES.	3°43'48.00"S	38°29'58.84"O	46M + 3
	P20	RUA MARIA TOMÁSIA, 72, ALDEOTA.	3°44'3.14"S	38°30'5.64"O	39M + 3
	P21	RUA NUNES VALENTE, 2005, MEIRELES	3°44'32.49"S	38°30'19.86"O	38M + 4
	P22	R. PROF. CARVALHO, 4400, SÃO JOÃO DO	3°45'33.05"S	38°30'49.52"O	23M + 1,2
	P23	AV. BORGES DE MELO, 205, AEROPORTO	3°45'36.98"S	38°31'15.15"O	14M + 5
	P24	RUA MAR. BITTENCOURT, 921, DIAS	3°47'30.07"S	38°31'45.09"O	13M + 3
LINHA 04	P25	RUA PONTAMAR, 6, CAIS DO PORTO	3°42'29.59"S	38°27'56.72"O	7M + 4
	P26	RUA GENERAL MURILO BORGES, 924,	3°42'38.07"S	38°28'1.77"O	14M + 4
	P27	RUA ERNESTO GURGEL, CAIS DO PORTO	3°42'45.33"S	38°28'6.69"O	13M + 2,5
	P28	RUA JOSÉ SETUBAL PESSOA, 225, MUCUR	3°43'13.81"S	38°28'18.30"O	41M + 3
	P29	AV. DOLOR BARREIRA, 200, VINCENT PIZ	3°43'34.07"S	38°28'28.54"O	57M + 1
	P30	RUA BATISTA OLIVEIRA, 668, PAPICU	3°44'38.40"S	38°28'50.97"O	27M + 3,5
	P31	R. CLAUDIO MANUEL DIAS LEITE, 66,	3°45'37.91"S	38°29'18.89"O	13M + 2
	P32	RUA TEODORO DE PAIVA	3°46'31.23"S	38°29'46.18"O	12M + 2
LINHA 05	P33	AV. CLÓVIS ARRAIS MAIA, PRAIA DO	3°44'18.00"S	38°27'12.75"O	11M + 2,5
	P34	RUA TURBAL BARREIRA	3°44'29.29"S	38°27'13.55"O	15M + 4
	P35	RUA SEN. CARLOS JEREISSATI, 395	3°44'40.28"S	38°27'18.64"O	20M + 2,5
	P36	AV. SANTOS DUMMONT, 7855, PRAIA DO	3°44'57.25"S	38°27'24.90"O	51M + 3,5
	P37	SUCATA M. DIAS BRANCO	3°45'29.42"S	38°27'48.35"O	21M + 1
	P38	RUA ROSA CORDEIRO, 121, ÁGUA FRIA	3°46'21.63"S	38°28'12.13"O	23M + 2
	P40	AV. PEDRO LAZAR, 1307, CAMBEBA.	3°48'18.70"S	38°29'18.35"O	26M + 5
	LINHA 06	P41	PRAIA DO FUTURO	3°45'45.32"S	38°26'27.16"O
P42		RUA 5, s/n	3°45'52.82"S	38°26'31.29"O	12M + 3,5
P43		RUA JOSÉ CLAUDIO GURGEL COSTA LIM	3°45'59.19"S	38°26'32.44"O	10M + 4,5
P44		RUA JAMAICA, ANTONIO DIOGO	3°46'21.49"S	38°26'30.87"O	10M + 1,5
P45		RUA CORRÊA LIMA, 1300, SAPIRANGA.	3°47'32.47"S	38°27'32.88"O	12M + 1,5
P46		RUA GRAVITO, 1140, JOSÉ DE ALENCAR.	3°48'29.01"S	38°28'27.74"O	18M + 2,5
P47		CAMPUS PICI	3°44'38.92"S	38°34'38.44"O	20M + 1,2

### APÊNDICE C – CRONOGRAMA DE TROCAS

	C00	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12
P01	22.10	25.11	04.01	22.01	23.02	30.03	03.05	01.06	29.06	04.08	29.08	26.09	25.10
P02	22.10	25.11	22.12	22.01	23.02	30.03	03.05	01.06	29.06	04.08	29.08	26.09	25.10
P03	21.10	25.11	21.12	22.01	23.02	30.03	03.05	01.06	29.06	01.08	29.08	26.09	25.10
P04	20.10	25.11	21.12	22.01	23.02	30.03	03.05	01.06	29.06	01.08	29.08	26.09	27.10
P05	24.10	25.11	04.01	22.01	23.02	29.03	02.05	31.05	29.06	01.08	30.08	26.09	27.10
P06	19.10	25.11	21.12	22.01	23.02	29.03	02.05	31.05	28.06	01.08	29.08	26.09	27.10
P07	03.10	03.12	04.01	01.02	10.03	07.04	05.05	02.06	04.07	03.08	02.09	26.09	27.10
P08	04.10	03.12	04.01	01.02	10.03	07.04	05.05	02.06	04.07	03.08	02.09	26.09	31.10
P09	21.10	24.11	22.12	22.01	27.02	29.03	02.05	31.05	04.07	03.08	31.08	26.09	24.10
P10	23.10	27.11	22.12	22.01	27.02	29.03	02.05	08.06	04.07	03.08	31.08	26.09	28.10
P11	22.10	27.11	22.12	17.01	17.03	08.04	06.05	08.06	04.07	03.08	31.08	26.09	28.10
P12	21.10	24.11	22.12	22.01	27.02	29.03	02.05	31.05	30.06	02.08	30.08	26.09	
P13	26.10	27.11	22.12	22.01	27.02	29.03	02.05	31.05	30.06	02.08	02.09	26.09	25.10
P14	20.10	24.11	22.12	23.01	23.02	29.03	02.05	31.05	30.06	02.08	30.08	26.09	25.10
P15					03.03	07.04	05.05	01.06	30.06	02.08	30.08	26.09	25.10
P16	04.10	03.12	04.01	01.02	10.03	07.04	05.05	03.06	04.07	05.08	06.09	28.09	27.10
P17	23.10	24.11	21.12	20.01	27.02	29.03	02.05	08.06	04.07	03.08	31.08	26.09	24.10
P18	28.10	24.11	21.12	20.01	27.02	29.03	02.05		07.07	09.08	31.08	26.09	24.10
P19	23.10	24.11	21.12	20.01	27.02	29.03	02.05	31.05	30.06	02.08	31.08	26.09	24.10
P20	19.10	24.11	21.12	20.01	27.02	29.03	02.05	31.05	30.06	02.08	31.08	26.09	24.10
P21	21.10	24.11	21.12	20.01	27.02	29.03	02.05	01.06	30.06	02.08	02.09	27.09	27.10
P22	20.10	24.11	21.12	12.01	10.03	07.04	05.05	08.06	30.06	02.08	30.08	27.09	27.10
P23					03.03	07.04	05.05	01.06	30.06	02.08	31.08	27.09	25.10
P24	03.10	03.12	04.01	01.02	10.03	07.04	05.05	02.06	04.07	05.07	02.09	28.09	27.10
P25	19.10	24.11	21.12	26.01	25.02	29.03	02.05	02.06	01.07	05.08	06.09	30.09	25.10
P26	23.10	24.11	21.12	26.01	25.02	29.03	02.05	02.06	01.07	05.08	06.09	30.09	25.10
P27	05.11	03.12	04.01	01.02	10.03	08.04	06.05	08.06	01.07	05.08	06.09	30.09	25.10
P28	28.10	24.11	21.12	26.01	25.02	29.03	02.05	02.06	04.07	08.08	06.09	30.09	25.10
P29	21.10	24.11	21.12	26.01	25.02	29.03	02.05	02.06	01.07	08.08	06.09	30.09	25.10
P30	21.10	24.11	21.12	26.01	25.02	29.03	02.05	02.06	01.07	01.08	30.08	27.09	24.10
P31	22.10	25.11	21.12	26.01	10.03	08.04	06.05	01.06	01.07	01.08	30.08	27.09	27.10
P32	04.10	03.12	04.01	01.02	10.03	08.04	06.05	01.06	01.07	01.08	30.08	27.09	25.10
P33	20.10	25.11	21.12	26.01	25.02	31.03	02.05	02.06	29.06	05.08	05.09	27.09	28.10
P34	20.10	25.11	21.12	26.01	25.02	29.03	02.05	02.06	29.06	05.08	05.09	27.09	28.10
P35	22.10	25.11	21.12	26.01	25.02	29.03	02.05	02.06	29.06	05.08	05.09	27.09	28.10
P36	22.10	25.11	21.12	26.01	25.02	29.03	02.05	02.06	29.06	08.08	05.09	27.09	24.10
P37	23.10	25.11	21.12	26.01	25.02	29.03	02.05	02.06	29.06	05.08	06.09	30.09	24.10
P38	22.10	25.11	21.12	26.01	25.02	31.03	03.05	01.06	29.06	03.08	30.08	27.09	24.10
P40		03.12	04.01	01.02	10.03	07.04	12.05	08.06	05.07	04.08	02.09	27.09	27.10
P41	20.10	24.11	21.12	26.01	25.02	31.03	09.05	09.06	04.07	05.08	06.09	30.09	28.10
P42	21.10	24.11	21.12	26.01	25.02	31.03	12.05	09.06	04.07	05.08	06.09	30.09	28.10
P43	20.10				25.02	14.04	06.05	09.06	04.07	09.08		30.09	28.10
P44	19.10				03.03	08.04	06.05	09.06	04.07	05.08	06.09	30.09	28.10
P45	03.10	03.12	04.01	01.02	10.03	08.04	06.05	03.06	01.07	04.08	06.09	30.09	
P46	04.10	03.12	04.01	01.02	10.03	08.04	06.05	01.06	01.07	04.08	02.09	27.09	27.10

## APENDICE D – CONCENTRAÇÃO DE ÍONS CLORO – RESULTADOS GERAIS

	CICLO 01	CICLO 02	CICLO 03	CICLO 04	CICLO 05	CICLO 06
	nov/15	dez/15	jan/16	fev/16	mar/16	abr/16
P01	125,4857	179,7843	33,0806	267,2443	212,5478	262,1008
P02	16,2844	77,8365	26,2067	261,4708	84,1146	54,2675
P03	20,2288	71,4161	16,7551	88,8014	88,6369	67,8344
P04	22,6172	21,5818	8,5924	128,2687	52,9108	84,1146
P05	9,6689	15,6223	5,1554	88,3785	64,6559	50,8758
P06	a	22,0723	8,5924	89,3373	61,3998	55,6242
P07	a	26,7399	51,5541	c	67,4468	132,8151
P08	a	25,0943	25,7771	34,8863	41,8635	130,4292
P09	21,0739	72,8735	43,0047	174,1909	69,5026	44,0924
P10	23,3048	39,1695	141,2488	123,3958	110,5449	108,5350
P11	28,4977	41,7053	42,5322	48,5468	49,5808	132,8151
P12	13,8896	31,8822	61,0057	109,9822	64,2166	50,8758
P13	6,6155	30,0968	49,4061	119,0041	56,0764	51,4411
P14	6,5138	34,6149	71,7462	68,7389	69,7725	38,6204
P15	a	a	a	a	15,8151	69,5755
P16	a	23,0374	42,5322	19,3328	18,0246	147,1305
P17	38,3786	107,3760	79,9089	93,2271	145,9609	115,3185
P18	9,6500	33,0630	48,5468	67,0204	107,7865	76,6529
P19	8,1422	56,6794	45,5395	69,1685	87,0152	71,9045
P20	6,3680	54,3178	41,2433	96,6640	67,9280	54,9459
P21	6,2264	33,0630	25,7771	77,3312	76,9102	67,1561
P22	10,8201	25,9781	30,0732	84,2051	67,4468	a
P23	a	a	a	a	27,9090	167,8083
P24	a	23,2284	39,5296	31,2762	35,2739	147,1305
P25	1484,5194	740,9258	550,4837	917,4728	785,0701	1332,4032
P26	30,4767	83,0983	52,7046	60,9126	113,9653	103,7866
P27	79,6001	120,9093	91,8547	92,8810	97,2293	175,7613
P28	71,7720	84,5468	70,8869	103,1083	127,1112	159,4108
P29	59,8691	60,9304	72,6054	84,6347	126,1720	184,6226
P30	22,9897	32,1183	57,1392	68,7389	109,5786	96,3248
P31	a	37,4847	54,5615	71,7462	28,0694	149,5164
P32	a	30,0603	63,5834	24,0586	34,8863	185,6278
P33	580,8104	402,2058	306,2812	b	267,2443	247,0218
P34	173,3435	225,6276	60,1465	177,2174	261,4708	259,1274
P35	24,5623	82,5748	32,6510	103,5686	88,8014	122,1019
P36	40,2321	73,8958	41,6729	80,5533	128,2687	135,6688
P37	22,4527	53,9544	27,4955	89,7594	88,3785	127,1998
P38	10,0580	39,4576	47,9525	74,5208	89,3373	110,4262
P40		39,1695	63,5834	24,0586	34,8863	185,6278
P41	1728,4731	1355,5824	1166,1737	1062,5881	1273,4777	1493,0621
P42	60,3481	85,4914	96,2344	92,3678	116,2875	140,4231
P43	a	a	a	a	83,2102	189,7762
P44	a	a	a	b	70,0955	147,1305
P45	16,4653	27,3276	39,5248	21,9105	27,5080	153,4929
P46	21,5529	25,5057	137,4777	35,6583	20,7714	123,9563

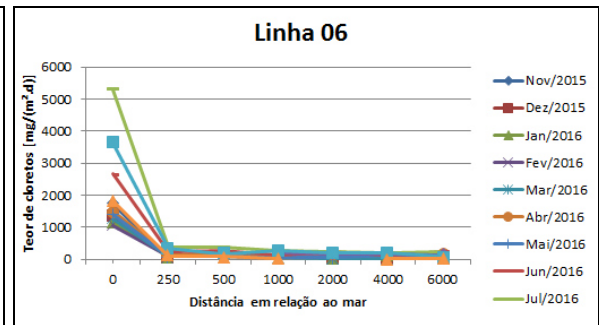
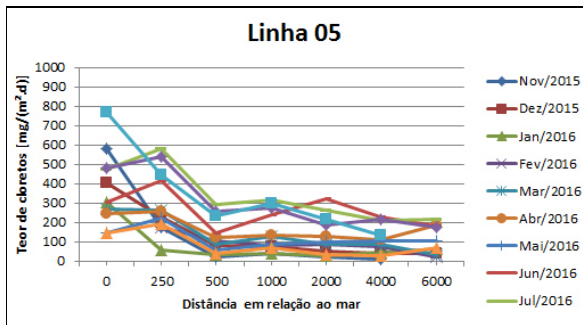
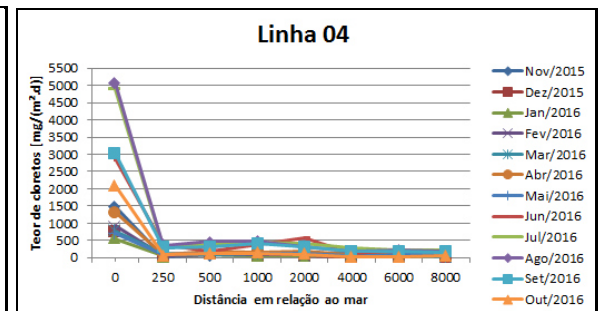
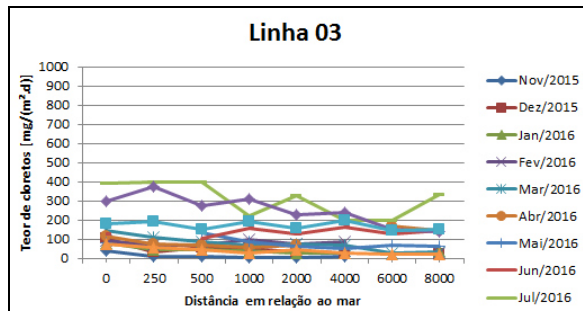
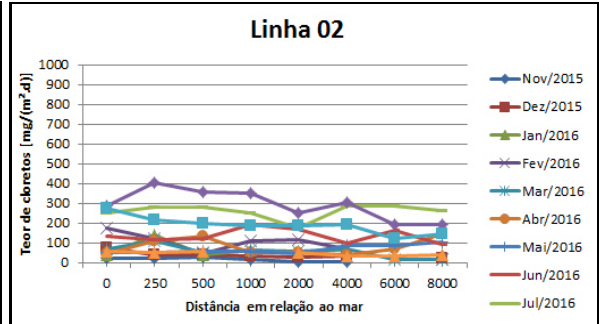
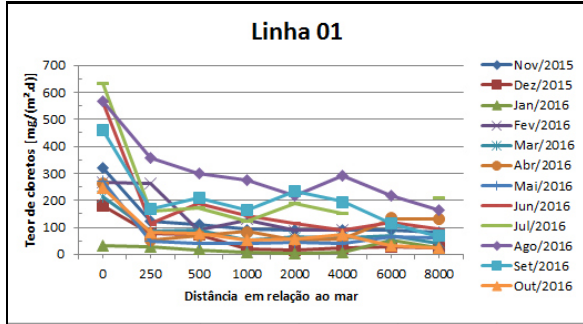
Continua...

Conclusão.

	CICLO 07	CICLO 08	CICLO 09	CICLO 10	CICLO 11	CICLO 12
	mai/16	jun/16	jul/16	ago/16	set/16	out/16
P01	271,1037	564,6911	632,9143	566,5378	460,5955	247,0627
P02	49,1215	113,0261	160,6629	355,4522	169,1984	81,8691
P03	40,7006	186,4931	172,9818	297,6251	208,6780	77,1909
P04	39,2972	141,2827	121,3455	273,6767	165,4123	51,4606
P05	44,9110	115,8518	186,9236	217,5223	231,6246	56,1388
P06	41,8387	90,1383	150,3529	291,9218	194,8392	74,0720
P07	63,1990	118,5261	a	217,5223	114,9296	31,6561
P08	62,5045	93,6502	207,3200	164,6115	65,7994	23,2575
P09	54,0336	134,2185	249,9200	285,8401	273,3204	60,5664
P10	54,4509	116,8870	282,8482	405,8524	214,6072	50,8758
P11	55,0009	121,1196	282,5800	360,0369	201,4473	55,1154
P12	59,6475	194,9701	253,0182	352,7389	185,2130	a
P13	47,7180	170,2456	174,2727	250,3308	186,4315	53,7997
P14	84,6760	101,7235	286,5818	304,0852	194,9611	35,0868
P15	86,6773	161,1059	285,2909	194,6145	121,8507	33,2155
P16	104,5585	90,4209	262,2563	194,0064	143,5622	38,6734
P17	81,9827	128,7691	390,5000	300,4362	182,2136	73,1642
P18	d	d	396,3091	372,1651	192,3366	58,1438
P19	133,3297	105,9620	400,1818	276,1094	150,9730	43,6078
P20	85,6117	155,4109	220,7455	309,1533	192,3366	30,0409
P21	66,4777	131,1103	330,4727	227,5735	155,5789	47,4841
P22	50,8758	161,4778	200,0909	239,3585	198,4425	29,3949
P23	67,3666	130,7022	197,5091	154,4753	146,2208	24,9857
P24	65,4117	146,3285	335,4750	138,5760	151,8447	23,3912
P25	720,7952	2861,4298	4882,7118	5069,5187	3043,7689	2095,4497
P26	93,2176	395,1813	325,7647	358,2504	285,1306	85,9236
P27	134,8935	187,3005	369,9239	462,9697	312,5470	124,8153
P28	137,8570	379,3212	432,2647	495,0942	400,2795	133,1363
P29	121,4454	574,9293	414,1667	327,5432	312,5470	92,2548
P30	55,7993	118,9509	281,7097	176,3694	173,8983	25,1238
P31	87,0541	204,8599	213,0000	235,1592	187,2357	29,7466
P32	102,5053	182,0977	215,3667	172,7204	168,4464	72,3567
P33	144,4216	305,3073	474,6766	477,9043	769,9190	145,8804
P34	223,8535	417,6498	580,8568	540,4870	442,6503	194,5072
P35	55,1428	148,3362	293,5946	256,0201	233,2887	39,2905
P36	88,6224	237,9018	315,7133	274,3524	299,0880	66,5503
P37	96,8394	324,9501	265,5873	189,4338	216,1979	35,7317
P38	105,2603	227,4651	208,1314	215,5626	136,2987	31,2652
P40	102,5053	182,0977	215,3667	172,7204	a	72,3567
P41	1404,8284	2666,0420	5285,0625	c	3640,8981	1817,5311
P42	82,1281	239,5153	379,4063	297,6234	328,9968	116,2875
P43	115,3185	266,9386	380,8941	a	187,2751	95,9372
P44	65,9844	136,5732	280,8938	209,4387	285,1306	25,8417
P45	77,0405	234,1256	232,3636	154,9913	208,3646	a
P46	139,3214	149,7053	211,7091	172,1798	194,7661	16,0793

Legenda a) Falta de autorização b) Vela Furtada c) Vela quebrada d) Troca de local

## APENDICE E – GRÁFICOS DAS LINHAS EM RELAÇÃO AO PERÍODO DE EXPOSIÇÃO



**APENDICE F – DADOS E RESULTADOS DO CÁLCULO DO C<sub>máx</sub>**

Distância	PRAIA DO FUTURO			PRAIA DE IRACEMA		
	Média (g/m <sup>2</sup> )	CP IV	CP IIF	Média (g/m <sup>2</sup> )	CP IV	CP IIF
<b>50</b>	<b>1,50</b>	4,47	3,47	<b>0,20</b>	1,61	1,25
<b>250</b>	<b>0,21</b>	1,67	1,30	<b>0,13</b>	1,33	1,03
<b>500</b>	<b>0,17</b>	1,49	1,16	<b>0,12</b>	1,25	0,97
<b>1000</b>	<b>0,17</b>	1,51	1,18	<b>0,11</b>	1,20	0,94
<b>2000</b>	<b>0,17</b>	1,48	1,15	<b>0,10</b>	0,89	0,89
<b>4000</b>	<b>0,11</b>	1,19	0,92	<b>0,10</b>	1,15	0,90
<b>6000</b>	<b>0,11</b>	1,22	0,95	<b>0,11</b>	1,20	0,94
<b>8000</b>	<b>0,11</b>	1,22	0,95	<b>0,09</b>	1,12	0,87