

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DE CLORETOS EM DIFERENTES MICROAMBIENTES DE
ATMOSFERA MARINHA

por

Renata Cristina Fernandes Barbosa

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica

Rio Grande, abril, 2024

AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DE CLORETOS EM DIFERENTES MICROAMBIENTES DE ATMOSFERA MARINHA

Por

Renata Cristina Fernandes Barbosa

Bacharel em Engenharia Civil

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Área de Concentração: Engenharia Costeira

Orientador: Prof. Dr. Fábio Costa Magalhães

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Fábio Costa Magalhães

PPGEO/IFRS

Prof. Dr. Mauro de Vasconcellos Real

PPGEO/FURG

Prof. Dr. Leandro Candido de Lemos Pinheiro

LEMCC/IFRS

Prof. Dr. Idio Alves de Sousa Filho

IQ/UFRRJ

Prof. Dr. Liércio André Isoldi

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

Rio Grande, 24 de abril de 2024

Dissertação - PPGeo – FURG

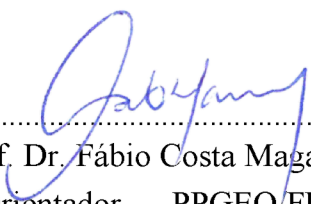
Renata Cristina Fernandes Barbosa

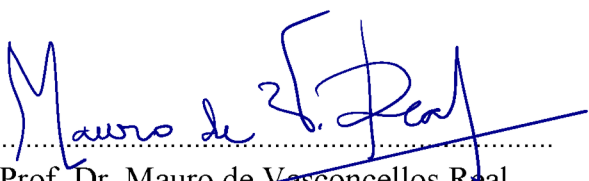
Mestre em Engenharia Oceânica

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGeo) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Prof. Dr. Liércio André Isoldi
Coordenador do PPGeo

Banca examinadora:

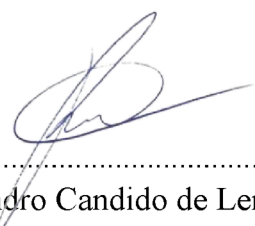

Prof. Dr. Fábio Costa Magalhães
Orientador — PPGeo/FURG


Prof. Dr. Mauro de Vasconcellos Real
Membro Interno — PPGeo/FURG



Documento assinado digitalmente
IDIO ALVES DE SOUSA FILHO
Data: 25/04/2024 21:33:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Idio Alves de Sousa Filho
Membro Externo — UFRRJ


Prof. Dr. Leandro Candido de Lemos Pinheiro
Membro Externo — IFRS/Rio Grande

Rio Grande, 24 de abril de 2024

Ficha Catalográfica

B238a Barbosa, Renata Cristina Fernandes.

Avaliação da deposição de cloretos em diferentes microambientes de atmosfera marinha / Renata Cristina Fernandes Barbosa. – 2024.

85 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Rio Grande/RS, 2024.

Orientador: Dr. Fábio Costa Magalhães.

1. Íons cloreto 2. Atmosfera marinha 3. Agressividade ambiental
I. Magalhães, Fábio Costa II. Título.

CDU 551.46

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

“Vocês são o sal da terra.”

MATEUS 5:13

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, por sua misericórdia e graça, que rege meus caminhos e me fez chegar a esse momento.

À minha mãe, Marta, cujo apoio desde o início foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço por cada palavra e ato de incentivo. Agradeço porque enquanto eu cuidava em compreender estruturas, você cuidava em fortalecer a minha. Sem você, nada disso seria possível.

Aos meus irmãos Rafael e Rodrigo, que construíram essa história junto comigo. Obrigada pelo apoio constante, por estarem ao meu lado, pelo suporte nas confecções, exposições, análises e discussões. Obrigada por dividirem a profissão e a parceria comigo.

Ao meu pai, José (*in memoriam*), que fez parte dessa conquista, cuja perda neste período trouxe um lamento indescritível. Grata pelo grande incentivador, pelas conquistas vibradas e desafios vencidos.

À minha família em Cristo e amigos, que sempre demonstraram zelo e atenção, estando sempre à disposição. Vocês foram essenciais.

Aos Professores e funcionários da FURG, pelo conhecimento transmitido ao longo deste período. Em especial ao Prof. Fábio Magalhães, agradeço pela orientação, conhecimentos transmitidos, pelas instruções, tempo e incentivo durante a pesquisa. Também ao Prof. Gustavo Wally, agradeço pela colaboração desde o início. Agradeço ao Coordenador do PPGEIO Prof. Liércio, pelos direcionamentos e disponibilidade ao longo do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento em Pesquisa (CNPq) pela bolsa concedida.

Aos Professores e técnicos da UFRRJ, que deram todo incentivo e suporte, compartilhando conhecimento e estrutura física. Em especial ao professor Evelton, agradeço pela orientação, conhecimento, ideias e desenvolvimentos durante a pesquisa. Agradeço à Professora Márcia pelo

espaço no laboratório e conhecimento compartilhados. Ao Prof. Idio pelo incentivo e cordialidade nos períodos junto à UFRRJ. Aos alunos e amigos que compartilharam espaço e experiências.

Aos amigos e moradores da cidade de Cabo Frio que cederam espaço e apoio às exposições: Gabriel, Sr. Roberto, e família; Lara, sua família e condôminos; Prof. Brito e Associação; Universidade Estácio de Sá, Professora Gilselene, Prof. Julius e Prof. Escafura. Obrigada pela colaboração e participação de cada um de vocês.

Agradeço também aos amigos e profissionais da Construtora Volendam, que sem medir esforços compartilharam tempo e experiência com esta pesquisa, contribuindo com a logística, cedendo o espaço para a exposição das velas e confecção dos cps de concreto. Em especial aos Engenheiros Marcelo e Pedro Lima, e à sua equipe. A contribuição de cada um de vocês foi fundamental e de grande satisfação, obrigada.

À Divisão de Interação Oceano Atmosfera do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, obrigada pelo empenho dos profissionais envolvidos e dados fornecidos.

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para o sucesso deste estudo. Cada assistência foi fundamental para seu êxito.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton

RESUMO

As estruturas de concreto armado frequentemente apresentam insuficiência em alcançar os padrões desejados de durabilidade e vida útil quando expostas a ambientes marítimos. As normas vigentes carecem de abrangência suficiente para assegurar o desempenho dessas estruturas, em ambientes caracterizados por diferentes níveis de agressividade, levando à necessidade de uma revisão e ajuste dos critérios de classificação de agressividade ambiental e à adoção de testes mais específicos. Esta pesquisa tem como objetivo central o estudo do litoral da cidade de Cabo Frio – RJ, com o intuito de cartografar a deposição de cloretos e investigar as características climáticas locais para fundamentar uma avaliação da agressividade local decorrente do ataque de cloretos, visando assim implementar medidas condizentes com a construção de estruturas mais resilientes. A determinação dos teores de cloretos seguiu a norma NBR 6211:2001, baseada na norma ASTM D 512-89:1999. Os dados climáticos foram obtidos junto à Divisão de Interação Oceano Atmosfera do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), responsável pelo monitoramento das variações climáticas ao longo do ano. Os resultados mostram a relação interdependente entre os fatores climáticos e a deposição de íons agressivos, tais como a direção e velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar. Esses elementos mostraram-se influenciando em conjunto tanto a deposição quanto a dissipação de cloretos na atmosfera. A deposição de cloretos evidenciou relações interessantes, apresentando nos primeiros 35 metros da superfície fonte mais próxima, os valores máximos de íons depositados foram em média 1300 mg/(m².dia), alcançados no período da primavera e aproximadamente 1000 mg/(m².dia) no inverno. A média dos valores mais baixos nesta mesma distância foi observada em torno de 600 mg/(m².dia), alcançados no verão e semelhantemente no outono. Para o ponto de monitoramento mais distante investigado, equivalente a 1400m da superfície fonte mais próxima, apresentou deposição máxima média de 112 mg/(m².dia) na primavera e deposição mínima média de 43 mg/(m².dia) no verão. Destaca-se, portanto, a importância da análise microambiental para compreender situações particulares e atender às necessidades específicas de cada estrutura. Assim, é essencial considerar não apenas os aspectos gerais do ambiente, mas também as características específicas dos microambientes dentro dele. Este levantamento proporcionou uma análise dos riscos potenciais aos quais as estruturas poderão estar expostas durante sua vida útil, quando considerado métodos e procedimentos adotados empiricamente. A compreensão dos padrões de deposição de cloretos ao longo do ano pode orientar estratégias de proteção e manutenção dessas estruturas, contribuindo para sua durabilidade e desempenho a longo prazo.

Palavras-chave: Íons cloreto, Atmosfera marinha, Agressividade ambiental

ABSTRACT

Reinforced concrete structures often fail to meet desired standards of durability and lifespan when exposed to maritime environments. Current regulations lack sufficient scope to ensure the performance of these structures in environments characterized by varying levels of aggressiveness, this fact leads to the need for a review and adjustment of environmental aggressiveness classification criteria and the adoption of more specific tests. This research aims to study the coastline of Cabo Frio – RJ, with the purpose of mapping chloride deposition and investigating local climatic characteristics to support an assessment of local aggressiveness due to chloride attack, thus aiming to implement measures consistent with the construction of more resilient structures. Chloride content determination followed standard NBR 6211:2001, based on ASTM D 512-89:1999. Climatic data were obtained from the Ocean-Atmosphere Interaction Division of the Admiral Paulo Moreira Institute of Sea Studies (IEAPM), responsible for monitoring climatic variations throughout the year. The results show the interdependent relationship between climatic factors and the deposition of aggressive ions, such as wind direction and speed, temperature, and relative air humidity. These elements were shown to collectively influence both the deposition and dissipation of chlorides in the atmosphere. Chloride deposition revealed interesting relationships, with maximum values of deposited ions averaging 1300 mg/(m².day) in the first 35 meters from the nearest source surface, achieved in the spring, and approximately 1000 mg/(m².day) in the winter. The average of the lowest values at this same distance was observed around 600 mg/(m².day), achieved in the summer and similarly in the autumn. For the furthest investigated monitoring point, equivalent to 1400 km from the nearest source surface, the average maximum deposition was 112 mg/(m².day) in the spring, and the average minimum deposition was 43 mg/(m².day) in the summer. It is therefore important to highlight the significance of microenvironmental analysis to understand particular situations and meet the specific needs of each structure. Thus, it is essential to consider not only the general aspects of the environment but also the specific characteristics of microenvironments within it. This survey provided an analysis of the potential risks to which structures may be exposed during their lifespan when considering empirically adopted methods and procedures. Understanding chloride deposition patterns throughout the year can guide strategies for protection and maintenance of these structures, contributing to their long-term durability and performance.

Keywords: Chloride ions, Marine Atmosphere, Environmental Aggressiveness

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Considerações Iniciais.....	14
1.2. Justificativa	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo Geral.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. Estrutura do trabalho	17
2. AMBIENTES DE ATMOSFERA MARINHA	18
2.1. Caracterização da agressividade dos ambientes marinhos.....	18
2.2. Fatores que influenciam na deposição de íons cloreto.....	21
2.2.1. Distanciamento em relação ao mar	21
2.2.2. Regime predominante de ventos	23
2.2.3. Temperatura.....	24
2.2.4. Umidade Atmosférica	25
2.2.5. Precipitação	26
2.2.6. Sais disponíveis em atmosfera marinha	27
2.3. Cenário atual da Classificação de Agressividade Ambiental (CAA).....	29
2.4. Estudos das classes de exposição em diferentes regiões de atmosfera marinha.....	36
3. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL.....	42
3.1. Caracterização do ambiente de estudo	42
3.2. Estudo da deposição de cloretos pelo método da Vela Úmida.....	46
3.2.1. Método de análise química das amostras	50
3.2.2. Comparação da deposição de cloretos ao longo da costa brasileira	53
3.2.3. Classificação da agressividade atmosférica por cloretos	54
3.3. Resumo da investigação experimental	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1. Caracterização da região	57
4.2. Deposição de cloretos	58
4.3. Deposição de cloretos ao longo da costa brasileira.....	71
4.4. Classificação da agressividade na cidade de Cabo Frio.....	73
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
5.1. Conclusões	77

5.2. Sugestões para trabalhos futuros.....	79
6. REFERÊNCIAS.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Aerossol formado pela quebra de ondas.....	20
Figura 2.2: Esquema dos fluxos inerentes ao aerossol marinho	21
Figura 2.3: Relação entre a concentração de cloretos e a distância em relação ao mar, dentro de um período de 5 meses.....	22
Figura 2.4: Relação da velocidade do vento versus concentração salina.....	23
Figura 2.5: Picos de vento na direção ENE X Salinidade.....	24
Figura 2.6: Ensaios de corrosão com diferentes sais depositados sobre a superfície do aço, em função da umidade relativa. Ensaios com duração de sete dias.....	29
Figura 2.7: Zonas de agressividade ao concreto	32
Figura 3.1: Local de estudo.....	42
Figura 3.2: Local do Estudo, região de monitoramento.....	43
Figura 3.3: Pontos de monitoramento	43
Figura 3.4: Ponto de monitoramento P1	44
Figura 3.5: Ponto de monitoramento P2	45
Figura 3.6: Ponto de monitoramento P3	45
Figura 3.7: Ponto de monitoramento P4	46
Figura 3.8: Ponto de monitoramento P5	46
Figura 3.9: Vela úmida.....	48
Figura 3.10: Material de confecção das velas úmidas.	49
Figura 3.11: Locação das velas úmidas.....	49
Figura 3.12: Lavagem das gazes para extração de Cloretos	50
Figura 3.13: Medição e armazenamento do volume final.....	51
Figura 3.14: Relação entre condutividade elétrica e concentração de cloretos.	52
Figura 3.15: Fluxograma geral da pesquisa.	56
Figura 3.16: Fluxograma da investigação experimental.	56
Figura 4.1: Distribuição da deposição cloretos ao interior da cidade durante o verão.	62
Figura 4.2: Distribuição da deposição cloretos ao interior da cidade durante o outono.	62
Figura 4.3: Distribuição da deposição cloretos ao interior da cidade durante o inverno.....	62
Figura 4.4: Distribuição da deposição cloretos ao interior da cidade durante a primavera.	63
Figura 4.5: Média da deposição de cloretos em diferentes distâncias e estações do ano.	63
Figura 4.6: Vento predominante de E e ENE para o interior do continente.....	64
Figura 4.7: Comparação entre a deposição média de Cl ⁻ em P1 e a velocidade média do vento.	65

Figura 4.8: Comparação entre a deposição média de Cl^- em P2 e a velocidade média do vento.	65
Figura 4.9: Comparação entre a deposição média de Cl^- em P3 e a velocidade média do vento.	65
Figura 4.10: Comparação entre a deposição média de Cl^- em P4 e a velocidade média do vento. ...	65
Figura 4.11: Comparação entre a deposição média de Cl^- em P5 e a velocidade média do vento. ...	65
Figura 4.12: Variação da deposição de cloretos x estação do ano.	67
Figura 4.13: Variações da microrregião avaliada em P1	70
Figura 4.14: Comportamento da deposição cloretos ao longo das regiões costeiras com base no ensaio da vela úmida, na faixa de 1-50m.	71
Figura 4.15: Comportamento da deposição cloretos ao longo das regiões costeiras com base no ensaio da vela úmida, na faixa de 100m.	72
Figura 4.16: Comportamento da deposição cloretos ao longo das regiões costeiras com base no ensaio da vela úmida, na faixa de 200-250m.	72
Figura 4.17: Similaridade da taxa de deposição de cloretos em três ou mais estudos ao longo da costa brasileira.....	73
Figura 4.18: Valores médios de deposição de cloretos para cada ponto ao longo do período de exposição.....	74
Figura 4.19: Valores máximos medidos de deposição de cloretos para cada ponto ao longo do período de exposição.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Influência da umidade relativa, da temperatura e da velocidade do vento na deposição de cloretos na cidade de Havana (Cuba) através da regressão multivariada linear.....	25
Tabela 2.2: Principais íons do Oceano Atlântico (DIN 4030, 1991).....	28
Tabela 2.3: Classes de agressividade ambiental conforme NBR 6118 (2023).....	30
Tabela 2.4: Resumos das classificações de exposição em diversos códigos internacionais.	31
Tabela 2.5: Valores de referência para avaliação dos índices de cloretos, ...	33
Tabela 2.6: Índice de deterioração de Brooks.	34
Tabela 2.7: Categorias de corrosividade atmosférica.....	34
Tabela 2.8: Classificação de contaminação por Cl ⁻	35
Tabela 2.9: Classificação do ambiente	35
Tabela 2.10: Níveis de agressividade em zona de atmosfera marinha:	36
Tabela 2.11: Classificação das classes de agressividade	39
Tabela 2.12: Estudos de diferentes regiões de atmosfera marinha.....	41
Tabela 3.1: Deposição de cloretos em diferentes estados brasileiros.....	54
Tabela 3.2: Classificação da agressividade	55
Tabela 4.1: Características climáticas ao longo do período de estudo.....	58
Tabela 4.2: Deposição de cloretos durante o verão.....	60
Tabela 4.3: Deposição de cloretos durante o outono.....	60
Tabela 4.4: Deposição de cloretos durante o inverno	61
Tabela 4.5: Deposição de cloretos durante a primavera.....	61
Tabela 4.6: Fatores climáticos médios durante o período de estudo.....	66
Tabela 4.7: Deposição, Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação - Verão.....	68
Tabela 4.8: Deposição, Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação - Outono	68
Tabela 4.9: Deposição, Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação - Inverno.....	69
Tabela 4.10: Deposição, Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação - primavera	69
Tabela 4.12: Classificação dos ambientes com base nos valores médios de deposição.	75
Tabela 4.13: Classificação dos ambientes com base nos valores máximos de deposição.	75

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ag/agl	Relação água/aglomerante do concreto
AS	Standards Australia
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
CSA	Canadian Standards Association
CT	Comitê Técnico
Dep	Deposição de cloretos
EN	Norma Europeia
ENE	Leste-Nordeste, direção compreendida entre o sentido leste e o nordeste
EPS	Escala Prática de Salinidade
NBR	Norma Brasileira
SW	Southwest, direção compreendida entre o sentido sul e sudeste
UR	Umidade Relativa
UR	Umidade Relativa do ar
ZAM	Zona de Atmosfera Marinha

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Desde o século XIX, o concreto armado desempenha um importante papel na construção civil, estando entre os materiais mais utilizados desde então, por sua versatilidade e potencial técnico. Apesar de ser um material resistente à esforços mecânicos, as incompatibilidades com a agressividade do ambiente de exposição, tornam-no um material vulnerável ao ataque por agentes agressivos e, se tratando da exposição a regiões marítimas, o concreto armado está sujeito a grandes interferências climáticas e propenso a deterioração precoce. Essa realidade, traz o desafio da determinação de parâmetros construtivos e a necessidade de cautela, uma vez que o desempenho de uma estrutura está diretamente ligado à ação do meio (SELL JUNIOR, 2020).

Uma zona de atmosfera marinha possui aspectos físicos e químicos particulares e dependentes entre si e suas várias interferências marinhas a se destacar, velocidade e rajadas de vento, umidade, temperatura, precipitação, entre outras, podem alcançar maiores ou menores intensidades. Dessa forma, é necessário analisar cuidadosamente as condições gerais da região, que traz consigo o desafio da boa compreensão dos aspectos característicos de agressividade, a fim de alcançar parâmetros adequados de desempenho, durabilidade e segurança da estrutura.

Além dos esforços mecânicos, deve-se atentar ao fato de que as ações químicas e físicas do meio estão diretamente relacionadas ao bom desempenho de uma estrutura. Assim, a previsão de riscos deve contar de forma segura e consciente com a definição da classe de agressividade ambiental a ser adotada para o dimensionamento e execução de estruturas em concreto armado.

A adoção de mecanismos de classificação em micro ambientes, no entanto, apresenta grandes desafios, uma vez que são necessárias diversas campanhas de caracterização em diferentes pontos para que sejam obtidos resultados confiáveis. Como forma de caracterização da agressividade da zona de atmosfera de região litorânea, este trabalho apresenta a caracterização ambiental influente no comportamento do concreto armado e, a deposição média diária de cloretos através do método da Vela Úmida, conforme NBR 6211 (2001).

A investigação experimental é realizada na cidade de Cabo Frio localizada na região dos Lagos, litoral norte do estado do Rio de Janeiro e, busca alcançar quantitativos para deposição de cloretos em estruturas de concreto, nas diferentes áreas avaliadas, e verificar a viabilidade em estabelecer uma relação matemática entre as quantidades de cloretos medidas, e as respectivas distâncias em relação ao mar. Além de contribuir com o desenvolvimento de parâmetros amparados às condições pré-estabelecidas pela NBR 6118 (2023), NBR 12655 (2022) e NBR 14643 (2001),

quanto às correspondências entre a classe de agressividade ambiental e o aperfeiçoamento de estruturas sujeitas à ambientes agressivos.

1.2. Justificativa

Atualmente, mesmo com todos os avanços, ainda é possível encontrar inúmeros casos no qual estruturas de concreto armado apontam sua degradação antes mesmo de cumprirem sua vida útil de projeto. A baixa durabilidade dessas estruturas, na maioria dos casos, se dá desde o mau planejamento e execução, à falta de controles adequados e específicos à cada condição.

Diversos autores chamam a atenção para a baixa resistência que, normalmente, a estrutura de concreto armado tem a altos teores de cloretos, entre outros íons agressivos presentes em ambiente de atmosfera marinha, e destacam esta como a mais influente causa de deterioração de armaduras e da redução da vida útil das estruturas. *Morais et al.* (2020) abordam esta problemática e analisam diversos estudos referentes à deterioração de estruturas, apontando a presença de danos causados por cloretos em 100 % das manifestações patológicas investigadas. Os autores caracterizam também os diferentes impactos à vida útil das construções, sendo o ataque por cloretos, o mais intenso e rápido, quando comparado a outros impactos devido a agressividade local, como por exemplo a carbonatação, levando a uma redução significativa na vida útil.

Beushausen et al. (2021), apontam que as classes de agressividade não podem ser generalizadas, tampouco devem ser empregadas indiscriminadamente a diferentes regiões, sendo necessário uma caracterização mais rigorosa e detalhada do ambiente de exposição. As principais normatizações internacionais classificam o ambiente de exposição baseando-se em diferentes mecanismos de degradação. As classes de exposição adotadas em diferentes normas internacionais são comumente divididas em categorias, definindo o ambiente em questão, e em subclasses relacionadas à intensidade da agressividade.

Atualmente, o CT 702 - Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT - Procedimentos para Ensaio de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto, em seu Sub-Comitê 09, vem trabalhando na apresentação de procedimentos de ensaio visando o mapeamento da agressividade ambiental em regiões urbanas e em novos empreendimentos imobiliários. O texto proposto versará sobre ambientes sujeitos ao ataque por cloretos, sulfatos e dióxido de carbono. Essa é uma iniciativa brasileira no sentido de consolidar os mecanismos de avaliação da agressividade dos meios e contribuir para a elaboração projetos de estruturas com base no desempenho requerido a partir da agressividade medida.

Apesar do estabelecimento de classes de agressividade ambiental pela NBR 6118 (2023), os parâmetros adotados muitas vezes não são suficientes para assegurar o cumprimento da vida útil de

projeto das estruturas, especialmente quando expostas a ambientes agressivos. Além disso, os critérios utilizados na determinação e classificação de ambientes não são explícitos e não existem modelos normativos que embasem a adoção correta do grau de agressividade de exposição. Por isso, pesquisas com o intuito de determinar concentrações de íon cloreto na atmosfera são de extrema importância, a fim de subsidiar os projetistas a executarem projetos estruturais e parâmetros construtivos adequados às condições de exposição.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo principal, avaliar e determinar a taxa de deposição de sais provenientes da atmosfera marinha, especialmente cloretos, gerados na Região Litorânea do Rio de Janeiro, em diferentes localidades da cidade Cabo Frio, com foco no nível da agressividade local.

1.3.2. Objetivos Específicos

- i. Determinar a concentração de cloretos diária ao longo da cidade de Cabo Frio.
- ii. Avaliar a distribuição dos sais do aerossol marinho para o interior da cidade por influências climáticas da região.
- iii. Caracterizar climatologicamente a região de estudo durante o período de exposição.
- iv. Investigar a ação do distanciamento, regime de ventos, precipitação pluviométrica e temperatura, na deposição de cloretos.
- v. Avaliar o comportamento do estudo em diferentes condições climáticas ao longo das quatro estações (verão, outono, inverno e primavera)
- vi. Buscar relações entre os resultados obtidos nesta pesquisa e resultados obtidos em outras regiões brasileiras.
- vii. Colaborar para a avaliação do comportamento de agentes agressivos em ambientes marinhos.

1.4. Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O primeiro capítulo, denominado Introdução, apresenta uma breve visão dos assuntos tratados ao longo do texto, além de apresentar a justificativa da pesquisa, o objetivo geral, objetivos específicos e a apresentação da estrutura do trabalho.

O segundo capítulo, trata-se de uma revisão bibliográfica, no qual há uma exposição sobre a abordagem de diferentes trabalhos encontrados na literatura, sobre a deposição de cloretos em zona de atmosfera marinha, seus mecanismos de formação e os parâmetros que influem em seu comportamento. É feita uma análise sobre os mecanismos de distribuição de cloretos na atmosfera marinha, além de uma análise das definições de classe de agressividade, bem como as considerações nacionais e internacionais sobre o assunto.

O capítulo 3, rotulado como Investigação Experimental, detalha o local de estudo e seu modelo de caracterização, bem como o método e procedimento de coleta para determinação do teor de cloretos presente na atmosfera e aborda os métodos utilizados na avaliação de sua influência na região analisada.

No quarto capítulo, nomeado Resultados e Discussões, apresentam-se e discutem-se, os resultados referentes ao monitoramento ambiental, abordando a caracterização da região ao longo do período de estudo e os resultados da deposição de cloretos na atmosfera, relacionando-os à perspectiva alcançada da classificação da agressividade ambiental da cidade e sua influência no desempenho das estruturas de concreto armado.

Por fim, o quinto e último capítulo traz as considerações finais, encapsulando e concluindo os principais resultados e contribuições, trazendo as possíveis aplicações e também recomendações para pesquisas futuras.

2. AMBIENTES DE ATMOSFERA MARINHA

O desempenho e a segurança de uma construção estão diretamente ligados a ação do meio. Observando que, além dos esforços mecânicos, as ações químicas e físicas do meio estão diretamente relacionadas ao bom desempenho de uma estrutura, a previsão de riscos deve contar de forma segura e consciente com a definição da classe de agressividade ambiental a ser adotada para o dimensionamento e execução de estruturas em concreto armado. Martins *et. al* (2017), destacam as ações do meio como as principais causas de danos à estrutura, devido ao concreto normalmente ter baixa resistência a essas ações, dependendo do meio em que esteja inserido.

Conforme Meira *et al.* (2017) os estudos sobre a agressividade de regiões de atmosfera marinha estão focados, em sua maioria, em estruturas inseridas no mar ou muito próximas deste, de modo que seus resultados podem ser utilizados apenas em situações que envolvam condições similares. Contudo, os autores reforçam que o efeito do aerossol marinho sobre estruturas construídas afastadas do mar tem sido menos estudado, porém sabe-se que a agressividade devido a salinidade marinha não se limita a região de costa, estendendo-se também em direção ao interior. Deste modo, estruturas longe do mar são afetadas por influência da zona de atmosfera marinha.

2.1. Caracterização da agressividade dos ambientes marinhos

Conforme Silva (2001), a circulação geral da atmosfera sobre a região tropical é modelada pelos padrões termodinâmicos dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. No geral, a atmosfera é o conjunto de gases, vapor d'água e partículas. Na análise da composição do ar atmosférico é acertado suprimir o vapor d'água, exatamente pela variação de sua concentração no espaço e no tempo, variando desta forma os demais constituintes.

A transferência de vapor d'água para a atmosfera é oriundo da evaporação do solo e das superfícies líquidas, sendo estes, os oceanos, lagos, cursos d'água, rios e reservatórios. Este vapor d'água mistura-se ao ar por difusão turbulenta, sendo rapidamente transportado pelas correntes aéreas. Silva (2001) reforça que a concentração de vapor d'água no ar é bastante variável, e essa variação é, em geral, tanto maior quanto mais próxima da superfície-fonte, o qual neste caso de atmosfera marinha, tanto maior quanto a menor distância em relação ao mar.

Ainda conforme a autora, a concentração de vapor d'água na atmosfera é bastante variável e, de modo geral, diminui com a altitude. O vapor d'água é um importante constituinte atmosférico pois interfere diretamente na distribuição da temperatura, pois participa ativamente dos processos de absorção e emissão de calor sensível pela atmosfera e, também por atuar como veículo de energia ao transferir calor latente de evaporação, de uma região para outra, de forma que é liberado

como calor sensível, quando o vapor se condensa. Além disso, o vapor d'água é responsável pela origem do orvalho, chuva, entre outros importantes fenômenos atmosféricos.

No que se diz respeito a classificação da massa de ar formadas em zonas tropicais, é comum subclassificá-la em massa de ar continental e massa de ar marítima, de modo que tenham sido formadas sobre o continente ou sobre o oceano. Como alvo de pesquisa deste trabalho, sob o ponto de vista oceanográfico, temos que, a massa de ar marítima frequentemente abandona sua região de origem, conduzindo consigo as propriedades lá adquiridas e, no trajeto podem causar significativas alterações nas condições das áreas aonde chegam. Vale ressaltar que, quanto maior o tempo de contato com a superfície, mais espessa a camada de ar influenciada pelas propriedades dessa superfície e, se tratando de superfícies marinhas, essa massa de ar é altamente influenciada pela salinidade.

Outro aspecto a considerar é a ação do vento. A velocidade do vento aumenta a turbulência acelerando assim, a difusão vertical de vapor d'água formado na interface superfície-atmosfera. Como consequência disso, o fluxo vertical desse vapor d'água para atmosfera está vinculado ao saldo de energia disponível, influenciado pela velocidade do vento e pelo teor de umidade predominante na camada de ar justaposta à superfície-fonte evaporada (ARYA, 2001).

Assim, observamos as principais condicionantes que caracterizam uma região de atmosfera marinha, ou de predominância marítima. Essas condicionantes como vimos, conservam e alocam a massa de ar originada a partir de oceanos, mares, rios e lagos, sendo essas predominantemente: o distanciamento ao mar; a altitude; a incidência de ventos; e a salinidade; as quais juntas e dependentes entre si como destacado no início deste capítulo, preservam e conduzem consigo características da superfície-fonte em questão, tornando o ambiente com aspectos e particularidades próprias da superfície marinha.

Através dos aspectos mencionados anteriormente, acrescidos da agitação do mar e quebra de ondas, dá-se origem a formação e transporte do Aerossol Marinho, fator característico de regiões litorâneas e altamente incidente sobre estruturas e construções no geral.

A energia superficial que é transformada em energia cinética a partir da agitação do mar, faz com que as bolhas de ar geradas no processo explodam, produzindo gotículas de espuma ou películas. Dessa forma, um jato de água é ejetado rapidamente rompendo-se em contato com o ar e formando as gotículas (VITALI, 2013). Conforme Fitzgerald (1991), citado por Oliveira *et al.* (2020), o maior volume de aerossol marinho é gerado especialmente na zona de quebra de ondas, nesta região as bolhas são mais numerosas com a movimentação de quebra. Em locais de mar aberto também há a geração do aerossol marinho, ocasionado pela própria agitação do oceano (Figura 2.1).



Figura 2.1: Aerossol formado pela quebra de ondas
Fonte: Oliveira et al. (2020)

Além disso, a formação do aerossol marinho também se dá com a produção de espuma no cume das ondas, desencadeada pelo vento, contribuindo para a formação de partículas de maiores tamanhos. Desta forma, ressalta-se que o aerossol produzido pelas ondas se mantém ao longo da linha de costa, justamente pelo fato de as partículas serem de maior tamanho, e no caso dos cloretos de origem oceânica, estes adentram mais ao continente, pois são facilmente transportados pelo vento (COLE *et al.* 2003).

Segundo Morcillo *et al.* (2000), com as gotículas formadas, estas entram em contato com o ambiente e, influenciadas pelas ações do vento, da umidade relativa, da temperatura e das demais condições climáticas e topográficas (altitude, distância da costa) e altura das ondas, assumem formato de partículas salinas de diferentes concentrações.

Após a produção de partículas, dá-se início a deposição tão logo o aerossol marinho alcance o continente. Através da apresentação de um modelo com base nos dados coletados no decorrer do Baltic Aerossol Experiment (BAEX-1), Petelski e Chomka (1998) abordam a determinação do processo de troca entre o mar e o ar na zona costeira, em forma de fluxos que entram e saem de uma zona para outra. Os fluxos que entram e saem na zona costeira, chamados fluxo advectivos, são os considerados mais importantes, pois nesta zona destaca-se uma maior influência das partículas maiores. Na atmosfera marinha, as partículas são depositadas pela ação gravimétrica ou devido à fricção. Quando há obstáculos presentes, nesta região há também a ação do fenômeno de ressuspensão de pequenas partículas, porém de forma menos significativa. Desta forma, o esquema dos fluxos inerentes ao aerossol marinho são inseridos ao modelo Petelski e Chomka (1998), representado na (Figura 2.2), sendo F_{i1} e F_{i2} : fluxos de deposição na zona costeira; F_r e F_r' : fluxo de difusão turbulenta; F_{u1} , F_{u2} e F_{u3} : fluxos advectivos que entram e saem na zona costeira; F_e : fluxo de emissão na superfície do mar; F_{d1} e F_{d2} : Fluxos de deposição na zona de atmosfera marinha.

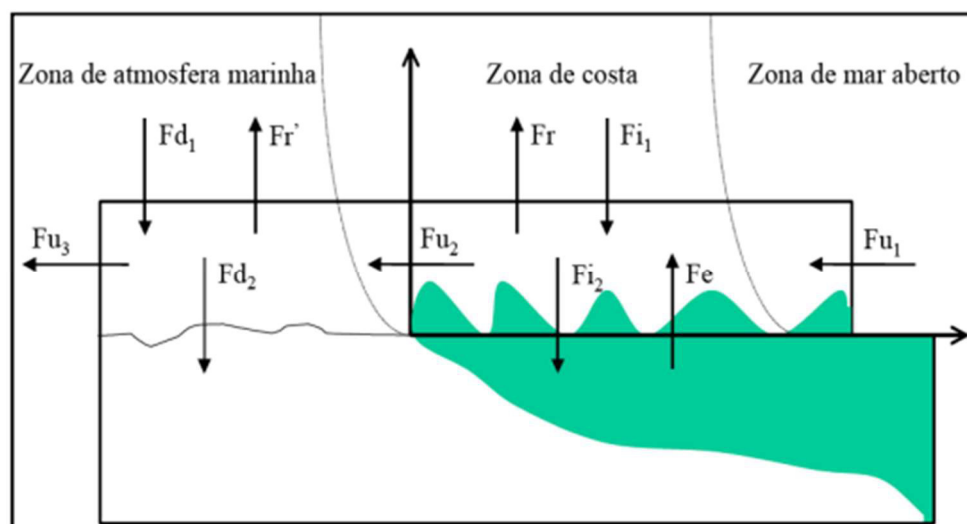


Figura 2.2: Esquema dos fluxos inerentes ao aerossol marinho
Fonte: Adaptado por Romano (2009)

Através desta representação é possível perceber que os fluxos de deposição (Fd) e (Fi) são provocados pelo efeito gravimétrico, onde as partículas são deslocadas para camadas inferiores através da ação da gravidade. Além disso ocorre a deposição também pelo efeito de fricção entre as massas de ar e os obstáculos, no qual as partículas salinas se depositam sobre a superfície deste. O fluxo Fu_3 (advectivo) é o deslocamento provocado pela ação do vento. O fluxo Fr' (turbulento) possui características iguais às daquele presente na zona costeira.

2.2. Fatores que influenciam na deposição de íons cloreto

Diversos são os aspectos capazes de influenciar a deposição de agentes agressivos sobre as estruturas de concreto, dentre eles pode-se destacar fatores ambientais como o distanciamento em relação ao mar, o regime predominante de ventos, a altitude, a umidade, a temperatura, precipitação, entre outros que, interagem com as estruturas de forma direta e também, combinada entre eles, resultando os nocivos ataques devido a agressividade do meio.

2.2.1. Distanciamento em relação ao mar

Conforme Meira e Padaratz (2002), a distância em que uma estrutura está localizada em relação ao mar, é o fator de maior importância nos estudos referentes a durabilidades das estruturas de concreto armado em zona de atmosfera marinha. De acordo com os autores, a deposição das partículas salinas acentua nas primeiras centenas de metros a partir da linha de costa. Esta afirmação é baseada principalmente, na observação do efeito da gravidade, da ação dos ventos e de obstáculos.

Medeiros et al. (2019) em seus estudos sobre a penetração de cloretos no concreto armado, discutem a concentração de cloretos presente no ambiente e sua interação com sete corpos de prova, em diferentes pontos da cidade de Barra Velha – SC. Esses pontos foram distribuídos à uma

edificação em frente ao mar, uma localizada a 700 m do mar, outra na margem de uma lagoa a 200 m de distanciamento ao mar, e em região de respingos de maré em rochas submersas. A quantidade de cloretos penetrada ao final de 2 anos foi estimada através do método de Volhard, com as modificações propostas por Andrade (2001), que pode ser utilizado na determinação de cloretos livres e totais. Os resultados apontaram aumento de até 3x no teor de penetração nas amostras externas e mais próximas ao mar, além disso ressalta a preocupação com valores mais altos de concentração, considerando o período de exposição (2 anos), pois pôde-se conjecturar que em alguns anos, esse teor seria maior do que permitido em relação à massa de cimento ou em relação a massa de concreto, conforme especificado em norma (NBR 12655, 2015).

O estudo desenvolvido por Pontes (2006) apresenta os níveis de agressividade na orla de Recife-PE. O monitoramento da concentração de cloretos foi realizado por meio do ensaio da vela úmida, com pontos situados a 7, 100, 160, 230 e 320 metros a partir da interface com o mar. Com os resultados obtidos foi possível concluir que a concentração de cloretos decresce à medida que a distância em relação ao mar aumenta. Na região em questão pôde-se observar uma concentração significativa nos primeiros 400 metros de distância, como apresentado na Figura 2.3.

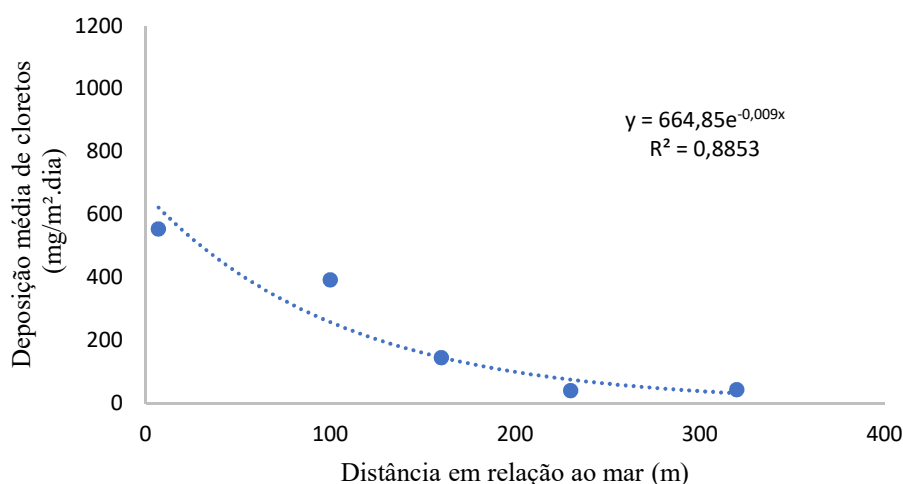


Figura 2.3: Relação entre a concentração de cloretos e a distância em relação ao mar, dentro de um período de 5 meses.
 Fonte: Pontes (2006)

A relação entre a deposição e o distanciamento da linha de costa, é apresentada pelos autores Gustafsson e Franzén (1996). De forma não linear, os autores buscam uma relação matemática para este comportamento e sugerem empiricamente a função representada na equação (2.1):

$$Dep = A \cdot dist^B \quad (2.1)$$

onde, Dep é a deposição salina do aerossol (mg/m².dia), dist é a distância em relação ao mar (m), e A e B são as constantes que dependem do ambiente.

Tal relação baseia-se nas observações do comportamento da deposição salina realizada pelos

autores ao longo do distanciamento da costa. As observações apontam que, tanto a deposição quanto a concentração salina diminuem com o inverso da distância a favor do vento.

2.2.2. Regime predominante de ventos

Em regiões litorâneas a incidência do chamado popularmente, vento maral, é altamente influente na climatologia. O vento maral, ou brisa marítima, é aquele que se desloca do oceano para o continente, devido às mudanças de temperaturas em ambos. Durante o dia há um aquecimento mais acelerado no continente do que no oceano, isto faz com que haja uma zona de baixa pressão sobre o continente, fazendo com que o vento se desloque do oceano para dentro do continente, podendo alcançar de forma intensa até 100 km de distância.

As regiões litorâneas, portanto, podem ser consideradas a “porta de entrada” dessa massa de ar vinda do mar carregada de partículas salinas. Outro fator de grande influência é a superfície plana ou suavemente ondulada, sem morros e montanhas, favorecendo a dissipação do vento. Podendo, portanto, viajar mais longe fazendo da zona de atmosfera marinha ainda mais alargada.

A Figura 2.4 mostra esse comportamento combinado, ou seja, na zona costeira a inclinação da reta da função velocidade do vento versus concentração é maior, enquanto no continente essa mesma inclinação diminui com o distanciamento ao mar (Figura 2.4).

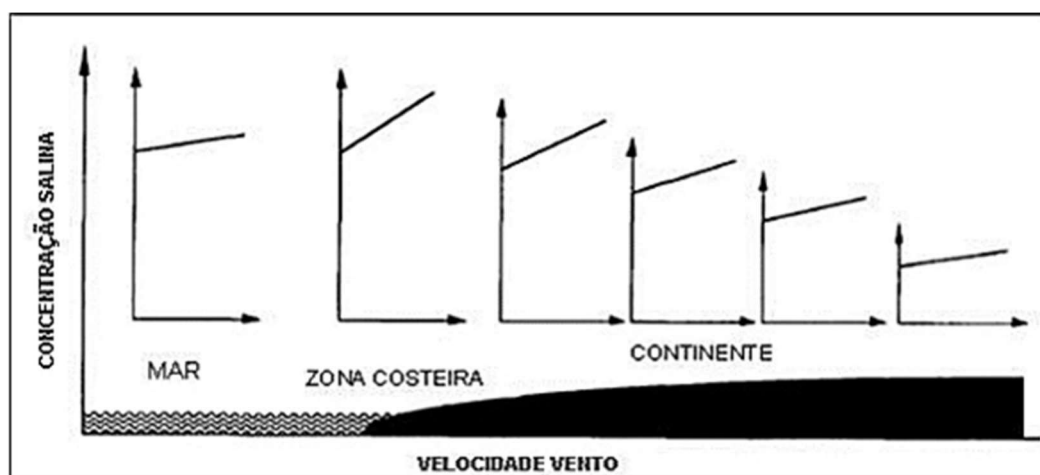


Figura 2.4: Relação da velocidade do vento versus concentração salina
Fonte: Gustafsson (1996)

Os autores defendem a relação entre a velocidade e a direção do vento na atuação da deposição de cloretos. Além de todos os aspectos já citados, muitos deles discutem o valor de uma velocidade crítica dos ventos, a partir da qual a geração e o transporte de partículas maiores ocorreriam, ocasionando uma maior concentração salina na atmosfera. A Figura 2.5 apresenta os picos de salinidade ocorrendo nos mesmos meses dos picos da força do vento na direção ENE – ventos marinhos, direção leste- nordeste (67,5° com o Norte).

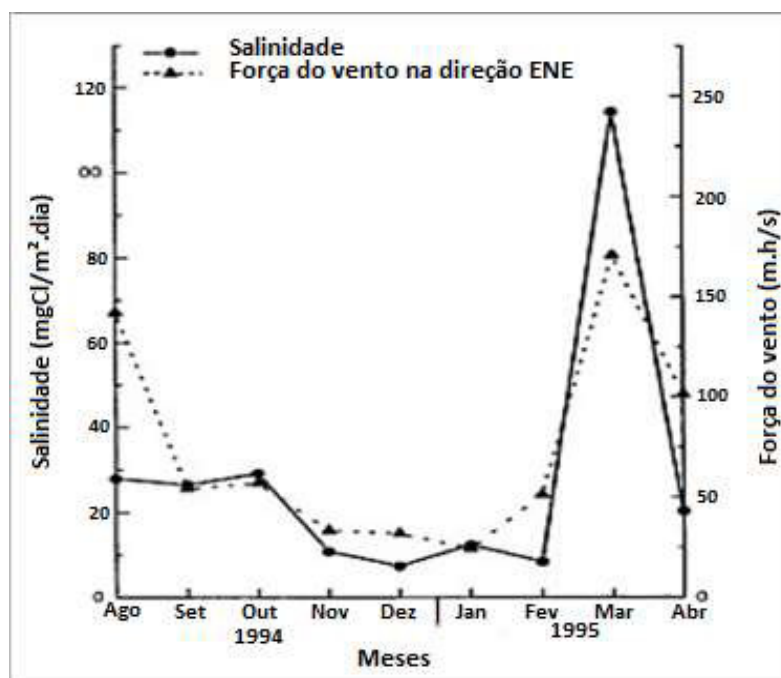


Figura 2.5: Picos de vento na direção ENE X Salinidade
Fonte: Morcillo et al. (2000)

Gustaffson e Franzén (1996) e Morcillo (2000) em suas análises, destacam a importância e influência direta do vento no aumento na formação do aerossol marinho e de seu transporte. Os autores reforçam ainda que esta importância aumenta quando o aerossol é transportado em direção ao continente. Conforme a sua amplitude, partículas maiores podem alcançar distâncias maiores antes de sua deposição, gerando assim uma maior concentração salina.

2.2.3. Temperatura

Conforme Souza *et al.* (2016) a temperatura atmosférica é uma propriedade física que indica a energia cinética das moléculas do ar. A temperatura tem uma influência significativa na deposição de íons na atmosfera. Em geral, temperaturas mais altas podem aumentar a taxa de evaporação de substâncias presentes em superfícies marinhas. Isso pode resultar em uma maior concentração de íons na atmosfera, especialmente em áreas próximas ao mar.

Souza e Silva (2011) destaca que, depois que gotículas da superfície fonte se formam na atmosfera, ocorre um equilíbrio das mesmas com o meio ambiente. Fatores como a temperatura podem transformar essas pequenas gotas em cristais (sais) ou em soluções salinas de diversas concentrações. Tal fato influencia na deposição e dissipação dessas gotículas.

Além disso, as variações sazonais na temperatura afetam os padrões de vento e circulação atmosférica, o que por sua vez pode influenciar a distribuição e a deposição de íons na superfície terrestre. Deste modo, além de desempenhar um papel importante na deposição de íons, a temperatura contribui diretamente no clima regional, influenciando na dinâmica de superfícies

marinhas e na dinâmica atmosférica, impactando outros fatores como a circulação de ventos, evaporação e precipitação (BAIRD et al., 2011).

De acordo com os resultados discutidos por Castañeda *et al.* (2018), ao analisar a relação e influência das variações climáticas, como a umidade relativa, a temperatura e a velocidade do vento ao longo do ano, com a deposição de cloretos na cidade de Havana, Cuba, é possível observar as seguintes relações (tabela 2.1).

Tabela 2.1: Influência da umidade relativa, da temperatura e da velocidade do vento na deposição de cloretos na cidade de Havana (Cuba) através da regressão multivariada linear.

Fonte: Castañeda et al. (2018), adaptado pela autora.

Dist.de exposição (m)	r ² (%)	Regressão (Dep= a+b x RH + c x T+ d x v)				
		Medidor	a	b	c	d
20	91	1	828,86	27,73	410,72	88,55
	90	2	803,76	23,63	124,73	103,22
170	73	1	59,28	0,36	-2,93	-2,22
	73	2	60,67	0,36	-2,96	-2,40
600	63	1	0,41	0,28	-0,98	2,40
	66	2	0,56	0,22	-0,88	1,96
1365	75	1	207,40	1,45	-10,19	-1,30
	77	2	212,79	1,47	-9,09	-0,88
1772	85	1	21,01	0,12	-0,95	-1,02
	81	2	18,50	0,13	-0,90	-0,88
2365	76	1	20,64	0,20	-1,16	-1,30
	77	2	19,73	0,18	-1,09	-1,02
4911	75	1	9,84	0,13	-0,68	-0,30
	74	2	11,44	0,12	-0,69	-0,42

Onde: Dep é a deposição de cloretos em mg/(m².dia); a,b,c e d são constantes de regressão; v é a velocidade do vento em m/s; e T é a temperatura em °C; e RH é a umidade relativa.

Com base nos dados, os autores concluem que existe uma complexa relação entre a temperatura, a umidade relativa e a deposição de cloretos. Os autores destacam ainda que, deve-se ter cuidado com a aplicação deste modelo em regiões com diferenças significativas nas condições ambientais, considerando a especificidade do local e das relações físicas empregadas.

2.2.4. Umidade Atmosférica

Além das variações meteorológicas anteriormente citadas, influentes na deposição e na concentração de cloretos em estruturas de concreto armado, a umidade relativa é responsável por uma complexa relação entre estas variáveis, cuja influência é maior em regiões costeiras e sem obstáculos (CASTAÑEDA *et al.*, 2018). Pode-se dizer que a umidade do ar é a água em forma de vapor e de pequenas partículas dissolvidas na atmosfera. A maioria das variações meteorológicas (orvalho, chuva, nuvens), originam-se à partir da condensação deste vapor (STUDART, 2006).

Um estudo abordado por Ferreira (2022), destaca que se a umidade relativa for superior a

70%, as partículas de aerossol depositam-se como solução salina e não como cristais. Por outro lado, o autor destaca que a influência da umidade relativa na concentração salina é especialmente importante entre 50 – 70%, devido a umidificação do sal, aumentando as partículas salinas, favorecendo a deposição na faixa costeira.

2.2.5. Precipitação

Para Radojevic *et al.* (2006), a precipitação desempenha um papel crucial na deposição de cloretos, principalmente porque a água da chuva pode agir como um agente de lavagem, removendo os cloretos presentes na atmosfera e depositando-os nas superfícies. A lavagem atmosférica e o transporte de cloretos por água da chuva são os dois processos principais pelos quais a precipitação influencia a deposição de cloretos.

O processo de lavagem atmosférica se dá pela captura de partículas e aerossóis presentes na atmosfera, incluindo cloretos, pelas gotas d'água. Essas partículas se dissolvem na água da chuva e são carregadas para a superfície quando a chuva a atinge. Esse processo de lavagem atmosférica é uma das principais maneiras pelas quais os cloretos presentes na atmosfera são removidos e depositados no ambiente terrestre.

No transporte de cloretos por água da chuva, além de simplesmente dissolver os cloretos na atmosfera, as gotas de chuva também podem carregar os cloretos para o solo enquanto caem. Se a concentração de cloretos na chuva for alta o suficiente, a deposição direta desses cloretos no solo pode ocorrer à medida que a chuva atinge a superfície.

A quantidade de cloretos depositados durante a precipitação depende de vários fatores, incluindo a intensidade e duração da chuva, a concentração de cloretos na atmosfera, a velocidade do vento e as características físicas e químicas das superfícies onde a água da chuva é depositada. Por outro lado, não sendo significativa a concentração de cloretos na atmosfera, em conjunto também com a intensidade e frequência das chuvas, a precipitação pode também surtir efeito inverso, acarretando na lavagem e dispersão de cloretos anteriormente depositados em uma determinada superfície.

Esse processo de lavagem da superfície das estruturas pela chuva é particularmente importante em áreas urbanas e industriais, onde a poluição atmosférica é mais intensa e as estruturas estão sujeitas a altas concentrações de poluentes, incluindo cloretos. Edifícios, pontes, estradas e outras estruturas expostas à atmosfera podem acumular cloretos ao longo do tempo devido à deposição atmosférica. A frequência e intensidade da chuva são fatores-chave que influenciam a eficácia desse processo de lavagem. Chuvas mais frequentes e intensas tendem a remover uma quantidade maior de cloretos das superfícies das estruturas. No entanto, em algumas circunstâncias,

como em áreas com alta poluição atmosférica e chuvas ácidas, a chuva pode desencadear reações em superfícies metálicas e estruturas de concreto (GALLOWAY *et al.*, 2013).

2.2.6. Sais disponíveis em atmosfera marinha

Flores Monte *et al.* (2021) destacam que por muitos anos, a determinação da salinidade foi realizada por meio da titulação de cloretos, ou mais precisamente, titulação dos haletos Cl⁻, Br⁻ e I⁻. Atualmente, a medição da salinidade é baseada na Escala Prática de Salinidade (EPS), que utiliza a condutividade da amostra como base. No entanto, ambas as abordagens requerem cuidados específicos. O método de titulação assume uma proporção constante entre os constituintes, garantindo a igualdade de salinidade apenas se as amostras comparadas apresentarem a mesma clorinidade. Por sua vez, a EPS exige que as amostras, com a mesma condutividade elétrica, estejam sujeitas à mesma temperatura e pressão para assegurar uma equivalência na salinidade.

Os autores destacam ainda que, o oceano tem na atmosfera sua principal fonte de gases dissolvidos, e trazem a abordagem da continuidade das proporções dos principais elementos ao longo da profundidade. Os principais elementos que compõem os sais dissolvidos são cloreto (Cl⁻), sódio (Na⁺), sulfato (SO₄²⁻), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺) e potássio (K⁺), que somam ~99,4%. Por se tratar de elementos conservativos, a proporção entre eles também se mantém constante, independentemente da profundidade. Este fenômeno é possível uma vez que a taxa com que a água se move dentro e através dos oceanos é muito mais rápida do que os processos químicos e/ou biológicos que ocorrem na introdução ou remoção destes constituintes.

Enquanto as proporções se mantêm contínuas, Oliveira (2018) destaca que é possível inferir que a concentração de um determinado gás na camada laminar do oceano é maior que nas demais profundidades, ficando mais próxima da concentração encontrada na atmosfera.

Como visto no início deste capítulo, as condicionantes que caracterizam a atmosfera marinha, conservam e carregam consigo a identidade de sua superfície-fonte, primordialmente quando se diz respeito ao aerossol marinho. Conforme Portella (2011), do total de sais das águas oceânicas, 7,68% são sulfatos e 55,4% são cloretos. Borba Júnior (2011), em seus estudos destaca que a água do mar é composta por 96,7% de água e 3,3% de sais dissolvidos e, dentre os sais dissolvidos, apenas cinco elementos e um composto corresponde a 93,5% desses sais, todos em sua forma iônica (tabela 2.2).

Tabela 2.2: Principais íons do Oceano Atlântico (DIN 4030, 1991)

Íons	Quantidade íons (mg/l)
SO_4^{2-}	2800
Mg^{++}	1300
Ca^{++}	400
Cl^-	19900
Na^+	11000
K^+	400
Ph	>8

De acordo com a NBR 14643 (2001), outros tipos de contaminação como por NO_x , Cl_2 , H_2S , poeiras, ácidos orgânicos entre outros, podem ter um efeito sobre a corrosividade de atmosferas específicas, contudo, os fatores mais importantes dentro de uma categoria particular de análise, são os teores de SO_2 e de Cl^- , especialmente cloretos de sódio (NaCl), correspondendo a principal composição da atmosfera marinha.

Para Leite (2007), uma superfície pode ser umedecida se sais higroscópicos depositados sobre ela absorverem água da atmosfera. Essa absorção ocorre diante da chamada umidade relativa crítica, isto é, acima de uma certa umidade relativa, cujo valor depende da identidade carregada pelo contaminante sobre a superfície. Conforme a autora, a umidade relativa crítica corresponde à pressão de vapor sobre uma solução saturada do sal presente. A relação dos diferentes sais depositados na superfície do aço, com a umidade relativa é demonstrado na Figura 2.6.

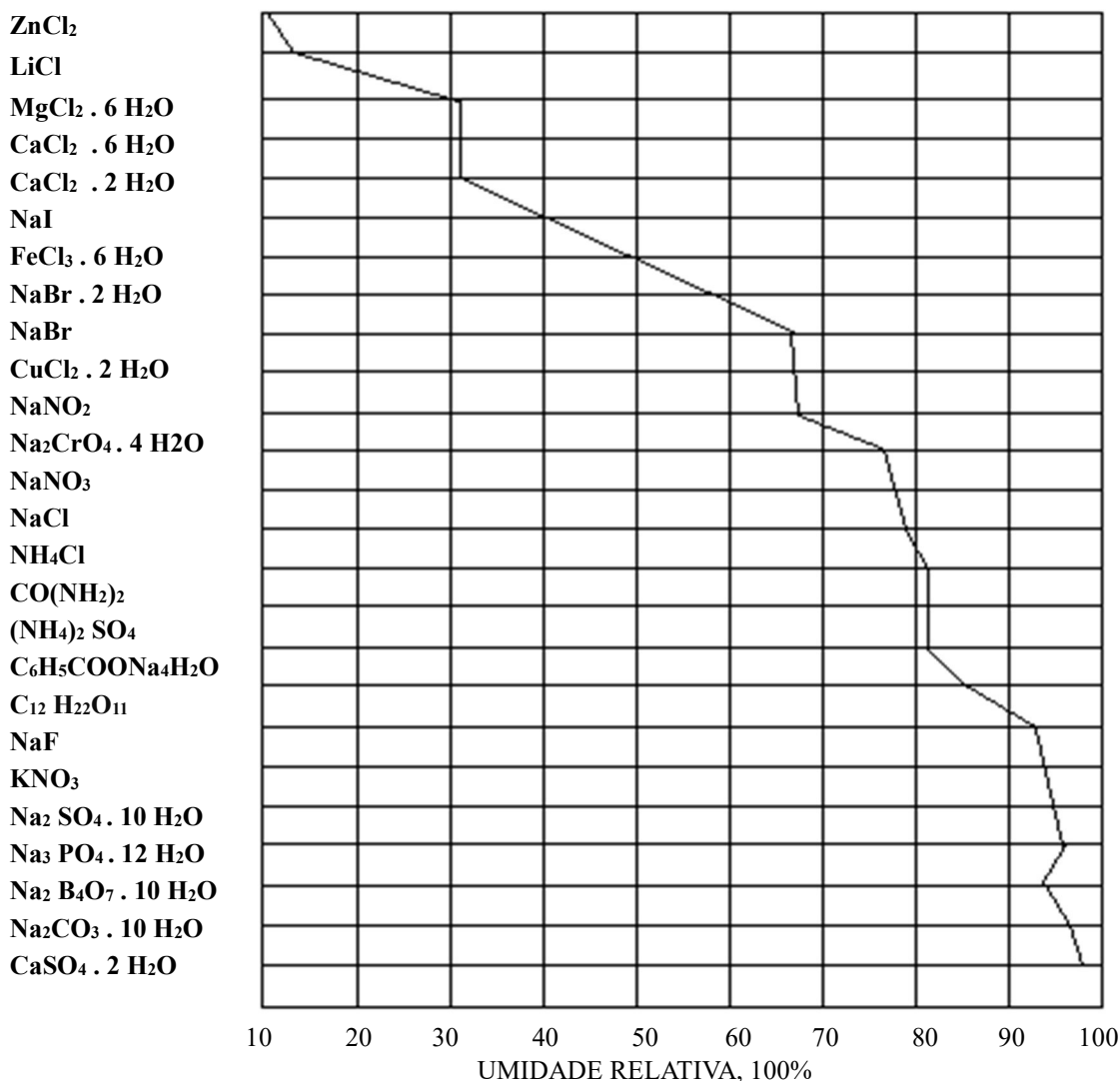


Figura 2.6: Ensaios de corrosão com diferentes sais depositados sobre a superfície do aço, em função da umidade relativa. Ensaios com duração de sete dias.

Fonte: <https://edisciplinas.usp.br>, adaptado pela autora.

2.3. Cenário atual da Classificação de Agressividade Ambiental (CAA)

Para Beushausen *et al.* (2021), as classes de agressividade padrão não podem ser generalizadas e não podem ser empregadas adequadamente a diferentes regiões, sendo necessária uma caracterização mais rigorosa e detalhada do ambiente de exposição. A abordagem tradicional considerada satisfatória, baseia-se na limitação de parâmetros principalmente voltados ao cobrimento nominal, relação a/c , f_{ck} , entre outros, relacionados às categorias de exposição padrão.

Normas técnicas, como a NBR 6118 (2023) no Brasil e a Eurocode 2 na Europa, fornecem diretrizes para a classificação da agressividade ambiental com base em parâmetros gerais. No entanto, tem-se reconhecido a necessidade de adaptação às condições específicas de cada região, especialmente em países com grande extensão territorial e variedade climática, como o Brasil.

A generalização dessas classificações pode ser limitada devido à grande variedade de condições ambientais encontradas em diferentes regiões e locais específicos. Por exemplo, o que é considerado um ambiente moderadamente agressivo em uma área urbana pode não refletir as mesmas condições encontradas em outra região com características climáticas e geográficas diferentes. Isso pode levar a uma subestimação ou superestimação da verdadeira agressividade ambiental enfrentada pela estrutura de concreto armado.

Com a extensa costa litorânea e grande ocupação urbana, os ambientes de exposição brasileiros, são divididos em quatro classes de agressividade para fins estruturais, conforme padrões, estabelecidos NBR 6118 (2023). A norma brasileira classifica a agressividade ambiental conforme as condições de exposição de estruturais ou de seus elementos (Tabela 2.3).

Tabela 2.3: Classes de agressividade ambiental conforme NBR 6118 (2023).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

As principais normatizações internacionais, classificam o ambiente de exposição baseando-se em diferentes mecanismos de degradação. As classes de exposição internacionais são comumente divididas em categorias, definindo o ambiente em questão, e divididas ainda, em subclasses relacionadas à limitação dos parâmetros da mistura de concreto (Tabela 2.4).

Tabela 2.4: Resumos das classificações de exposição em diversos códigos internacionais.
Fonte: Beushausen et al. (2021), adaptado pela autora

EN 206:2013	ACI 318:2019	CSA A231:2009	AS 3600:2018	SANS 10100-2:2009	IS 456:2000
Estrutura geral das classes de exposição					
6 classes de exposição	4 classes de exposição	6 classes de exposição	6 ambientes de exposição	5 categorias básicas de exposição	5 categorias básicas de exposição
18 sub-classes	13 sub-classes	23 sub-classes maior consideração das zonas tropicais, áridas e temperadas áridas	22 sub-ambientes encaixados em sete classes de exposição		
Classificações relacionadas à corrosão da armadura em estruturas de concreto					
XCL - XC4: Carbonatação	C0: Sem exposição à umidade	B1: Qualquer zona climática entre 1 e 50 km da linha costeira	A1-A2: Interior (>50m)	Severa: Todas as superfícies expostas	Severa: Permanentemente submerso na água do mar ou ao longo da linha costeira
XD1 - XD3: Cloretos que não sejam de água do mar			B1: Próximo a costa (1 a 50km)		
Cloretos originados do mar	C1: Com exposição à umidade e aos cloretos externos	B2: Qualquer zona climática até 1 km da costa (exceto marés, respingos e permanentemente submersa)	B2: Permanentemente imersa em água do mar	Muito severa: A 30km do mar Ação abrasiva da água do mar	Muito severa: Pulverização de água do mar ou fumos corrosivos
XS1: Expostos ao sal presente no ar					
XS2: Permanentemente submerso		C: Zonas de maré ou respingos	C1: Exposição a cloretos em zonas de spray C2: Exposição Cl ⁻ em zonas de maré e respingos		Extrema: Zona de maré
XS3: Maré, respingos e spray					

Os modelos de classificação estabelecidos pelos códigos e seus referidos países, fornecem uma base prática para projetos de desempenho e durabilidade das estruturas, no entanto, negligenciam as características reais e variáveis, que podem resultar em maiores taxas de deterioração, quando aplicados ao que é esperado das classes de agressividade padrão.

Neste sentido, alguns autores definem a divisão das zonas de agressividade conforme o posicionamento das estruturas de concreto. Os autores abordam essa definição através da classificação de cinco diferentes zonas de agressividade, determinadas conforme a presença de cloretos no concreto, expressas na figura 2.7 (SWAMMY *et al.*, 1994; BORBA JÚNIOR, 2011).

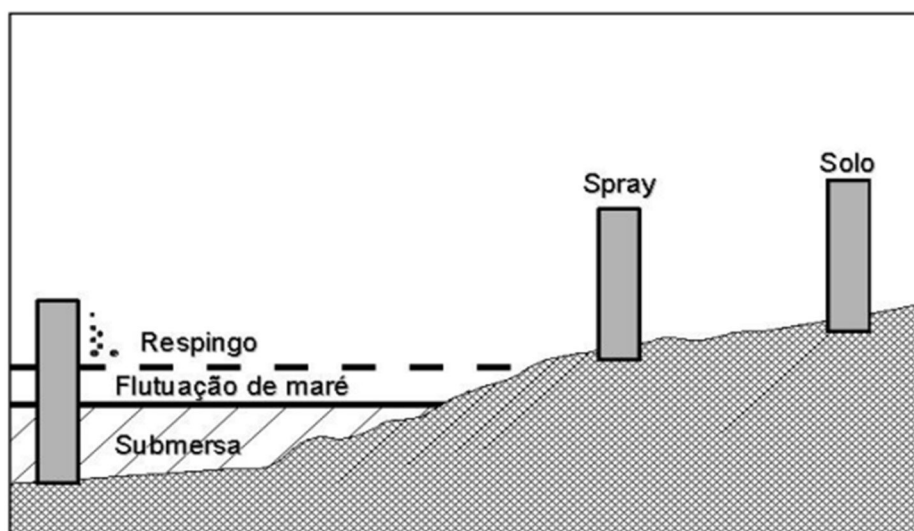


Figura 2.7: Zonas de agressividade ao concreto
Fonte: Borba Júnior (1981)

Deste modo, é possível observar a Zona Submersa, como a daquele concreto que fica sempre abaixo do nível do mar onde a própria água é a fonte de cloretos; a Zona de Flutuação, no qual o concreto está posicionado em região intermediária, onde correm as variações mínimas e máximas do nível do mar, sujeito a ciclos de molhagem e secagem. Nesta região há alta concentração de cloretos e presença de oxigênio, podendo ser considerada a zona mais agressiva. Além dessas, observa-se também a Zona de Respingo, referente àquele concreto acima do nível do mar e bem próximo à ele, recebendo respingos devido ao comportamento da maré, podendo ser considerada a segunda região mais agressiva; a Zona de Spray, onde hora o concreto está em zona de respingo, quando há presença de fortes ventos, hora em Zona de Solo, em situação de ventos fracos; e por último, a Zona de Solo, representando a zona daquele concreto que recebe apenas a névoa formada pelo aerossol marinho, os autores sugerem que esta zona tem início na faixa de 10 a 20m de distância ao mar.

A variação significativa expressa para a Zona de Spray, podendo variar entre as Zonas de Respingo e de Spray, por dependerem da incidência de ventos e outros aspectos climáticos, trazem uma importante e necessária reflexão, acerca da classificação adotada pelo profissional para o planejamento e dimensionamento conforme o grau de agressividade a que uma estrutura ali localizada está submetida. Medeiros et al. (2019), enfatizam a forma como atualmente os códigos de projetos brasileiros consideram o ambiente marinho como uma mesma região, com os mesmos critérios de projetos para o cobrimento das armaduras, relação a/c, entre outras especificações.

Algumas definições são encontradas na literatura técnica, quanto a classificação do ambiente. Albuquerque *et al.* (2005) aborda os destaques para a classe de respingo de maré, considerando esta, a região acima da área de maré máxima, como as partes de um píer por exemplo;

a classe marinha, como sendo aquela região próxima à costa que recebe gotículas de água salgada devido aos ventos; e a classe urbana, correspondendo aos centros populacionais maiores. No entanto, o autor reforça que, por falta de dados e informações reais da influência da névoa salina na cidade esses limites ficam indemarcáveis, e que, uma classificação pelo macro ambiente não gera uma condição suficiente ao processo de deterioração.

Albuquerque (2005) apresentou uma proposta para a elaboração do mapeamento da agressividade ambiental na cidade de Fortaleza, propondo a medição de índices de cloretos, somados aos resultados de temperatura, umidade, vento e índices pluviométricos. Para avaliação dos índices de cloretos, o autor sugere os valores de referência apresentados por Helene (1995), representados no Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Valores de referência para avaliação dos índices de cloretos,
Fonte: Helene (1995)

Classe	Macro Clima	Micro Clima	CO2	Cloretos Cl-
I	Rural	UR < 60%	<0,3%	< 200mg/L
II	Urbana	60 < UR < 95%	<0,3%	< 500mg/L
III	Marinha ou Industrial	65 < UR < 98%	0,30%	< 500mg/L
IV	Polos Industriais	Interior úmido de Indústria		< 500mg/L

Morcillo *et al.* (2000) *apud* Portella (2011), apresentam a classificação do grau de agressividade a partir de dados meteorológicos. Os autores versam sobre um valor numérico denominado índice de deterioração de Brooks (I_d), representando um índice sobre o potencial de corrosão e, calculado a partir da pressão de saturação do vapor de água à temperatura e umidade relativa médias da região (equação 2.2).

$$I_d = \frac{(UR - 65) \cdot P}{100} \quad (2.2)$$

Onde, I_d = índice de deterioração média anual de Brooks; UR = umidade relativa média anual (em porcentagem); P = é a pressão de saturação do vapor de água na atmosfera (em mbar), correspondente à temperatura média anual; este valor pode ser obtido experimentalmente ou por meio de tabelas padrão (SICA, 2006). A partir desse índice, é possível estabelecer diferentes graus de deterioração conforme apresentado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6: Índice de deterioração de Brooks.
Fonte: ABNT NBR 14643 (2001)

Id	Grau de Deterioração	Id	Agressividade
Id < 1	Muito Baixo	0 - 1	Não agressivo
1 < Id < 2	Baixo	1 - 2	Muito agressivo
2 < Id < 5	Moderado	2 - 4	Pouco agressivo
Id > 5	Alto	4 - 5	Agressivo
		5 - 10	Muito agressivo

A NBR 14643 (2001), assim como a ISO 9223 (1992) em conjunto com as ISO's 9224, 9225 e 9226 (2012), propõe uma ideia do grau de agressividade conforme a classificação de corrosividade atmosférica, embora não sejam específicas para elementos de concreto armado. Tais normas objetivam fornecer guias padrões para classificar o grau de corrosividade e, recomendam valores de alguns parâmetros ambientais como, o tempo de superfície úmida ("time of wetness"), o teor de cloretos e de óxidos de enxofre, para classificar a agressividade do ambiente. Porém, não há considerações nessas normas quanto a fatores como precipitação, radiação solar e a ação dos ventos, que influenciam diretamente na corrosão, porém são difíceis de generalizar e são muito específicos para diferentes materiais (PORTELLA, 2011).

A caracterização sugerida pela NBR 14643 (2001), é dividida em cinco categorias de corrosividade (tabela 2.7).

Tabela 2.7: Categorias de corrosividade atmosférica
Fonte: ABNT NBR 14643 (2001)

Categoria	Corrosividade
C 1	Muito baixa
C2	baixa
C 3	Média
C 4	Alta
C 5	Muito alta

Podendo ser dada também, a partir da classificação em termos de contaminação por Cl⁻ (Tabela 2.8).

Tabela 2.8: Classificação de contaminação por Cl^-
Fonte: ABNT NBR 14643 (2001)

Taxa de deposição de Cl $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$	Categoria
$B \leq 3$	B ₀
$3 < B \leq 60$	B ₁
$60 < B \leq 300$	B ₂
$300 < B \leq 1500$	B ₃

NOTAS

1- A determinação do teor de cloreto para esta Norma é baseada no método da vela umida especificado na NBR 6211

2- Resultados obtidos na aplicação de diferentes métodos para a determinação do teor de cloretos na atmosfera nem sempre são comparáveis e conversíveis

3- Para 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.

4- Qualquer taxa de deposição de cloreto da categoria B é insignificante do ponto de vista de ataque de corrosão

5- Contaminação excessiva por cloreto típica de zona de arrebentação e névoa marinha está fora do escopo desta Norma

A NBR 14643 (ABNT, 2001) aborda a Corrosão atmosférica, em especial a Classificação da corrosividade de atmosferas. Ela estabelece uma metodologia para categorizar as atmosferas conforme sua corrosividade. Essa categorização é determinada pela análise dos dados atmosféricos ou pelas medidas da taxa de corrosão de metais padrão. A norma considera como relevantes para a corrosão de metais e ligas, a classificação do ambiente tanto por meio do tempo de exposição à umidade, quanto por meio dos teores de SO_4^{2-} e Cl^- presentes na atmosfera.

Kenny *et al.* (1993) citado por Portella (2011), por meio do resultado dos seus estudos sobre a exposição de estrutura em atmosfera, apresentam a proposta de classificação do ambiente mediante a deposição de cloretos, na qual apresentam a relação da deposição com os diferentes ambientes de exposição (tabela 2.9).

Tabela 2.9: Classificação do ambiente
Fonte: Kenny et al. (1993)

Contaminação atmosférica			
Ambiente corrosivo	SO_3 ($\text{mg}/100\text{cm}^2.\text{dia}$)	SO_2 - calculado ($\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$)	Cl^- ($\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$)
1. Rural	0,12 - 0,37	9,6 - 29,6	< 30
2. Urbano	0,37 - 1,25	29,6 - 100,0	< 30
3. Industrial	1,25 - 2,50	100,0 - 200,0	< 30
4. Marinho	0,12 - 0,37	9,6 - 29,6	30 - 3000
5. Marinho Industrial	1,25 - 2,50	100,0 - 200,0	30 - 3000

Alguns autores trazem propostas que se assemelham a realidade apresentada por Kenny *et al.* (1993) citado por Portella (2011). Meira (2004) traz também a ideia de um ambiente urbano simultaneamente marinho, ou seja, como é o caso de estruturas construídas em cidades litorâneas que sofrem diretamente com a ação de cloretos. Estas cidades são alcançadas constantemente pelo aerossol marinho, influenciado pela ação dos ventos até mesmo pelos respingos devido a dinâmica das ondas. Porém, apesar de uma região de atmosfera marinha, são discriminadas com classificação de agressividade urbana.

Neste contexto, há necessidade de estabelecer as divisões das classes de agressividade das diferentes regiões marítimas e costeiras, a fim de contribuir para o estudo da classificação de agressividade ambiental. Neste sentido, alguns autores como Meira *et al.* (2017) destacam a relevância dos estudos das microrregiões de agressividade. Os autores propõem, por exemplo, que a zona de atmosfera marinha seja dividida em três diferentes níveis de agressividade em função de sua distância do mar e taxa de deposição de cloretos. Os valores limites propostos são apresentados na Tabela 2.10.

Tabela 2.10: Níveis de agressividade em zona de atmosfera marinha:
(Fonte: Meira, 2004)

Agressividade	Deposição de cloretos [mg/(m² dia)]	Distância em relação ao mar [m]
Elevada	> 100	< 100
Moderada	Entre 10 e 100	Entre 100 e 750
Mínima	< 10	> 750

Para regiões com maiores intensidades de vento, de até 18 m/s, Morcillo *et al.* (2000), consideraram que valores de deposição de cloretos abaixo de 100 mg/(m².dia) caracterizam uma região de baixa agressividade, enquanto zonas de agressividade elevada são aquelas nas quais se observam deposições superiores a 400 mg/(m².dia), reiterando a relevância das características de agressividade própria das microrregiões.

2.4. Estudos das classes de exposição em diferentes regiões de atmosfera marinha

Alguns trabalhos interessados no estudo da classificação da agressividade ambiental, através da análise da deposição, penetração e concentração de cloretos em estruturas de concreto, vêm sendo realizados em diferentes regiões marinhas. Para visualização do cenário nacional e internacional do estado da arte, a fim de comparar e relacionar as similaridades e diferenças entre os

aspectos característicos de diferentes regiões, a seguir serão abordadas as conclusões alcançadas por diferentes estudos. Observando também, como os autores buscam julgar a classificação de exposição a que uma estrutura é ou será submetida, e as recomendações normatizadas.

No Litoral norte do Rio Grande do Sul, Romano (2009) estudou a orla marítima de Tramandaí, propondo analisar a relação dos níveis de agressividade frente ao distanciamento ao mar, englobando diferentes tipos de aglomerantes, relações água/aglomerante e climatologia local. A autora destaca importantes resultados frente aos tipos de cimentos empregados, como por exemplo, a moldagem de concretos com cimento CP V-ARI, cujos resultados apresentam maiores concentrações superficiais comparados àqueles moldados com cimento CP IV-RS, acentuando essa concentração quando há adição de sílica ativa. Além disso, através do estudo realizado é possível observar que concretos com menor relação a/agl, apresentaram perfis de penetração de cloretos menos danosos para os concretos estudados. Em relação ao distanciamento do mar, o estudo apresentou uma diminuição na ordem de 50% na faixa de 850m de distância do mar, para os concretos moldados com cimento CP IV-RS, e relação a/agl 0,45 e 70% com concretos moldados com cimento CP V-ARI, com e sem adição de sílica ativa e mesma relação a/agl. Para relação a/agl 0,55 utilizando diferentes aglomerantes, houve redução média de 58% e, para àqueles de relação a/agl 0,65, houve redução de 25%, para todos os concretos.

Na região de Santa Catarina, em Florianópolis, Garcia (2008) observou a diminuição da taxa de deposição de cloretos em relação ao distanciamento ao mar, através das análises dos concretos moldados com cimentos CP IV-RS e relação a/c 0,67, distanciados 10 metros do mar e expostos durante 12 meses. Os resultados apresentaram o maior pico de concentração de 0,425% em relação à massa de cimento, atingindo a profundidade de até 7,0 mm. O autor destaca ainda a redução de 77,3% da taxa de deposição à 100 metros do mar e, a redução de 77,4% da concentração de cloretos no interior do concreto ao final dos 12 meses, indicando que a medida feita através da análise da vela úmida pode guardar justa proporção com o ingresso de cloretos no concreto, ao menos para as primeiras distâncias observadas.

No Espírito Santo, na cidade de Vitória, a proposta da classificação ambiental através do estudo da deposição de cloretos, representa a região sudeste, não sendo encontrados mais estudos para outros estados até o presente momento. A análise realizada por Borba Junior (2011) mostra uma diminuição da taxa de deposição a partir dos 200m de distância do mar, o autor relaciona a deposição de cloretos encontrada para a cidade de Vitória, semelhante à encontrada na cidade de João Pessoa, na Paraíba. Além disso, é possível observar a relação do aumento da deposição de cloretos com o aumento da velocidade dos ventos, principalmente com ventos marais acima de 3m/s.

Na cidade de Maceió, em Alagoas, Alves (2007) trouxe contribuições à perspectiva de vida útil de estruturas de concreto, frente a deposição de cloretos na região. Nota-se o aumento do teor de cloretos nas primeiras distâncias, detectando resultados de deposição além de 14 km do mar. As concentrações de cloreto encontram-se entre aproximadamente 17 mg/L para uma distância de 644,8 metros do mar e, aproximadamente 372 mg/L para uma distância de 20,2 metros do mar, e taxas de deposição entre 46,23 mg/(m².dia) e 1017,92 mg/(m².dia) respectivamente. Os métodos adotados por este trabalho seguem as recomendações estabelecidas pela NBR 6211 (2001), fundamentada na norma americana ASTM D 512-89 de 1999. Alguns critérios foram escolhidos para exposição do experimento, como épocas específicas do ano visando variação de ventos e precipitação e, tempo de exposição de 30 dias. Ao término do período de coleta optou-se pelo método volumétrico de Mohr para a determinação do teor de cloretos.

Em Pernambuco, na cidade de Recife, Pontes (2006) analisou o comportamento da atmosfera marinha para a deposição de cloretos e, utilizando-se do aparato de vela úmida, realizou exposições à 7, 100, 160, 230 e 320 metros do mar, por um período aproximado de 6 meses. Os procedimentos descritos pela NBR 6211 (2001) foram adotados tanto para a exposição quanto para a determinação do teor de cloretos solúveis em água. A predição modelo realizada pelo autor, apontam concentrações de 32,12 mg/(m².dia) à 622,48 mg/(m².dia) para respectivas distâncias.

O estudo realizado pelo INOVACON¹ e outros institutos colaboradores, afim de estabelecer as divisões das classes de agressividade ambiental para a cidade de Fortaleza-CE, aponta uma concentração mínima encontrada da deposição de cloretos pelo método da vela úmida, de 550,48 mg/m².d e máxima de 5069,51 mg/m².d a uma distância de 50 metros do mar, na praia do Futuro. Ao analisar uma faixa entre 201 à 250 metros de distância desta mesma praia, a concentração média é de 204,23 mg/m² e, de 147,40 mg/m² à 1 km de distância. Tendo em vista a classificação da agressividade da cidade de Fortaleza, os autores procedem com os valores encontrados, aplicando-os à sugestão por Vilasboas (2013), de uma classificação dos ambientes relacionando a classificação por contaminação de cloretos, conforme descrito na Tabela 2.11.

¹ Instituto de Inovação da Indústria da Construção Civil

Tabela 2.11: Classificação das classes de agressividade

ABNT NBR 6118/2023			ABNT NBR 14643/2001	
Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura	Classificação de contaminação da atmosfera por Cl^-	Teor de cloretos $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
I	Fraca	Insignificante	B0	$0 < B < 3$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
			B1	$3 < B < 60$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
II	Moderada	Pequeno	B2	$60 < B < 300$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
III	Forte	Grande	B3	$300 < B < 1500$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
IV	Muito forte	Elevado		$B < 1500$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$

De forma geral, os dados mostram uma alta concentração de cloretos nos primeiros metros. Também é possível observar uma variação dos valores da concentração na faixa mais próxima ao mar em função da região, enquanto no Nordeste a concentração inicial fica em torno de 1.000 $\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$, na região Sul esse valor médio é de cerca de 500 $\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$. Apesar desses dados terem altavariabilidade, o que é intrínseco a parâmetros ambientais, essas médias podem fornecer uma boa ideia de como esses valores podem ser diferentes de acordo com o ambiente.

Beushausen *et al.* (2021) abordam a dependência dos projetos de durabilidade e modelagem de vida útil de estruturas de concreto, nas diferentes classes de exposição ambiental, baseados nos mecanismos de deterioração predominantes. Os autores realizam um estudo de revisão bibliográfica baseando-se predominantemente nas condições ambientais europeias. No estudo é destacado que, embora as classes de exposição sejam mais adequadas ao projeto prescritivo para durabilidade, elas também podem ser adaptadas a projetos de desempenho. Para abordagens mais complexas, como a aplicação em projeto de estado limite usando coeficientes parciais de segurança, os autores destacam que, as generalizações das classes de exposição padrão não podem ser empregadas adequadamente, necessitando, portanto, de uma caracterização mais rigorosa do ambiente de exposição. Somado a isso, observando também diferentes códigos nacionais, os autores relacionam as limitações encontradas e propõe a atualização das classes de exposição padrão para inclusão em um novo modelo.

Através do compilado de dados obtidos por estudos experimentais, da deposição de cloretos ao redor da Austrália, Davies *et al.* (2018) avançam com os estudos realizados por diversos autores, propondo o mapeamento da referida deposição para toda a Austrália. Um modelo desenvolvido previamente em função da distância em relação à costa, foi utilizado como base para a produção do

mapa em escala continental, contando com o auxílio de um software de estimativas de parâmetros. Os dados foram extraídos por meio de uma revisão de literatura, no qual foram identificadas 291 medições de deposições, observados em todos os estados e territórios australianos, ao longo de um período de 80 anos. A variabilidade espacial da deposição de cloretos ao longo de todo o continente foi consistente com a morfologia local.

No Golfo da Tailândia, a fim de prever a penetração de cloretos, Chalee *et al.* (2009) desenvolveram um modelo preventivo da penetração de cloreto em concreto sob exposição em ambiente marinho. Através de uma exposição de longo prazo, tendo como duração mínima de 2 anos e máxima de 5 anos e, expostos em zona de maré na província de Chonburi. Foi possível realizar comparação entre os perfis de penetração de cloreto previstos e experimentais expostos. A maior parte dos dados obtidos apontou concentrações de cloretos inferiores nos perfis previstos, porém, obedecendo sempre pequena diferença dos perfis experimentais. Portanto, a proposta de previsão utilizando o modelo empírico são razoavelmente precisas. Com as previsões adotadas por meio do modelo empírico, observou-se concretos com diferentes percentuais de cinzas volantes, onde o teor de cloretos foi mostrado inversamente proporcional à sua adição. Para os autores, o uso de cinzas volantes no concreto pode prolongar o tempo de corrosão inicial, oferecendo melhor resistência ao cloreto sob um ambiente marinho.

Com a intenção de encontrar uma relação linear entre as variáveis climatológicas e a deposição de cloretos, Castañeda *et al.* (2018), avaliam a deposição de cloretos na cidade de Havana – Cuba, assim como a umidade relativa, a temperatura e a velocidade do vento, característicos da região. Além disso, os autores apresentam uma estimativa da classificação de corrosividade do ambiente estudado. Com base nas regressões e na análise dos resultados, os autores concluem a existência de uma complexa relação entre a temperatura, umidade relativa e deposição de cloretos e, propõem a possibilidade de que a deposição de cloretos na região ocorra por gotas de solução salina e não como partículas cristalizadas. Os autores relacionam este fato com a temperatura média da região, se mantendo próximo a 25 °C. Quanto a deposição de cloretos e classificação do ambiente de exposição, tomando como base a classificação de corrosividade (ISO 9223, 1992), os autores apontam uma agressividade muito alta para o primeiro local, à 20 metros da linha de costa e agressividade média para os demais locais, a partir de 360 metros da linha de costa.

Embora ainda sejam poucas as regiões, que passaram por estudos que buscam uma relação entre as variáveis climatológicas e a deposição de cloretos, sob a perspectiva da influência em estruturas de concreto armado, os autores supracitados dentre outros mais, vem se debruçando sobre pesquisas que levem a relações e parâmetros a respeito do assunto. Nos tópicos a seguir pode-se comparar os resultados encontrados entre algumas regiões, bem como suas características

climatológicas.

Nas últimas décadas alguns estudos foram realizados ao longo de diferentes regiões costeiras, dentre os quais destacam-se os contidos no Quadro 2.12.

Tabela 2.12: Estudos de diferentes regiões de atmosfera marinha

Fonte: Elaborado pela autora

REFERÊNCIA	MÉTODO DE COLETA DE DADOS	MÉTODO DE ANÁLISE DAS AMOSTRAS	MECANISMO DE CLASSIFICAÇÃO
ALBUQUERQUE E OTOCH (2005)	Vela Úmida NBR 6211:2001	Vela úmida NBR 6211:2001	Índice de Cl ⁻ (mg/L) HELENE (1995)
CAMPOS (2016)	Vela Úmida NBR 6112:2001	Vela úmida NBR 6211:2001	Contaminação por Cl ⁻ mg/(m ² .dia) NBR 14643:2001
CAMPOS (2016)	Vela Úmida NBR 6211:2001 Corpo de prova de Concreto NBR 14832 (2002)	Vela Úmida NBR 6211:2001 Corpo de prova de Concreto NBR 14832 (2002)	Concentração (kmol/m ³) e Difusão (m ² /s) de Cl ⁻ 2ª Lei de Fick
BARBOSA ET AL. (2022)	Vela Úmida NBR 6211:2001	Condutimetria Souza et al. (2018)	Nível de Agressividade em função da deposição de Cl ⁻ mg/(m ² .dia) Meira (2004)
PRATA (2017)	Vela Úmida NBR 6211:2001	Cromatografia de íons Argenton (2010)	Previsão de vida útil em função da concentração de Cl ⁻ (mg/L) Alves (2007)
MORCILLO ET AL. (2000)	Dados Meteorológicos	Índice de deterioração de Brooks (Id)	Grau de Deterioração NBR 14643:2001
KENNY <i>et al.</i> (1993) apud Portella (2011)	Estações de corrosão atmosférica (ECA's) e corpos de prova (CP's de metais-padrão e concreto)	Corrosividade estimada ISO 9223:1992 e NBR 14643:2001	Contaminação atmosférica por Cl ⁻ mg/(m ² .dia) Kenny <i>et al.</i> (1993)
MEIRA (2004)	Dados Meteorológicos	Caracterização Ambiental	Nível de agressividade de micro regiões por Cl ⁻ mg/(m ² .dia)
NBR 14643:2001 ISO 9223:1992 ISSO 9224, 9225 e 9226:2012	Parâmetros ambientais	Parâmetros ambientais	Grau de corrosividades atmosférica
Castañeda <i>et al.</i> (2018)	Parâmetros ambientais	Caracterização Ambiental	Corrosividade estimada ISO 9223:1992
Davies <i>et al.</i> (2018)	Revisão Bibliográfica	Software de estimativas de parâmetros	291 dados revisados ao longo dos últimos 80 anos

Os trabalhos realizados ao longo dos anos em ambientes marítimos, frente a condições de exposição de estruturas em ambientes naturais e ensaios acelerados, vem contribuindo com a avaliação da relação entre os parâmetros intrínsecos e extrínsecos à previsão do desempenho dessas estruturas, em ambientes agressivos. Para Schuenke *et al.* (2021) a realização desses estudos e pesquisas impulsionam a evolução tecnológica dos sistemas construtivos e da perspectiva de prolongamento da vida útil da estrutura.

3. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

Afim de obter melhores parâmetros referente ao desempenho de estruturas de concreto armado expostas em região litorânea, a investigação experimental deste trabalho foi realizada com base na caracterização do ambiente de exposição através do estudo da climatologia local, e na concentração iônica em diferentes microambientes de atmosfera marinha, com foco especialmente na deposição de cloretos, através do método da vela úmida.

3.1. Caracterização do ambiente de estudo

A investigação teve como alvo principal a cidade de Cabo Frio, município brasileiro situado no estado do Rio de Janeiro, distando aproximadamente 155 km da capital do estado, Rio de Janeiro. Localiza-se na latitude $22^{\circ} 52' 46''$ sul e na longitude $42^{\circ} 01' 07''$ oeste, estando a uma altitude de 4 metros acima do nível do mar (figura 3.1).



Figura 3.1: Local de estudo.

Cabo Frio faz parte da Região dos Lagos, onde estão também as cidades de Arraial do Cabo, Búzios e Rio das Ostras. Com vasta rede de edifícios hoteleiros, pousadas e infraestrutura em constante avanço e desenvolvimento, a região é maioritariamente impulsionada por famosas praias e características locais, tornando-a um grande referencial turístico, estimulada também por seu clima tropical, poucas chuvas durante o ano e, fenômenos marítimos que estimulam a cultura marítima local.

As características climatológicas do ambiente no período de estudo, foram analisadas com base nos dados obtidos junto à Divisão de Interação Oceano Atmosfera, do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), que monitora as variações climáticas ao longo do ano, contando com equipamentos de medições, neste caso especialmente: temperaturas máximas, mínimas e médias alcançadas no período de estudo, umidade relativa, rajada máxima do vento, velocidade média do vento, direção predominante do vento e precipitação acumulada mensal.

Além disso, contou também com uma revisão bibliográfica que abrange o acervo disponibilizado em relação às características locais, desde artigos, jornais, revistas, livros, pesquisas, entre outros, com interesse em investigar as influências climáticas características da região.

O procedimento experimental foi realizado ao longo da cidade e próximo à faixa litorânea, com diferentes distâncias em relação ao mar e, em relação também à lagoa de Araruama (Figura 3.2).



Figura 3.2: Local do Estudo, região de monitoramento.

Foram escolhidos cinco pontos de monitoramento, atendendo à diferentes distâncias em relação ao mar, em locais seguros e em predominante crescimento urbano, distribuídos em edificações com diversos tipos de uso. Os pontos de realização das análises P1, P2, P3, P4 e P5 ficam distantes respectivamente, 35 m, 55 m, 710 m (5 m da lagoa), 1045 m e 1400 m da superfície fonte mais próxima (Figura 3.3).



Figura 3.3: Pontos de monitoramento

Localizado a 35 metros da linha de costa, o local de monitoramento nomeado como P1 encontra-se próximo a orla da Praia do Foguete. O local é conhecido por sua intensidade de ventos, favorecendo a agitação da superfície e forte quebra de ondas. No local investigado, três amostras foram utilizadas em cada uma das avaliações: P1a, P1b e P1c. Tanto P1a quanto P1b estão alocadas distando 5 metros de um edifício de três pavimentos presente no local. Enquanto isso, P1c foi estrategicamente posicionado em um corredor desobstruído, permitindo uma investigação livre de interferências. A figura 3.4 apresenta o ponto P1.



Figura 3.4: Ponto de monitoramento P1

O local de monitoramento designado como P2, foi alocado a uma distância de 55 metros da orla da Praia do Foguete, com forte intensidade de ventos e quebra de ondas conforme anterior, porém, apresenta-se com morfologia e densidade de construção diferenciada. O local apresenta a presença de dunas de obstáculos na região onde foram posicionadas as amostras. As três amostras (P2a, P2b e P2c), foram alocadas aos fundos da área de construção de um condomínio de dois pavimentos, distando 3,2 metros do edifício mais próximo.

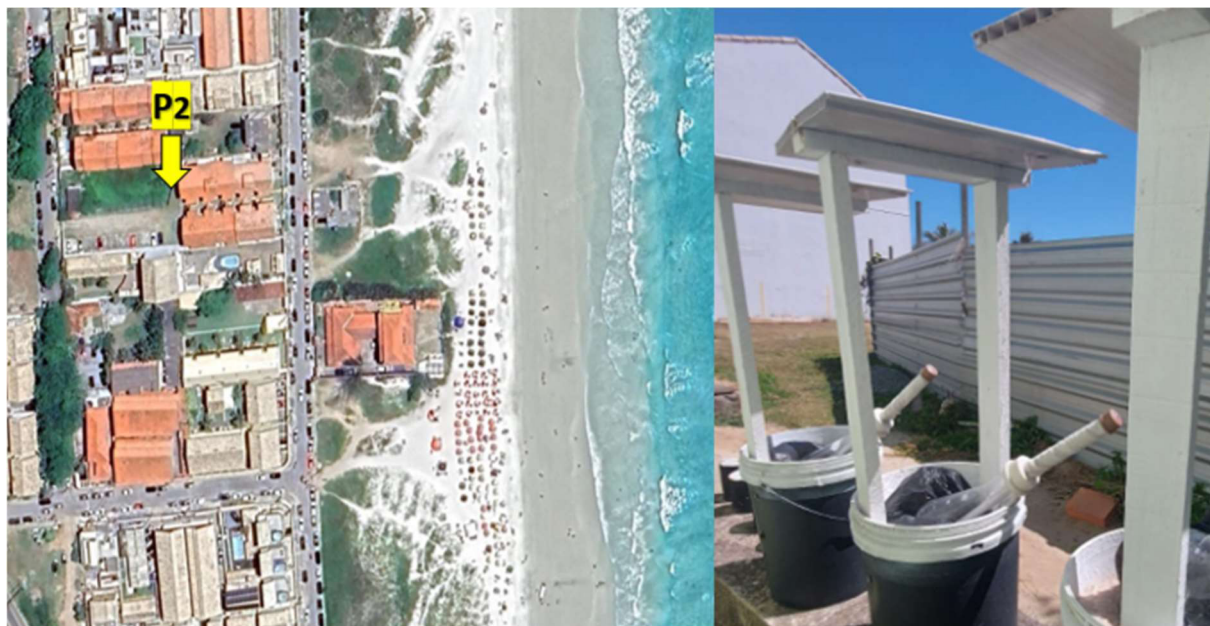


Figura 3.5: Ponto de monitoramento P2

No local monitorado designado como P3, situado a uma distância de 710 metros da Praia de Monte Alto, três amostras foram estrategicamente alocadas em uma área desobstruída de qualquer edificação. A posição geográfica de P3 se distingue das demais em relação à superfície fonte e busca ser avaliada no presente estudo. O local está situado entre a praia e à Lagoa de Araruama, conhecida por sua hipersalinidade. As amostras P3a, P3b e P3c distaram 5 metros da lagoa. A Figura 3.6 demonstra o local analisado.



Figura 3.6: Ponto de monitoramento P3

Localizado a 1045 metros de distância da Praia do Foguete, o local de monitoramento P4 foi avaliado em um bairro mais interno da cidade, cercado por construções em sua proximidade, e extensa área verde na região que precede o bairro (entre o bairro e a praia), conforme figura 3.7.

Nele foram avaliadas as amostras P4a, P4b e P4c, alocadas a 3,5 metros do obstáculo mais próximo.

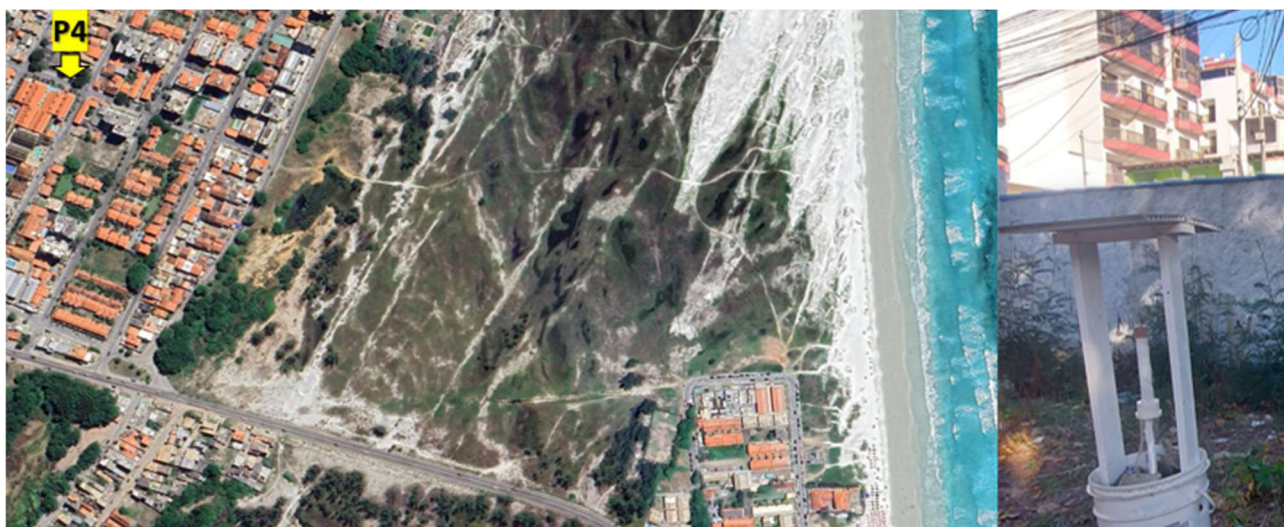


Figura 3.7: Ponto de monitoramento P4

No local monitorado designado como P5, localizado a 1400 metros da praia do Foguete, o ponto de análise foi alocado no centro de um bairro mais interno da cidade. Destaca-se a topografia plana da região, que se estende até o local avaliado, característica tal que abrange a grande maioria da cidade. As amostras P5a, P5b e P5c foram posicionadas a uma distância de 3 metros dos obstáculos mais próximos, próximas a uma área arborizada. A figura 3.8 demonstra o local avaliado.

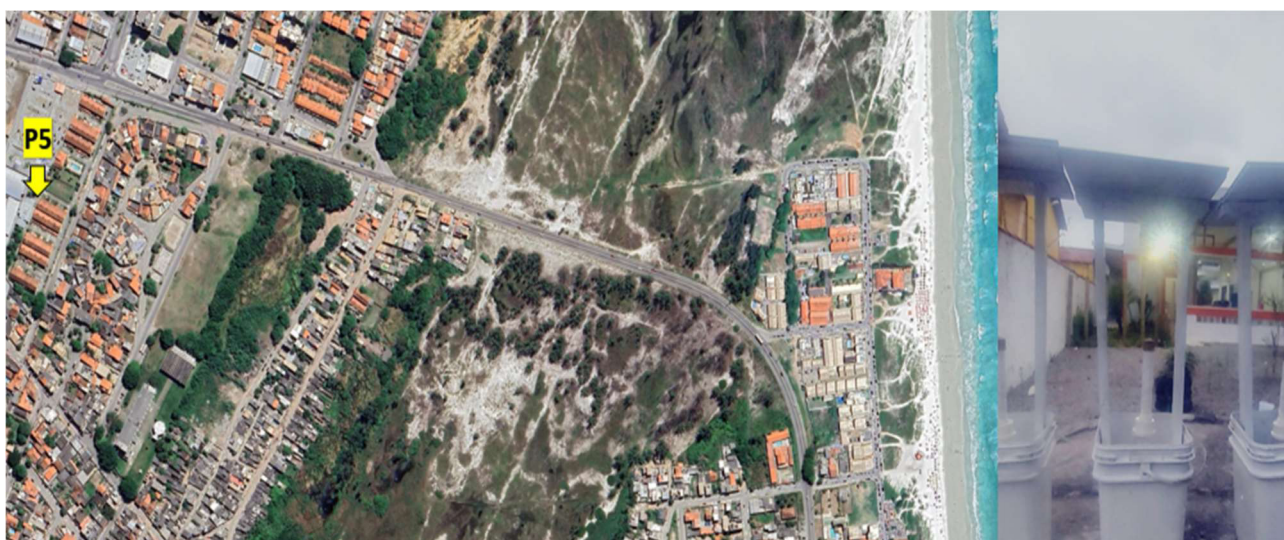


Figura 3.8: Ponto de monitoramento P5

A seguir são apresentadas as etapas realizadas experimentalmente, compreendendo desde a caracterização dos materiais utilizados até a realização dos ensaios propostos.

3.2. Estudo da deposição de cloretos pelo método da Vela Úmida

A determinação do teor de cloretos na atmosfera foi realizada com base no método da vela

úmida (NBR 6211, 2001), que se baseia na norma americana ASTM D 512-89:1999. O equipamento utilizado consiste em um frasco Erlenmeyer com água glicerizada, ao qual é fixado um tubo enrolado com gaze cirúrgica. Por meio do mecanismo de ascensão capilar, a gaze se umidifica e captura os íons presentes na atmosfera, os quais se movem para o interior da solução contida no frasco por meio do mecanismo de difusão.

A solução contida no frasco coletor deve ser produzida com no mínimo 200ml de água glicerizada, conforme as especificações da norma regulamentadora do procedimento. A solução é preparada a partir de 1000 ml de água destilada, contendo 200ml de glicerol – $\text{CHOH}(\text{CH}_2\text{OH})_2$, diluídos com 20 gotas de ácido octanóico ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$). O glicerol tem a função de diminuir a evaporação da água, enquanto que o ácido octanóico funciona como um fungicida. O volume total de água glicerizada deve ser aumentado em locais onde, devido às condições de exposição, possa diminuir significativamente o volume ao longo do período de exposição.

O tubo envolvido com a gaze cirúrgica deve ser de material inerte como vidro ou polietileno, com aproximadamente 25 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento, sobre o qual é enrolada a gaze cirúrgica. A área da superfície de gaze exposta à atmosfera deve ser de aproximadamente 100 cm² e, cuidadosamente determinada e expressa em metros quadrados. O tubo enrolado com a gaze é fixado na superfície da rolha de fechamento do frasco, por onde descem dois tubos menores, de 15 mm de diâmetro, conduzindo a gaze até o fundo do frasco. Os tubos e o frasco devem ter formato adequado para que o líquido que desce pela gaze seja drenado para o frasco, sem perdas. Assim como os tubos, o frasco coletor deve ser de material inerte (vidro, polietileno ou outro material inerte), com capacidade de 800 ml aproximadamente.

A vela úmida deve ser instalada em suporte adequado, posicionada a um raio mínimo de 3 m dos obstáculos a sua volta. O equipamento deve ser protegido por meio de uma cobertura de material inerte e opaco de no mínimo 50 cm x 50 cm. A vela deve ser posicionada no suporte a uma distância de 20 cm do topo da cobertura (Figura 3.9).

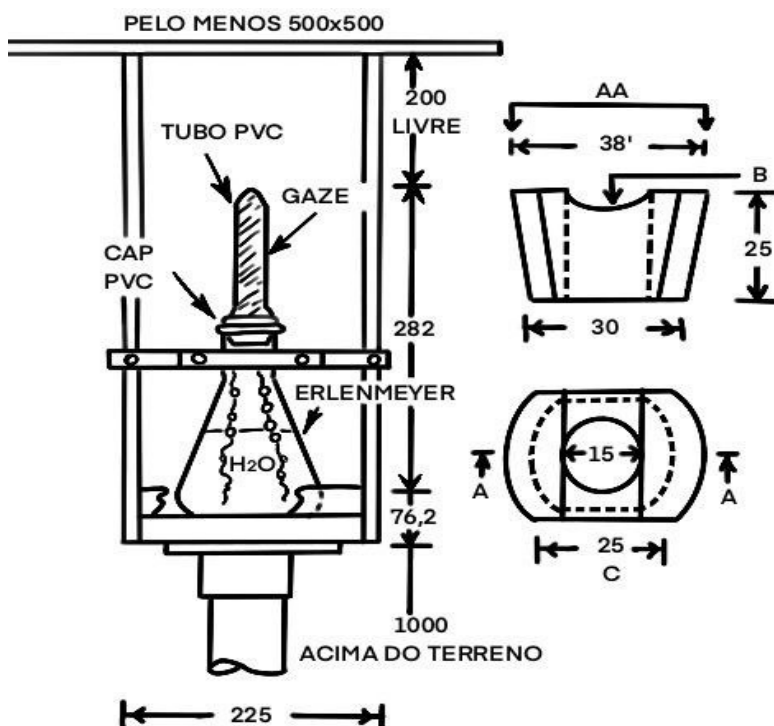


Figura 3.9: Vela úmida.

Fonte: Borba Junior (2011), adaptado pela autora.

Para esta pesquisa cada uma das exposições contou com três equipamentos em cada ponto, para a realização das análises em triplicata. As velas foram confeccionadas utilizando, como frasco coletor, um Erlenmeyer de boca larga com capacidade de 1.000 ml. O preparo da solução de água glicerinada foi realizado utilizando reagentes do tipo P.A (padrão analítico) e, vale ressaltar que qualquer referência à água utilizada em todo o processo do presente trabalho, é correspondente à água deionizada. A vela coletora foi confeccionada por um tubo de PVC de 25 mm envolvido com gaze cirúrgica de aproximadamente 1 metro de comprimento, adotado com padrão pela autora. Para os tubos que drenam as gases para o interior do frasco coletor, foram utilizados tubos de ensaio de diâmetro 15 mm, sendo que, como com as extremidades destes tubos eram fechadas, se fez necessário realizar corte do fundo boleado para possibilitar a passagem das gases pelos tubos. Para a vedação do frasco Erlenmeyer foi utilizado CAP (tampão) de PVC de 50 mm, utilizado em instalações de esgoto, de encaixe perfeito ao frasco e vedado com adesivo à base de polímero de silicone. Os tubos de ensaio foram fixados no CAP por meio de massa adesiva à base de Bisfenol A e Resina Epóxi, de alta resistência às condições climáticas e altas temperaturas (Figura 3.10).



Figura 3.10: Material de confecção das velas úmidas.

O suporte para posicionamento das velas foi confeccionado em madeira nas bases e, cobertura em forro de PVC. A fixação das velas úmidas no suporte de sustentação foi realizada transpassando a parte superior do equipamento, correspondente à vela coletora até o CAP de fechamento do frasco, por cavidades realizadas na chapa de madeira compensada fixada com pregos de aço galvanizado 17 x 21 nas bases do suporte (Figura 3.11).



Figura 3.11: Localização das velas úmidas.

Após a montagem, as velas úmidas foram transportadas e instaladas nos pontos de monitoramento, onde permaneceram por 45 dias consecutivos. O procedimento foi realizado em quatro ciclos de exposição: um durante o verão, outros durante o outono, inverno e primavera.

Foram confeccionadas 60 velas úmidas ao longo do ano, e distribuídas em períodos que abrangessem aproximadamente os meados de cada uma das estações, a fim de analisar as exposições em diferentes condições climáticas.

3.2.1. Método de análise química das amostras

Após o período de exposição os equipamentos foram recolhidos e levados ao laboratório de Instrumentação e Aplicação em Análise de Águas do Instituto de Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (LIAAA-IQ-UFRRJ), onde as gases foram lavadas, por meio de agitação com barra magnética. Observando a carência entre os procedimentos sugeridos pela NBR 6211 (2001), quanto ao método de extração de cloretos da vela úmida, foram realizados diferentes procedimentos de extração, afim de alcançar o que melhor correspondesse a exaustão de cloretos presentes na gaze (Figura 3.12).



Figura 3.12: Lavagem das gases para extração de Cloretos

A água de lavagem foi adicionada ao conteúdo da vela úmida de origem, e foram determinados os volumes finais de todas as amostras utilizando proveta graduada de vidro com capacidade de 500 ml (Figura 3.13).



Figura 3.13: Medição e armazenamento do volume final.

O teor de cloretos contido em cada uma das amostras foi determinado através da técnica de condutimetria. Souza *et al.* (2018) destacam a eficácia desse método na medição do teor de sais em solução, obtendo-se os valores referentes à condutividade elétrica. Segundo os autores, através de medidas de condutividade elétrica é possível determinar de forma rápida a quantidade de sais que uma solução pode conter. Dessa forma, é possível gerar um importante controle, sabendo-se que quanto maior a condutividade elétrica, maior a quantidade de íons presentes na solução.

A condutimetria permite a medição da condutância elétrica de soluções iônicas, sendo um método de análise que se fundamenta na medida de condutividade elétrica. Estudos anteriores já apontavam o potencial desse método para uso na mensuração do teor de sais da solução do solo. Com os valores de condutividade elétrica (CE) do solo é possível também, quantificar de forma indireta os sais neles presentes.

A medida de CE determina, de forma rápida, quanto de sais é possível conter em uma solução. Consequentemente, essa informação serve como um controle de grande importância, pois quanto mais íons na solução, maior será a condutividade elétrica.

Ordinariamente, a condução da eletricidade através das soluções iônicas se dá à custa da migração de íons positivos e negativos com a aplicação de um campo eletrostático. A condutância de uma solução iônica depende do número de íons presentes (concentração iônica), bem como das cargas e das mobilidades dos íons, onde estes podem ser determinados tanto por medida direta ou indireta.

A técnica de condutimetria direta, aplicada nesta análise, também é utilizada para verificar a pureza de água destilada ou deionizada, verificar variações nas concentrações das águas minerais,

determinar o teor em substâncias iônicas, dissolvidas, determinação da salinidade do mar em trabalhos oceanográficos e ainda para determinar a concentração de eletrólitos de soluções simples. A medida é feita através de condutivímetro e a unidade de condutância adotada pelo Sistema Internacional de Unidades é o Siemens (S). Como a condutividade aumenta com a temperatura, emprega-se 25 °C como temperatura padrão.

A leitura da condutividade elétrica para esta pesquisa foi realizada através da utilização de um condutivímetro microprocessado da marca Quimis, calibrado com uma solução padrão de cloreto de Sódio (NaCl) a 0,01 M, a 25 °C.

Inicialmente ligou-se o condutivímetro e aguardou-se sua estabilização por aproximadamente 30 minutos para realização das leituras. Nesse intervalo, lavou-se a sonda de medição da condutividade elétrica com água deionizada e enxugou-se com papel absorvente macio. Posteriormente, o equipamento foi calibrado com solução padrão de NaCl a 0,01 M. Como amostra em branco utilizou-se água deionizada, a mesma utilizada para a construção das velas úmidas, seguido da leitura das amostras (figura 3.14). A cada leitura foi realizada a lavagem e secagem da sonda, para então proceder à leitura das amostras seguintes, conforme estabelecido pelo fabricante.

A relação entre condutividade elétrica e concentração de cloretos utilizada neste estudo é representado na Figura 3.14.

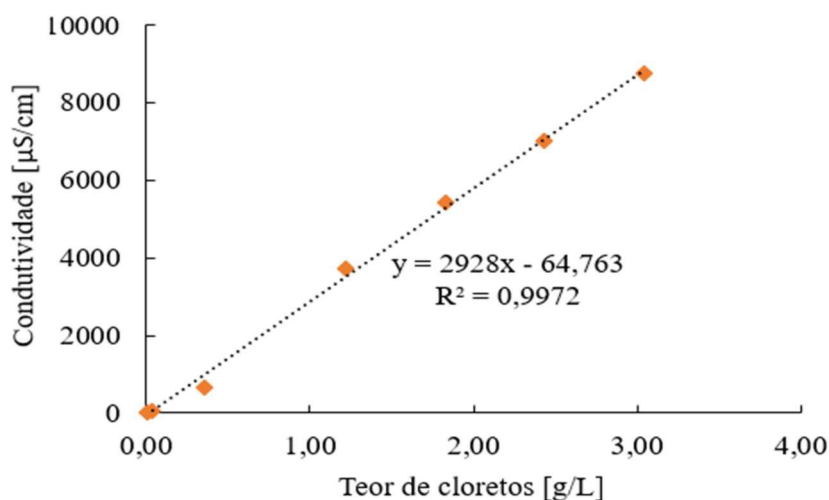


Figura 3.14: Relação entre condutividade elétrica e concentração de cloretos.

Após a realização das leituras, os valores de condutividade obtidos foram substituídos na equação da reta obtida após construção da curva padrão de $[Cl^-]$ x Condutividade, e os resultados obtidos para os íons presentes em solução, foram expressos em concentração de cloreto equivalente. O teor de cloretos expresso através da condutimetria obtidos em $mg.l^{-1}$, foram convertidos em $mg.(m^2.dia)^{-1}$ conforme ABNT NBR 6211:2001 e representada na equação 3.1.

$$\text{Cloreto } mg/(m^2 \cdot dia) = \frac{\left(\text{Cloreto} \left(\frac{mg}{L}\right) \cdot Vt\right)}{A \cdot t} \quad (3.1)$$

Onde, Vt = volume total da amostra, em litros; A = área de exposição da gaze, em metros quadrados; t = tempo de exposição, em dias.

A metodologia de condutimetria, embora seja uma técnica eficaz para avaliar a condutividade elétrica de uma solução e, por conseguinte, determinar a salinidade, não distingue a quantidade específica de íon cloreto, mas sim a presença de íons totais na amostra. No entanto, devido às características dos ambientes geralmente estudados, como ambientes marinhos e costeiros, onde a água do mar é a principal fonte de análise, é esperado que o agente predominante seja de cloretos. Portanto, embora a condutimetria forneça uma medida geral da salinidade, é comum assumir que a maior parte da condutividade está relacionada à presença de íons cloreto nessas condições específicas de estudo.

Por sua vez, a análise por meio da condutimetria possibilita a análise de íons totais na atmosfera, viabilizando a percepção da presença e ação de outros íons agressivos além de cloretos, embora este seja apontado como predominante no ambiente analisado.

3.2.2. Comparação da deposição de cloretos ao longo da costa brasileira

Com base no levantamento dos ensaios realizados pelo método da vela úmida em diferentes regiões brasileiras, foram elencados estudos representantes de seus estados, afim de investigar o cenário da deposição de cloretos em âmbito nacional.

Os estudos foram selecionados com base no método de análise empregado por cada um deles, sendo este o ensaio da vela úmida baseado na norma NBR 6112 (2013). Essa escolha foi feita visando manter consistência na metodologia adotada e garantir uma cobertura abrangente das regiões costeiras do Brasil, incluindo o Sul, Sudeste e Nordeste.

O levantamento realizado apresenta 7 cidades, entre elas, três da região do Nordeste, dois da região Sul e dois da região Sudeste, dentre os estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará, Santa Catarina, Espírito Santo e Rio de Janeiro, conforme segue na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Deposição de cloretos em diferentes estados brasileiros

Distância (m)	Recife PE Pontes <i>et al.</i> , 2006	João Pessoa PB (Meira <i>et al.</i> , 2006)	Fortaleza CE (Campos, 2006)	Florianópolis SC (Garcia, Padaratz e Spoganicz, 2007)	São Francisco do Sul – SC (Vitalli, 2013)	Vitória ES (Bora Jr, 2011)	Cabo Frio RJ (Barbosa <i>et al.</i> , 2022)
	Deposição de Cl ⁻ mg/(m ² .dia)						
7-9	554,400	-	-	-	-	-	-
10-50	-	540,740	1498,770	620,000	-	513,590	1347,089
51-99	-	-	-	-	590,770	54,830	208,155
100	393,000	125,260	-	120,000	63,510	125,120	-
150	145,100	-	-	-	-	-	-
200	-	13,890	-	61,100	34,100	-	-
250	40,800	-	-	-	-	43,210	-
300	44,100	-	-	-	-	-	-
400	-	-	20,142	18,000	-	-	-
500	-	11,740	-	-	20,140	-	-
600-700	-	-	16,221	15,000	-	5,460	142,326
1000-1100	-	5,950	9,560	15,000	9,560	-	103,410
1100-1500	-	-	-	-	-	-	59,861

3.2.3. Classificação da agressividade atmosférica por cloretos

Para a classificação da agressividade atmosférica por cloretos no local do estudo, adotou-se a metodologia de classificação conforme proposto por Vilasboas (2013), com base na NBR 14643 (2001), que aborda a classificação de corrosividade de atmosferas por contaminação de cloretos. A determinação do teor de cloreto para esta norma está baseada no método da vela úmida especificado na NBR 6211 (2001).

O estudo conduzido em Salvador por Vilasboas (2013) inclui a classificação de diferentes tipos de ambientes com base na contaminação por íons cloro. Para essa classificação, Vilasboas (2013) atribuiu a Classe IV (Muito Forte) a locais com concentração superior a 1500 mg/(m².d), a Classe III (Forte) aos pontos da categoria B3 com taxas de deposição de cloretos entre 300 e 1500 mg/(m².d), a Classe II (Moderada) aos pontos da categoria B2 com valores entre 60 e 300 mg/(m².d), e a Classe I (Fracas) aos pontos da categoria B1 com valores inferiores a 60 mg/(m².d).

Esta classificação relaciona os níveis de contaminação por cloretos para a análise do grau de corrosividade atmosférica à metais padrão conforme definido na NBR 14643 (ABNT, 2001), com as categorias de agressividade descritas na NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Classificação da agressividade

ABNT NBR 6118/2023			ABNT NBR 14643/2001	
Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura	Classificação de contaminação da atmosfera por Cl^-	Teor de cloretos $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
I	Fracá	Insignificante	B0	$0 < B < 3$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
			B1	$3 < B < 60$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
II	Moderada	Pequeno	B2	$60 < B < 300$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
III	Forte	Grande	B3	$300 < B < 1500$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$
IV	Muito forte	Elevado	-	$B < 1500$ $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$

Para este estudo foi empregado o teor médio de cloretos, que corresponde à média aritmética de todos os valores encontrados ao longo do período de exposição do ponto, e também o teor máximo de cloretos obtido durante todo o período de exposição, independentemente do mês em que foi registrado.

3.3. Resumo da investigação experimental

Com a finalidade de concentrar e facilitar a visualização da investigação experimental, preparou-se um fluxograma da programação experimental, como forma de representação esquemática do processo ao longo de todo o trajeto percorrido, envolvendo os alvos de pesquisa, o estudo piloto e os estudos complementares, a tomada de decisões, as etapas de monitoramento, caracterização, definições, propostas, períodos, análises e perspectivas.

O fluxograma representa as etapas da pesquisa anteriormente citadas, acontecendo hora de forma simultânea, hora de forma isolada, mas sempre dependentes e interligadas. Além disso, é apresentado um organograma do processo de exposição, incluindo o tempo de exposição, posição dos testemunhos expostos, número de exemplares entre outras informações pertinentes à exposição (Figuras 3.15 e 3.16).

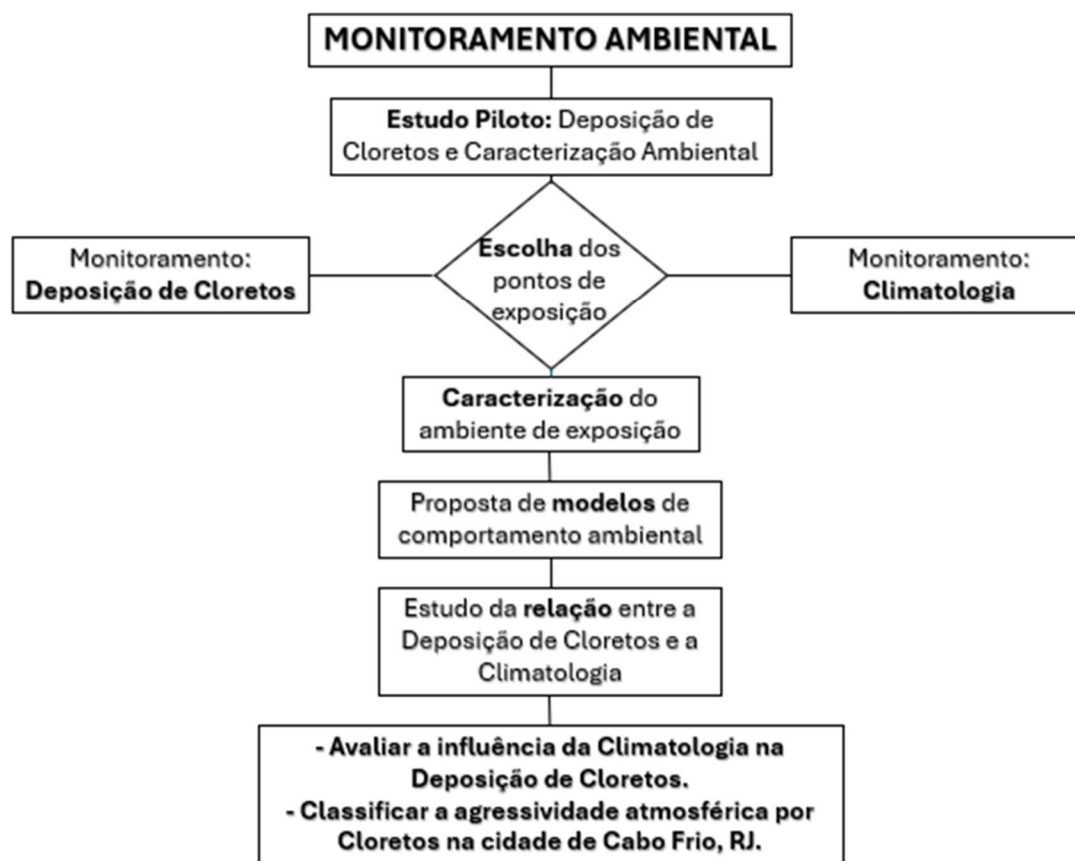


Figura 3.15: Fluxograma geral da pesquisa.



Figura 3.16: Fluxograma da investigação experimental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização da região

Através do estudo bibliográfico realizado a respeito das características da região de Cabo Frio - RJ, é possível notar uma anomalia térmica presente nas águas de superfície do oceano, que indica uma forte interferência na caracterização da região, e que deu origem ao nome da região de Cabo Frio. O afloramento na plataforma continental de águas frias denominadas Água Central do Atlântico Sul (ACAS), dá origem ao fenômeno de ressurgência costeira. Sendo esta, a principal característica oceanográfica regional, responsável pelas baixas temperaturas na superfície do mar na região. Tal fenômeno está diretamente relacionado a ação dos ventos e, com a persistência dos ventos de NE por longos dias, uma forte ressurgência pode ocorrer, levando a quedas de temperatura superficial a 15 °C ou menos.

As baixas temperaturas na superfície do mar na zona costeira, ocasionadas pela ressurgência em conjunto com a ação dos ventos, estão em torno de 10°C mais frias, em relação aquelas das águas médias ou externas da plataforma. As camadas superficiais da região de quebra da plataforma (talude da plataforma), geralmente ocupadas pelas águas da Corrente do Brasil (CB), apresentam-se com altas temperaturas e salinidades, podendo alcançar de 25° C a 27° C durante o verão e de 22° C a 24° C durante o inverno. Já a salinidade varia entre 36,5 ‰ e 37 ‰.

A intensificação da ressurgência na região induz uma redução na precipitação, e consequentemente, um aumento na aridez climática, evaporação e salinidade. Do mesmo modo, um enfraquecimento induz a um efeito oposto. Tais variações são produzidas em escala anual com importante repercussão sobre o ambiente.

O microclima na região é do tipo semiárido, caracterizado por fracas precipitações. Conforme as médias históricas, a pluviosidade é reduzida em média de 400 mm em relação à outras cidades do estado, com uma pluviosidade média anual em torno de 600 a 800 mm/ano. Em relação à taxa de evaporação, esta é compreendida entre 1.300 e 1.400 mm/ano. A temperatura média é ligeiramente superior a 23° C e a taxa de insolação com variações entre 200 e 220 horas/mês. Os ventos dominantes (alísios de retorno) da região, sopram de NE e de ENE, no entanto, durante todo o ano, principalmente no outono e inverno, este regime de vento de NE é perturbado pela passagem de ventos soprados do setor sul (maioritariamente de S-SW).

A região apresenta em sua hidrografia, dois sistemas hidrográficos representativos: sistema hidrográfico da Lagoa de Araruama, formado pela Lagoa de Araruama e seus Afluentes; e sistema hidrográfico litorâneo, formado pelas áreas de brejos, dunas e praias que acompanham o litoral. Vale ressaltar a importante presença da Lagoa de Araruama para o estudo em questão, devido a sua hipersalinidade, sendo considerada a maior massa de água hipersalina em estado permanente no mundo.

A climatologia do local no período de estudo, caracterizou-se por temperatura máxima

atingida de 32,7 °C no verão e mínima de 16,7 °C para o final do outono. A umidade relativa foi em média de 80,6 %. Já quanto às rajadas e velocidades do vento, suas mais altas incidências foram no final do inverno até o início do verão, abrangendo todo o período da primavera e, direções predominantes, as NE e ENE, contando em alguns dias também com os ventos de S-SW, porém, não de forma predominante, e assim manteve-se ao longo do período de exposição. Já a precipitação mensal teve seus maiores acúmulos no verão, alcançando 142 mm no mês de janeiro, e menores acúmulos no inverno, com apenas 39 mm no mês de agosto.

Tais características foram obtidas durante o período de estudo, passando pelas quatro estações do ano, afim de se comparar as influências para as diferentes condições climáticas, elencadas no Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Características climáticas ao longo do período de estudo.

Exposição	Temperatura (°C)			Umidade Relativa (%)	Vento Rajada Máx. (m/s)	Veloc. Méd. Vento (m/s)	Direção Pred. Vento	Precipitação Acumulada Mensal (mm)
	Mín.	Máx.	Méd.					
Janeiro	20,5	29,4	25,0	88,4	8,8	4,9	ENE	142,0
Fevereiro	24,0	30,5	27,3	84,5	7,5	4,3	E	92,0
Março	21,2	30,0	25,6	84,0	9,5	5,4	E	128,0
Abril	19,5	32,7	26,1	82,5	7,3	3,8	E	80,0
Maio	17,0	28,6	22,8	77,6	8,7	4,5	ENE	58,0
Junho	16,7	22,5	23,6	77,7	8,5	4,5	ENE	40,0
Julho	22,2	22,8	22,5	81,7	10,0	5,9	ENE	48
Agosto	21,0	21,7	21,3	76,3	10,5	5,7	ENE	39
Setembro	20,6	21,2	20,9	76,5	9,4	5,1	ENE	72
Outubro	23,2	23,9	23,5	79,5	9,7	5,8	ENE	90
Novembro	22,9	23,7	23,3	76,8	9,1	4,9	E	124
Dezembro	23,4	24,1	23,7	81,6	9,7	5,4	E	162
VER (06/02 à 22/03/22)	22,6	30,3	26,4	84,3	8,5	4,8	E	110,0
OUT (08/05 à 21/06/22)	16,9	25,6	23,2	77,6	8,6	4,5	ENE	49,0
INV (09/07 à 22/08/22)	21,6	22,2	21,9	79,0	10,2	5,8	ENE	43,5
PRI (23/10 à 07/12/22)	23,2	23,9	23,5	79,3	9,5	5,4	ENE	125,3

4.2. Deposição de cloretos

A caracterização da região analisada, bem como o estudo de seus microambientes de exposição, aponta diferentes comportamentos na deposição de cloretos. Esta avaliação oferece a possibilidade de observar, comparar e quantificar as influências ambientais de forma a garantir as particularidades de cada local, aproximando a interpretação do nível de agressividade local à

realidade do ambiente de exposição.

A disposição das amostras favoreceu explorar as variações ao longo do distanciamento da costa, possibilitando examinar e quantificar a influência das condições climáticas regional, como direção do vento, intensidade do vento, temperatura, precipitação e umidade relativa, além das características urbanas como a topografia local, posição geográfica, presença de obstáculos e fontes salinas que circunda o ambiente investigado.

O ponto de monitoramento P1, localizado a 35 metros da Praia do Foguete, apresenta um ambiente marcado pela intensidade dos ventos e pela proximidade com a superfície fonte, favorecendo a avaliação dos efeitos das condições costeiras. Enquanto isso, o ponto de monitoramento P2, situado a 55 metros da praia, apresenta um ambiente singular influenciado pela ação do vento, topografia local e presença de obstáculos. Por outro lado, o ponto de monitoramento P3, a 710 metros da linha de costa mais próxima, apresenta a influência de sua posição geográfica diferente das demais e permite quantificar os efeitos de seu microclima. O ponto de monitoramento P4, localizado a 1045 metros da superfície fonte, assim como P5 distando 1400 metros, favorecem a avaliação dos efeitos das características urbanas do local mediante a presença de maior densidade de construções e geografia do local.

Os resultados da deposição de cloretos para cada um dos ambientes investigados, obtidos ao longo das quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), correspondentes aos 45 dias de exposição em cada uma delas, e as médias referentes, são apresentados nas Tabelas 4.2 a 4.5.

Tabela 4.2: Deposição de cloretos durante o verão

Amostra	Distância [m]	Volume [L]	Condutividade de $\mu\text{S/cm}$	Teor de cloretos [g/L]	Dep. de cloretos $[\text{mg}/(\text{m}^2 \text{ dia})]$
P1a	35	0,254	2650,0	0,92717	523,34
P1b	35	0,400	1048,0	0,38004	506,72
P1c	35	0,308	3840,0	1,33359	912,77
P2a	55	0,315	211,0	0,09418	65,93
P2b	55	0,385	135,5	0,0684	58,52
P2c	55	0,367	145,3	0,07174	58,51
P3a	710	0,218	262,0	0,1116	54,06
P3b	710	0,320	165,1	0,07851	55,83
P3c	710	0,230	169,2	0,07991	40,84
P4a	1045	0,354	131,1	0,06689	52,62
P4b	1045	0,275	114,3	0,06116	37,37
P4c	1045	0,345	134,8	0,06816	52,25
P5a	1400	0,245	153,3	0,07448	40,55
P5b	1400	0,250	142,5	0,07079	39,33
P5c	1400	0,305	153,6	0,07458	50,55

Tabela 4.3: Deposição de cloretos durante o outono

Amostra	Distância [m]	Volume [L]	Condutividade $\mu\text{S/cm}$	Teor de cloretos [g/L]	Dep. de cloretos $[\text{mg}/(\text{m}^2 \text{ dia})]$
P1a	35	0,295	1740	0,62	404,07
P1b	35	0,365	1075	0,39	315,74
P1c	35	0,43	1642	0,58	557,00
P2a	55	0,345	147,2	0,07	55,50
P2b	55	0,360	154,7	0,07	59,96
P2c	55	0,335	187,2	0,09	64,06
P3a	710	0,319	725,0	0,27	191,21
P3b	710	0,305	657,0	0,25	167,07
P3c	710	0,355	662,0	0,25	195,81
P4a	1045	0,365	112,3	0,06	49,05
P4b	1045	0,345	85,1	0,05	39,24
P4c	1045	0,267	124,8	0,06	38,41
P5a	1400	0,357	143,3	0,07	56,37
P5b	1400	0,35	128,4	0,07	51,31
P5c	1400	0,371	116,0	0,06	50,90

Tabela 4.4: Deposição de cloretos durante o inverno

Amostra	Distância [m]	Volume [L]	Condutividade e [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Teor de cloretos [g/L]	Dep. de cloretos [$\text{mg}/(\text{m}^2 \text{ dia})$]
P1a	35	1,01	1340	0,48	1076,81
P1b	35	0,81	1400	0,50	906,03
P1c	35	0,87	1628	0,58	1117,72
P2a	55	0,48	187	0,09	91,72
P2b	55	0,71	149	0,07	115,19
P2c	55	0,51	174	0,08	92,42
P3a	710	0,76	340	0,14	233,47
P3b	710	0,96	349	0,14	303,04
P3c	710	1,00	302	0,13	278,36
P4a	1045	0,73	88	0,05	84,64
P4b	1045	0,79	92	0,05	93,99
P4c	1045	0,83	77	0,05	89,30
P5a	1400	0,74	130	0,07	94,66
P5b	1400	0,66	121	0,06	80,52
P5c	1400	0,61	132	0,07	78,83

Tabela 4.5: Deposição de cloretos durante a primavera

Amostra	Distância [m]	Volume [L]	Condutividade e [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Teor de cloretos [g/L]	Dep. de cloretos [$\text{mg}/(\text{m}^2 \text{ dia})$]
P1a	35	0,96	1390	0,497	1059,94
P1b	35	0,81	1582	0,562	1012,35
P1c	35	0,85	1970	0,695	1968,98
P2a	55	1,02	200	0,090	204,65
P2b	55	1,01	236	0,103	230,55
P2c	55	0,96	195	0,089	189,26
P3a	710	1,15	108	0,059	150,61
P3b	710	0,95	119	0,063	132,21
P3c	710	1,01	123	0,064	144,16
P4a	1045	0,81	106	0,058	104,73
P4b	1045	0,815	96,9	0,055	100,00
P4c	1045	0,8	109	0,059	105,50
P5a	1400	1,36	103	0,057	173,16
P5b	1400	0,545	110	0,060	72,45
P5c	1400	0,88	73,8	0,047	92,54

Para melhor comparação entre as taxas de deposição nas quatro estações, representando diferentes condições climáticas, apresenta-se nas Figuras 4.1 a 4.4 a distribuição da deposição de cloretos ao interior da cidade ao longo de cada um dos ciclos.

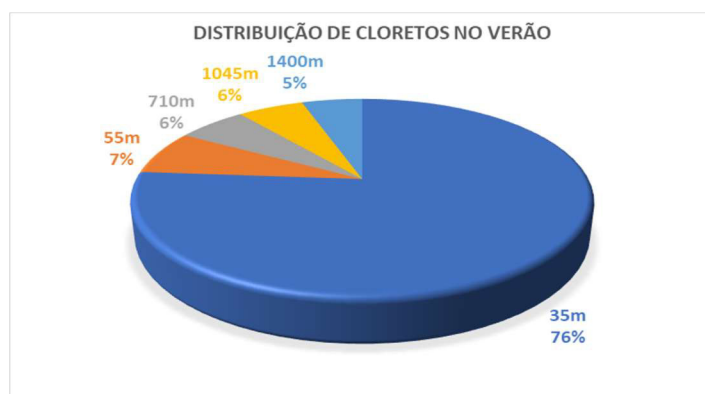


Figura 4.1: Distribuição da deposição cloretos ao interior da cidade durante o verão.

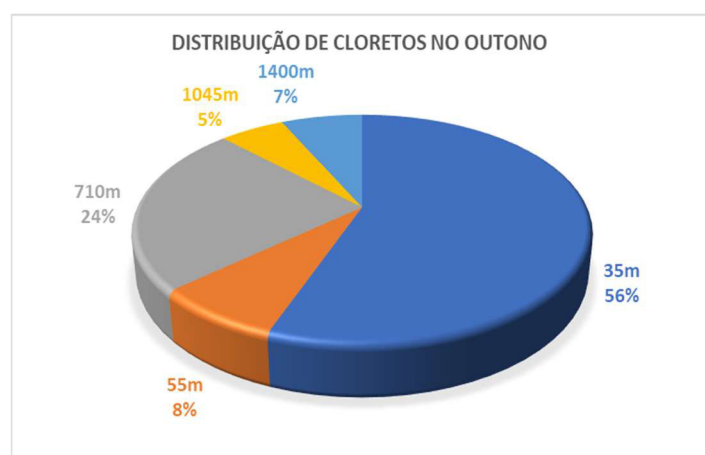


Figura 4.2: Distribuição da deposição cloretos ao interior da cidade durante o outono.



Figura 4.3: Distribuição da deposição cloretos ao interior da cidade durante o inverno.



Figura 4.4: Distribuição da deposição cloretos ao interior da cidade durante a primavera.

É possível observar uma maior distribuição de cloretos ao interior da cidade durante o período do outono e inverno. Nota-se que no período do verão, ocorre uma maior concentração salina na faixa mais próxima a linha de costa, equivalente a 76% da deposição de cloretos dos pontos de monitoramento ao longo deste ciclo. Nas demais estações, ocorre uma maior distribuição para o interior da cidade. Particularmente, o ponto de monitoramento P3, referente a 710m de distância da superfície fonte mais próxima, é alcançado por maiores concentrações no outono e inverno quando comparado aos demais pontos, representando 24% e 17% respectivamente, da concentração total de íons analisada no período.

Adicionalmente, as médias obtidas em cada ponto de realização das análises são apresentadas na Figura 4.5.

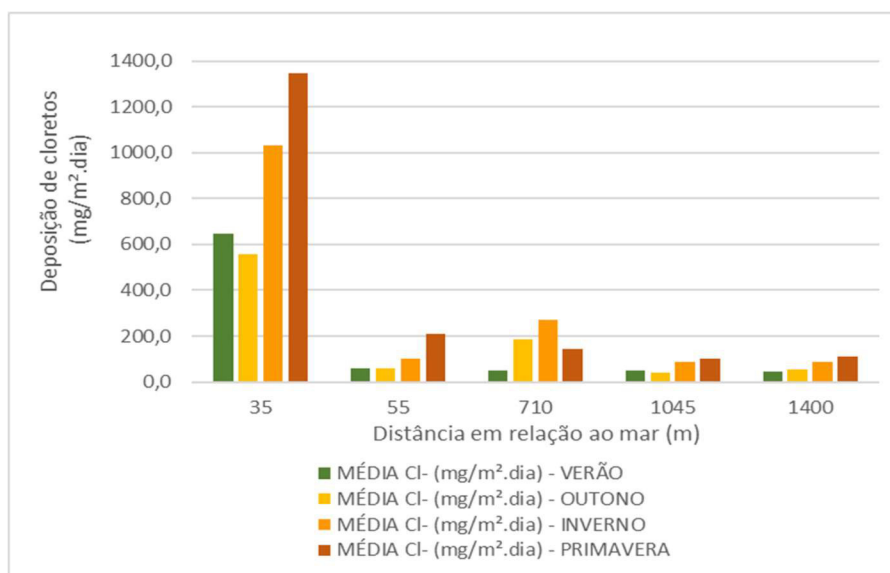


Figura 4.5: Média da deposição de cloretos em diferentes distâncias e estações do ano.

Observa-se que a deposição de cloretos nos primeiros 35 metros de distância em relação ao mar sobressai às demais distâncias, principalmente nas estações inverno e primavera. Os valores máximos de íons depositados nesta distância, foi em média 1300 mg/(m².dia), alcançados no

período da primavera e aproximadamente 1000 mg/(m².dia) no inverno. A média dos valores mais baixos nesta mesma distância foi observada em torno de 600 mg/(m².dia), alcançados no verão e semelhantemente no outono.

Para as demais distâncias é possível notar este mesmo comportamento, de forma crescente ao longo do ano, pelas influências climáticas de cada uma das estações. Com exceção ao ponto de monitoramento P3, a qual possui posição geográfica diferente das demais em relação a superfície fonte, todos apresentaram níveis mais baixos de agressividade no verão e outono, e mais altos no inverno e primavera.

Tal fato pode ser resultado da contribuição de fatores característicos de cada uma das estações estudadas. Nota-se por exemplo, a predominância do vento de leste e nordeste, o que contribui significativamente para o avanço da massa de ar marítima para o interior do continente, além disso, as maiores deposições podem estar diretamente ligadas às mais altas velocidades do vento no período, e menores índices de umidade do ar, favorecendo a dissipação de partículas, inclusive de partículas maiores para o continente, como é possível notar nos pontos elencados no capítulo anterior e a seguir, na Figura 4.6.



Figura 4.6: Vento predominante de E e ENE para o interior do continente.

As Figuras 4.7 a 4.11 mostram uma comparação entre a deposição média de cloretos em cada um dos pontos de monitoramento em relação a velocidade média do vento monitorada ao longo dos ciclos de exposição da vela úmida.

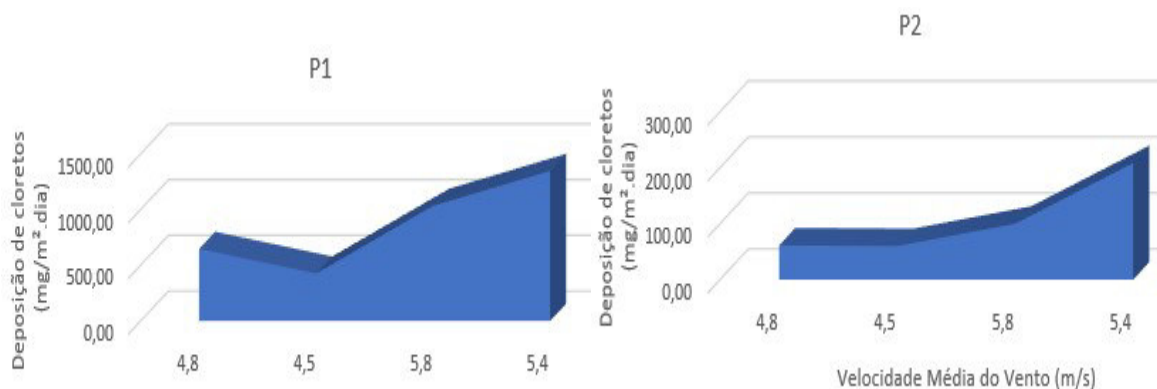


Figura 4.8: Comparação entre a deposição média de Cl^- em P2 e a velocidade média do vento.

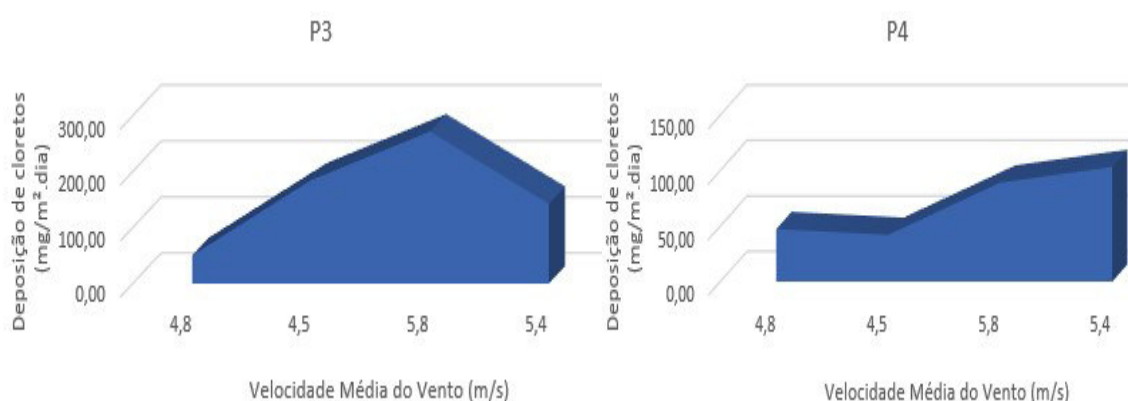
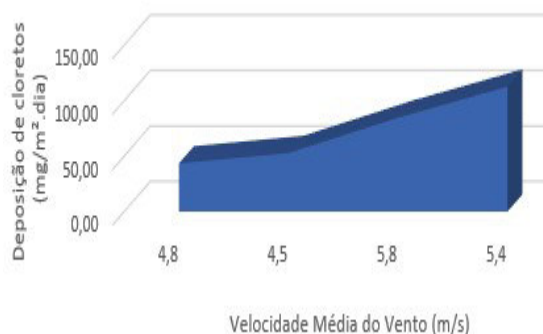


Figura 4.10: Comparação entre a deposição média de Cl^- em P4 e a velocidade média do vento.



Nota-se que a direção e intensidade do vento tem influência significativa na deposição de cloretos e sua distribuição para o interior da cidade. De forma predominante na região, o vento de ENE exerce importante influência na deposição local, favorecendo o transporte de massa de ar do mar para o continente, tornando assim o ambiente constantemente contagiado pelas características da superfície fonte. Além disso, foi possível comparar e quantificar a relação entre a deposição de cloretos e diferentes velocidades do vento. Juntamente ao explano no início deste capítulo, é possível observar que além do aumento significativo na taxa de deposição, a intensidade do vento

influi diretamente na distribuição de cloretos ao interior da cidade.

A entrada de ventos de SW no final do outono e no início do inverno, pode ter um impacto notável na deposição de cloretos no ponto de monitoramento P3. Isso ressalta o impacto que a direção predominante do vento em relação à costa, a velocidade do vento, assim como as características geográficas, áreas protegidas ou planas, tem sobre a deposição de distribuição de cloretos.

Durante o período de exposição foram observados aspectos físicos e químicos de forma particulares e dependentes entre si e suas interferências na atmosfera marinha e no presente estudo. Apesar de grande influência em estruturas reais, a precipitação acumulada nos períodos não traz interferências diretas ao estudo, devido as velas úmidas ficarem bem cobertas, não sofrendo lavagem devido a precipitação. Desta forma, nota-se como principais fatores climáticos influentes na deposição de íons agressivos no presente estudo, as superfícies fontes presentes na região, a direção do vento, o vento maral, a intensidade das rajadas e velocidade do vento, a temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar, cujas médias são expressas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Fatores climáticos médios durante o período de estudo

ESPOSIÇÃO	VERÃO	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA
Umidade Relativa (%)	84,3	77,6	79,0	79,3
Rajada Máx. Vento (m/s)	8,50	8,60	10,20	9,50
Veloc. Méd. Vento (m/s)	4,8	4,5	5,8	5,4
Temperatura Mín.	22,6	16,9	21,6	23,2
Temperatura Mín.	30,3	25,6	22,2	23,9
Precipitação Acumulada Mensal (mm)	110,0	49,0	43,5	125,3
Direção do Vento	E	ENE	ENE	ENE

A Figura 4.12 representa o cenário geral da variação da deposição de cloretos mediante ao clima no período em questão.

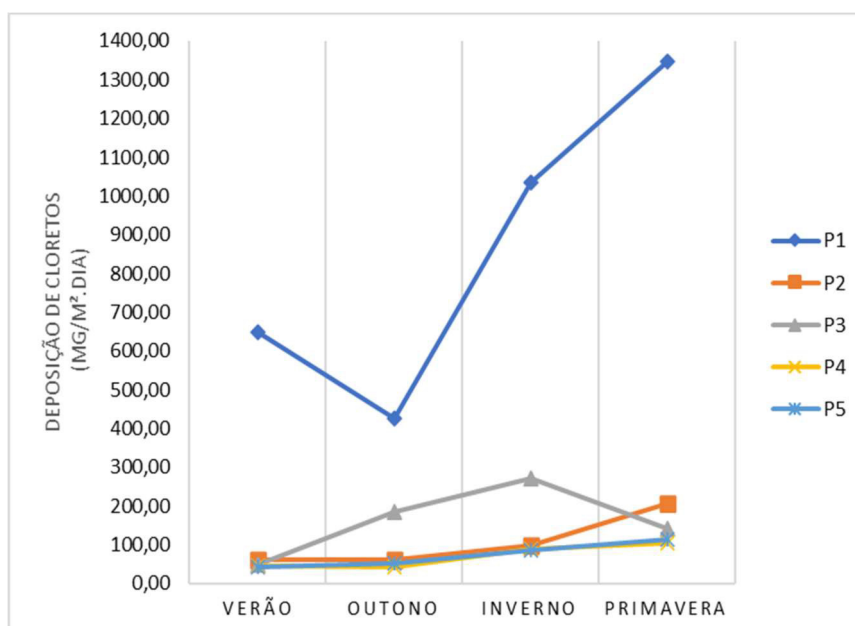


Figura 4.12: Variação da deposição de cloretos x estação do ano.

Observa-se que houve uma crescente deposição no período da primavera e nos períodos mais próximos a ela, começando a diminuir no verão alcançando menores deposições no outono e tornando a crescer no inverno. Como apontado anteriormente o ponto de monitoramento P3 adota um comportamento particular, o que pode dar-se, devido a influência da presença da Lagoa de Araruama, conhecida por seu alto índice de salinidade, distando aproximadamente 5 metros do ponto, além de outra superfície fonte que margeia o outro lado do P3 (uma praia posicionada do lado oposto dos demais pontos) e densa vegetação ao seu redor. A entrada de ventos de SW no final do outono e início do inverno, também pode ser influência significativa no local devido a essa configuração geográfica, favorecendo a deposição de cloretos nesta região.

As médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos resultados da deposição de cloretos, nas quatro estações do ano, encontram-se nas Tabelas 4.7 a 4.10.

Tabela 4.7: Deposição, Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação - Verão

Amostra	Distância [m]	Dep. de cloretos [mg/(m² dia)]	Média [mg/(m² dia)]	Desvio Padrão [mg/(m² dia)]	Coeficiente de Variação (%)
P1a	35	523,34	647,610	187,619	28,971
P1b	35	506,72			
P1c*	35	912,77			
P2a	55	65,93	60,987	3,495	5,732
P2b	55	58,52			
P2c	55	58,51			
P3a	710	54,06	50,243	6,688	13,312
P3b	710	55,83			
P3c	710	40,84			
P4a	1045	52,62	47,413	7,103	14,982
P4b	1045	37,37			
P4c	1045	52,25			
P5a	1400	40,55	43,477	5,026	11,561
P5b	1400	39,33			
P5c	1400	50,55			

Tabela 4.8: Deposição, Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação - Outono

Amostra	Distância [m]	Dep. de cloretos [mg/(m² dia)]	Média [mg/(m² dia)]	Desvio Padrão [mg/(m² dia)]	Coeficiente de Variação (%)
P1a	35	404,07	425,603	99,664	23,417
P1b	35	315,74			
P1c*	35	557,00			
P2a	55	55,5	59,840	3,496	5,842
P2b	55	59,96			
P2c	55	64,06			
P3a	710	191,21	184,697	12,605	6,824
P3b	710	167,07			
P3c	710	195,81			
P4a	1045	49,05	42,233	4,832	11,441
P4b	1045	39,24			
P4c	1045	38,41			
P5a	1400	56,37	52,860	2,488	4,706
P5b	1400	51,31			
P5c	1400	50,9			

Tabela 4.9: Deposição, Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação - Inverno

Amostra	Distância [m]	Dep. de cloretos [mg/(m ² dia)]	Média [mg/(m ² dia)]	Desvio Padrão [mg/(m ² dia)]	Coeficiente de Variação (%)
P1a	35	1076,81	1033,520	91,683	8,871
P1b	35	906,03			
P1c*	35	1117,72			
P2a	55	91,72	99,777	10,903	10,927
P2b	55	115,19			
P2c	55	92,42			
P3a	710	233,47	271,623	28,799	10,602
P3b	710	303,04			
P3c	710	278,36			
P4a	1045	84,64	89,310	3,817	4,274
P4b	1045	93,99			
P4c	1045	89,3			
P5a	1400	94,66	84,670	7,098	8,383
P5b	1400	80,52			
P5c	1400	78,83			

Tabela 4.10: Deposição, Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação - primavera

Amostra	Distância [m]	Dep. de cloretos [mg/(m ² dia)]	Média [mg/(m ² dia)]	Desvio Padrão [mg/(m ² dia)]	Coeficiente de Variação (%)
P1a	35	1059,94	1347,090	440,172	32,676
P1b	35	1012,35			
P1c*	35	1968,98			
P2a	55	204,65	208,153	17,038	8,185
P2b	55	230,55			
P2c	55	189,26			
P3a	710	150,61	142,327	7,623	5,356
P3b	710	132,21			
P3c	710	144,16			
P4a	1045	104,73	103,410	2,432	2,351
P4b	1045	100			
P4c	1045	105,5			
P5a	1400	173,16	112,717	43,520	38,610
P5b	1400	72,45			
P5c	1400	92,54			

Ao observar as particularidades do ponto de monitoramento P1, onde foram alocadas três

amostras estrategicamente, com o objetivo de quantificar a influência da presença de obstáculos no local, tanto P1a quanto P1b, ao serem posicionadas a uma distância de 5 metros de um edifício de três pavimentos, e P1c em um corredor desobstruído, permitindo uma investigação livre de interferências, foram registradas as seguintes variações (Figura 4.13):

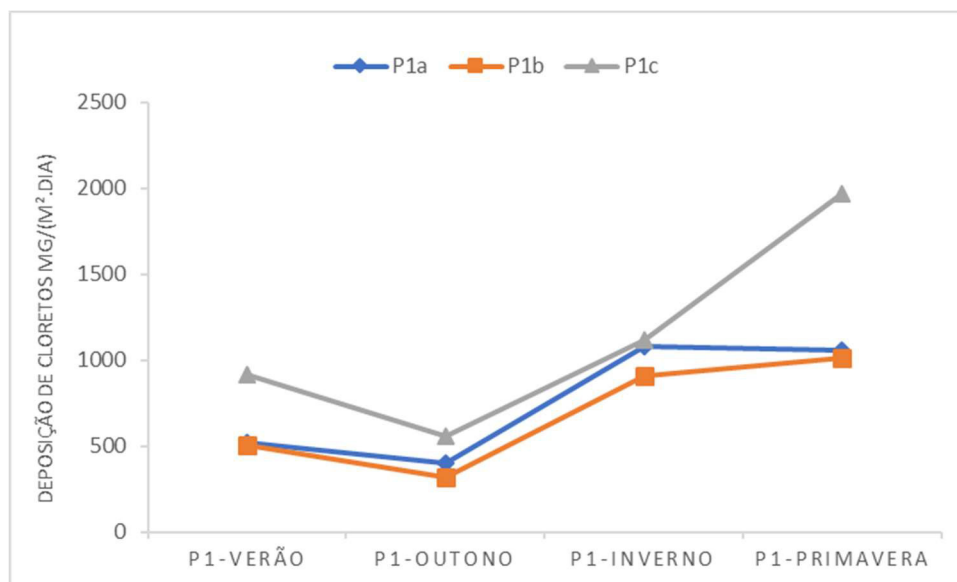


Figura 4.13: Variações da microrregião avaliada em P1

Na análise da deposição de cloretos em uma microrregião, é possível notar a variação comportamental observada. Os dados apontam que a amostra P1c apresenta variações significativas em relação às amostras P1a e P1b em diferentes estações do ano. No verão, a variação é de 77,25% a mais, enquanto no outono é de 54,79%. Já no inverno, essa variação reduz para 12,74%, mas no geral, ao longo das estações, a diferença acumulada é substancial, chegando a 90,02% na primavera. Este panorama destaca a dinâmica complexa da deposição de cloretos nos microambientes, sugerindo possíveis influências sazonais e fatores ambientais.

Como visto no capítulo 1, e ao longo da observação dos resultados expostos, é necessário analisar cuidadosamente as condições gerais a que uma estrutura será submetida. Para tanto, é importante observar a interação entre os aspectos que caracterizam um determinado ambiente, além de sua influência de forma independente, observando a forma como juntos incidem sobre a deposição e dissipação de íons agressivos. Além disso, vale reiterar a importância da consideração de microambientes dentro de um mesmo ambiente, neste caso, um microambiente dentro do ambiente marinho, afim de se atender casos particulares, influenciado principalmente pela geografia do ambiente de exposição.

4.3. Deposição de cloretos ao longo da costa brasileira

Além das diferenças atribuídas à concentração de agentes agressivos pelos aspectos já conhecidos, como o distanciamento em relação ao mar, incidência de ventos, temperatura, umidade, entre outros aspectos climáticos, nota-se a direta interferência da condição geográfica, topográfica e a concentração salina na superfície fonte, aspectos pouco abordados em um contexto geral. De modo a observar o comportamento da deposição cloretos ao longo da costa brasileira, com base no ensaio da vela úmida realizado por outros autores, podendo ser observado com maiores detalhes na metodologia apresentada no tópico 3.2.2 deste estudo, a seguir é apresentada a observação realizada entre as regiões onde houve estudos para as mesmas faixas de deposição, o que se deu maioritariamente nos primeiros 250m em relação a linha de costa.

É importante ressaltar que esse comportamento depende de uma série de variáveis. Fatores como a direção e intensidade dos ventos, a presença de obstáculos naturais ou artificiais, a topografia local e a densidade de construções podem influenciar significativamente a distribuição dos cloretos ao longo das regiões costeiras. Por exemplo, em locais onde os ventos predominantes são orientados de maneira a favorecer a dispersão dos cloretos para áreas mais distantes da costa, ou onde existem barreiras físicas que impedem a movimentação desses elementos, a distribuição pode ser bastante diferente. Além disso, variações sazonais, como mudanças nos padrões de vento ou na frequência de eventos climáticos extremos, também podem impactar a deposição de cloretos ao longo da região. Assim, embora a comparação inicial possa fornecer observações preliminares (conforme apresentado nas figuras 4.14 a 4.16), uma análise mais aprofundada e abrangente é necessária para compreender completamente os padrões de deposição de cloretos ao longo das regiões costeiras.

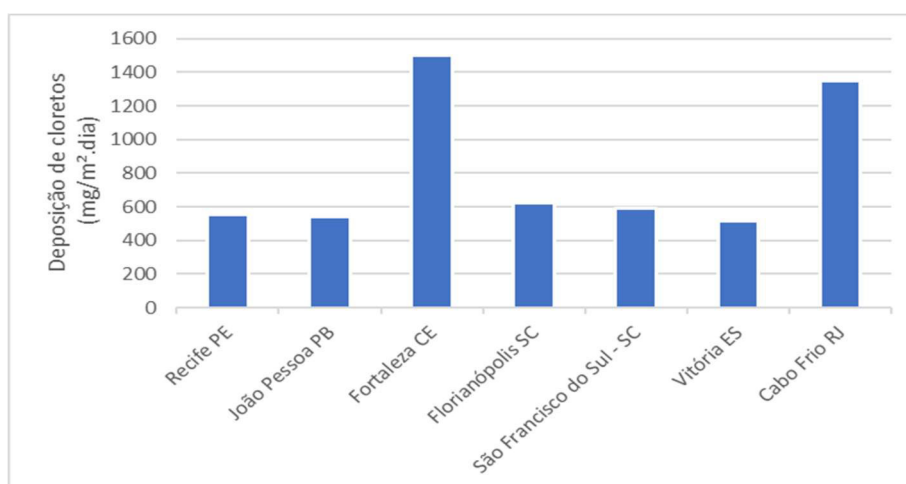


Figura 4.14: Comportamento da deposição cloretos ao longo das regiões costeiras com base no ensaio da vela úmida, na faixa de 1-50m.

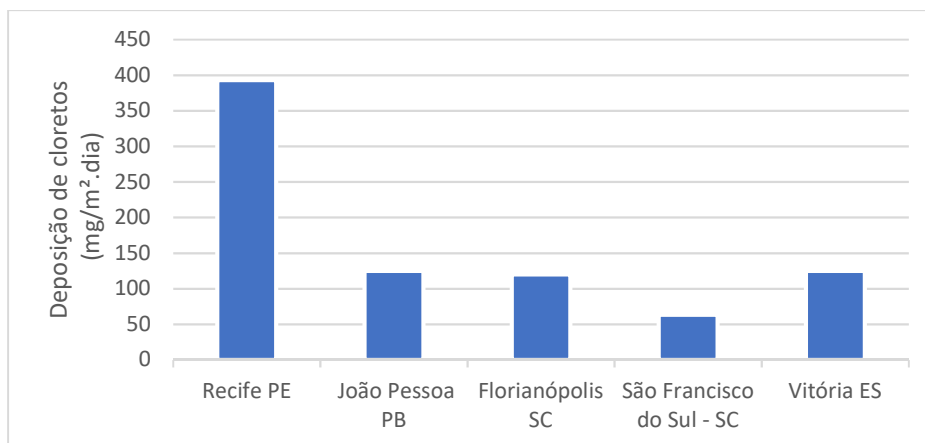


Figura 4.15: Comportamento da deposição cloretos ao longo das regiões costeiras com base no ensaio da vela úmida, na faixa de 100m.

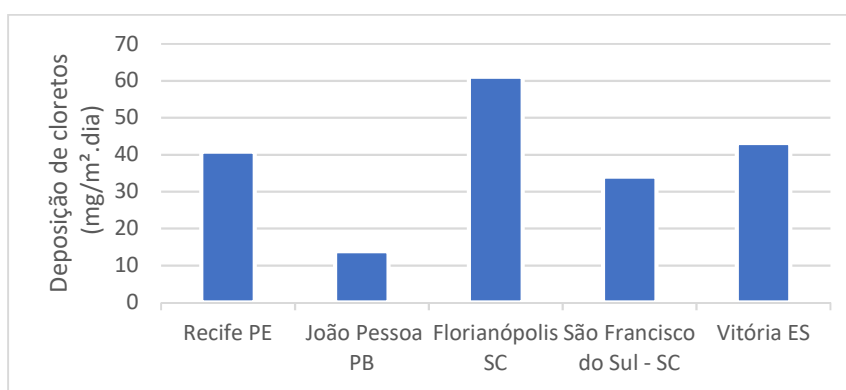


Figura 4.16: Comportamento da deposição cloretos ao longo das regiões costeiras com base no ensaio da vela úmida, na faixa de 200-250m.

Analisando-se a deposição de cloretos nas diferentes regiões, ao comparar os dados apresentados dos sete estados destacados, observa-se que há similaridade na concentração de cloretos, nos primeiros 50 metros de distância da linha de costa, variando entre aproximadamente 513 mg/(m².dia) e 620 mg/(m².dia), exceto na cidade de Fortaleza-CE e Cabo Frio-RJ, chegando a aproximadamente 1400 mg/(m².dia). O que indica, a relação com a influência da concentração salina da superfície fonte. Além disso, observando o comportamento da deposição nos resultados, nota-se que as medições que mais se repetem aos 100 metros da linhas de costa, equivale a aproximadamente 120 mg/(m².dia); aos 250 metros, equivalente a 40 mg/(m².dia); e 71% das regiões a partir dos 1100 metros, mediram deposições abaixo de 10 mg/(m².dia).

Campanhas de caracterização e avaliação da concentração de cloretos em atmosfera marinha, são imprescindíveis para compreender plenamente os padrões de deposição ao longo da costa brasileira. Mediante ao levantamento realizado com base nos resultados de outras investigações ao longo da costa é possível analisar a deposição de cloretos nas diferentes regiões. Tal levantamento traz a perspectiva de um comportamento que por vezes se repete ao longo da costa brasileira e segue representado na Figura 4.17.

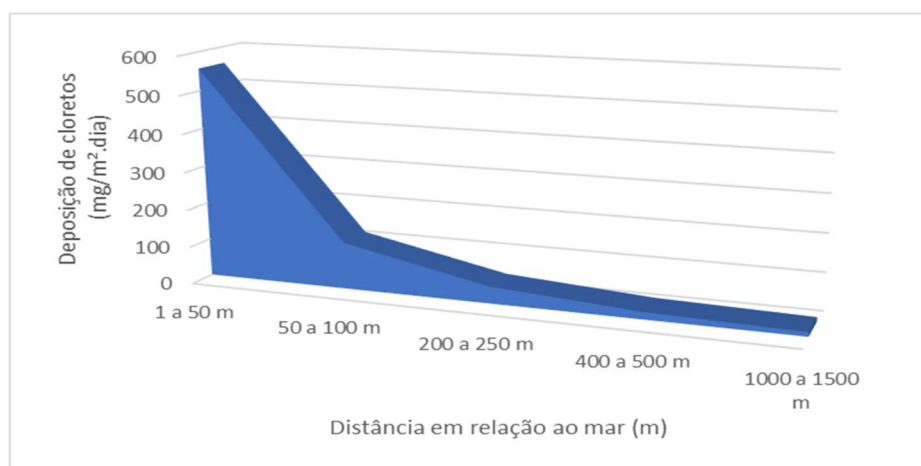


Figura 4.17: Similaridade da taxa de deposição de cloretos em três ou mais estudos ao longo da costa brasileira.

Com base na perspectiva de Meira (2004), pode-se estabelecer uma relação entre os valores de deposição ao longo da costa, com os diferentes níveis de agressividade proposto pelo autor. Deste modo teríamos nos primeiros 150 metros o equivalente a uma agressividade elevada; entre 150 e 1100 metros, uma agressividade moderada e a partir dos 1100 metros, em 71% dos casos, uma agressividade mínima. Apesar disto, nota-se a grande variação nos resultados a partir dos 100 metros de distância da costa. Isto, devido as várias interferências climáticas e regionais, sendo necessário o monitoramento específico para cada região.

4.4. Classificação da agressividade na cidade de Cabo Frio

A classificação dos ambientes pesquisados em termos de contaminação por cloretos no presente estudo, sugere o potencial de agressividade atmosférica e o risco de deterioração das estruturas expostas ao ambiente em questão.

Desta forma, observando os dados de deposição obtidos no ensaio da vela úmida, a Figura 4.18 apresenta os valores médios de deposição de cloretos para cada ponto ao longo do período de exposição.

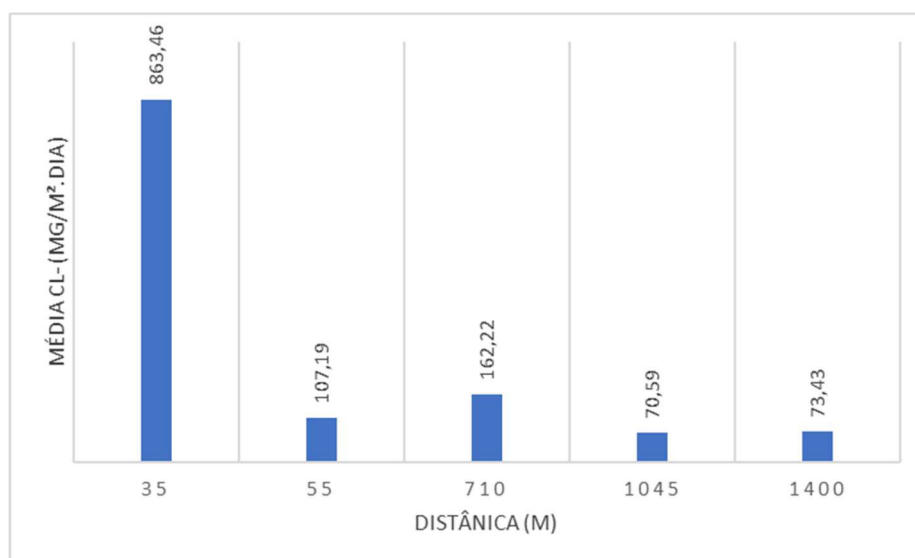


Figura 4.18: Valores médios de deposição de cloretos para cada ponto ao longo do período de exposição.

Através dos valores médios é possível obter uma visão geral dos valores de deposição, porém, considerando as medições mais críticas e abrangendo os fatores climáticos característicos do local nos períodos mais severos, apresenta-se os valores máximos medidos de deposição de cloretos para cada ponto ao longo do período de exposição, de forma independente, através da Figura 4.22.

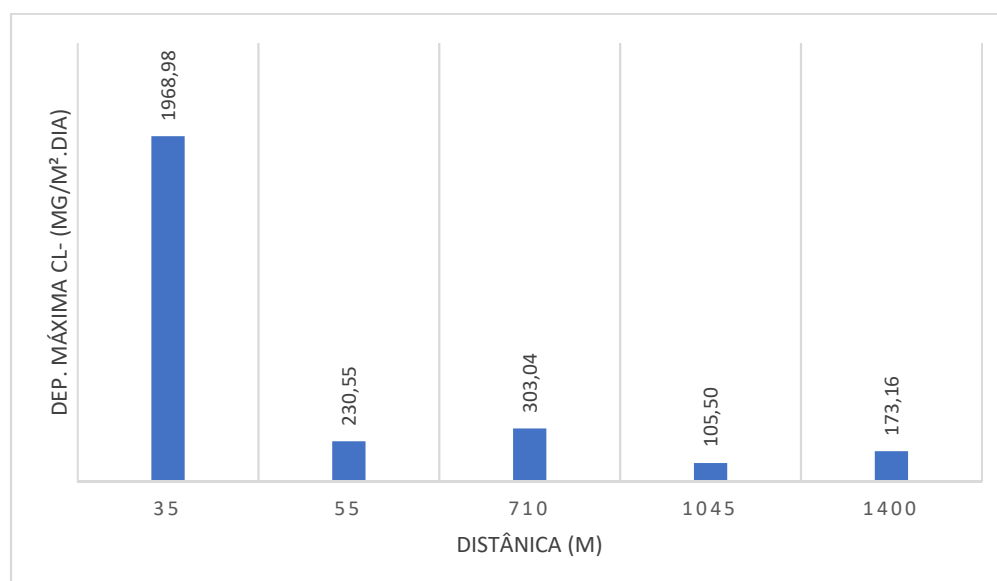


Figura 4.19: Valores máximos medidos de deposição de cloretos para cada ponto ao longo do período de exposição.

Considerando o que dispõe a NBR 14643 (2001) quanto a classificação de contaminação da atmosfera por cloretos e a correlação com a NBR 6118 (2023), conforme análise utilizada por Vilas Boas (2013), tem-se a seguinte classificação dos ambientes com base nos valores médios de deposição de cloretos (Tabela 4.12).

Tabela 4.11: Classificação dos ambientes com base nos valores médios de deposição.

LOCAL	Deposição Média mg/(m².dia)	Classificação de contaminação da atmosfera por cloretos (NBR 14643)	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
P1	863,456	B3	Forte	Grande
P2	107,189	B2	Moderada	Pequeno
P3	162,222	B2	Moderada	Pequeno
P4	70,593	B2	Moderada	Pequeno
P5	73,431	B2	Moderada	Pequeno

De mesmo modo, considerando a exposição das estruturas a todos os períodos e intempéries climáticas ao longo do ano, tem-se a seguinte classificação dos ambientes com base nos valores máximos de deposição (Tabela 4.13).

Tabela 4.12: Classificação dos ambientes com base nos valores máximos de deposição.

LOCAL	Deposição Máxima mg/(m².dia)	Classificação de contaminação da atmosfera por cloretos (NBR 14643)	Agressividade de	Risco de deterioração da estrutura
P1	1968,976	B4	Muito Forte	Elevado
P2	230,548	B2	Moderada	Pequeno
P3	303,037	B3	Forte	Grande
P4	105,503	B2	Moderada	Pequeno
P5	173,162	B2	Moderada	Pequeno

A análise do perfil de concentração média indica que a maioria da cidade está classificada como agressividade II (Moderada) com pequeno risco de deterioração da estrutura, com exceção do ponto P1, enquadrando-se na Classe III (Forte), com grande risco de deterioração. Contudo, é importante ressaltar que a análise baseada nos valores médios pode não refletir completamente a realidade, mitigando os períodos mais críticos de deposição.

Ao analisar os valores máximos, é possível observar maiores variações da agressividade

atmosférica para o interior da cidade, como consequência de deposições mais brandas que oferecem maior risco de deterioração à estrutura. Dessa forma, observa-se os primeiros metros da linha de costa, equivalentes ao ponto de monitoramento P1, como uma região de elevado risco de deterioração, apresentando-se como Classe IV (muito forte), seguido do ponto P2, que apesar de mais próximo ao mar em relação aos próximos pontos, por seu microclima conforme apresentado no início deste capítulo, apresenta uma menor agressividade, apresentando Classe II (Moderada), com pequeno risco de deterioração, bem como os pontos de monitoramento P4 e P5.

Além destes, tem-se o ponto P3, apresentando Classe III (Forte), com grande risco de deterioração. Apesar de mais distante do mar, do que o ponto 2 por exemplo, é dotado de um ambiente mais agressivo, compondo um ambiente de exposição de maior risco de deterioração a estrutura. Tal fato relaciona-se a distribuição da deposição de cloretos, como visto no tópico 4.2 deste capítulo e as particularidades do local.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da agressividade atmosférica na Cidade de Cabo Frio-RJ, apontou uma forte relação com as características climáticas locais, demonstrando como estas interagem diretamente com os agentes agressivos depositados ao longo da costa. Tal levantamento ofereceu o parecer dos riscos aos quais as estruturas poderão estar sujeitas ao longo de sua vida, quando submetidas às considerações e procedimentos adotados de forma empírica.

Os resultados ressaltam a importância de considerar a baixa resistência que, normalmente, as estruturas em concreto armado têm à altos teores de cloretos entre outros íons agressivos, presentes em ambiente de atmosfera marinha. Afim de atender as solicitações necessárias para o bom desempenho estrutural, o presente trabalho destacou a necessidade do estudo do ambiente de exposição, e o alinhamento entre os procedimentos pré-estabelecidos para a caracterização dos ambientes de exposição e consequentemente para o dimensionamento e execução das estruturas, buscando alcançar soluções que se adequem ao meio em questão.

Esta análise, bem como a observação das microrregiões específicas, ressaltam a necessidade de um arcabouço de dados sobre a agressividade dos ambientes marinhos, sendo crucial para compreender os mecanismos de deterioração aos quais o concreto está sujeito ao longo de sua vida útil, permitindo melhorias nos textos normativos e procedimentos que versem sobre o desempenho de estruturas de concreto armado em ambientes agressivos.

5.1. Conclusões

Por meio dos processos a que este estudo foi submetido e resultados obtidos, destacam-se conclusões que são elencadas a seguir:

(a) A intensificação ou enfraquecimento dos aspectos regionais tem um impacto significativo na precipitação, evaporação, salinidade, temperatura e umidade, afetando o microclima local. Variações anuais nesses padrões climáticos têm repercussões importantes sobre o ambiente, induzindo mudanças na aridez climática e na hidrografia da região. A região apresenta dois sistemas hidrográficos representativos, com destaque para a Lagoa de Araruama, que é a maior massa de água hipersalina em estado permanente no mundo. A hipersalinidade da lagoa tem implicações importantes para o estudo em questão, especialmente em relação à distribuição de cloretos ao longo das estações do ano. O que aponta a necessidade de atenção especial às diferentes superfícies fontes presentes no local.

(b) Os resultados mostram uma variação sazonal significativa na deposição de cloretos ao longo do ano, com valores mais altos observados durante o inverno e a primavera, e valores mais baixos durante o verão e o outono. Essa variação está diretamente relacionada às influências climáticas de cada estação, como a direção e intensidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura ambiente. A distribuição do teor de cloretos durante o período do verão acumula-se mais próxima à linha costeira, enquanto no outono e inverno distribui-se mais ao interior da cidade. Essa distribuição sugere uma influência significativa dos padrões climáticos na salinidade das águas costeiras, somado à incidência de ventos.

(c) A configuração geográfica da região, e a densa vegetação ao redor, influencia o comportamento da deposição de cloretos, especialmente no ponto de monitoramento P3. A entrada de ventos de SW no final do outono e início do inverno também pode afetar significativamente a deposição de cloretos nessa região. O que sugere considerar-se a direção predominante do vento quanto ao vento maral ou terral; as configurações geográficas quanto a relevos, locais abrigados ou planos, na influência da agressividade local.

(d) Os resultados destacam a interdependência dos fatores climáticos na deposição de cloretos, como a direção do vento, velocidade das rajadas, temperatura e umidade relativa do ar. Esses fatores agem de forma conjunta para influenciar a deposição e dissipação de cloretos na atmosfera marinha. A análise microambiental é crucial para compreender casos particulares e atender às necessidades específicas de cada estrutura. Nesse sentido, é fundamental considerar não apenas os aspectos gerais do ambiente, mas também as características específicas de microambientes dentro dele.

(e) A comparação entre as diferentes regiões costeiras brasileiras evidenciou padrões interessantes, como a similaridade na concentração de cloretos nos primeiros 50 metros da linha de costa, variando entre aproximadamente 513 mg/(m².dia) e 620 mg/(m².dia); valores de aproximadamente 120 mg/(m².dia) aos 100 metros; 40 mg/(m².dia) aos 250 metros e a maioria das regiões registrando deposições abaixo de 10 mg/(m².dia) a partir dos 1100 metros.

(f) Ao analisar a deposição de cloretos para cada ponto na cidade de Cabo Frio, RJ, revela-se variações na agressividade atmosférica, indicando diferentes níveis de risco de deterioração das estruturas. Os primeiros metros da linha de costa, representados pelo ponto de monitoramento P1, são identificados como uma região de alto nível de contaminação por cloretos, o que sugere Classe IV (Muito Forte), com elevado risco de deterioração. Por outro lado, o ponto P2, embora mais próximo ao mar, apresenta uma menor agressividade, classificando-se como Classe II (Moderada), assim como os pontos P4 e P5. Destaca-se também o ponto P3, classificado como Classe III (Forte),

mesmo estando mais distante do mar em comparação ao ponto P2. Isso evidencia as particularidades do local e a distribuição diferenciada da deposição de cloretos ao longo da cidade.

Esses resultados têm implicações importantes para a engenharia estrutural, destacando a importância de considerar as condições climáticas locais na concepção e manutenção de estruturas expostas à agressividade atmosférica. A compreensão dos padrões de deposição de cloretos ao longo do ano pode orientar estratégias de proteção e manutenção dessas estruturas, contribuindo para sua durabilidade e desempenho a longo prazo.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

a) Investigar os efeitos cumulativos da exposição prolongada a íons agressivos na vida útil e integridade das estruturas em ambiente marinho.

b) Investigar mais a fundo o papel dos sulfatos e outros íons, além dos cloretos, na deterioração das estruturas expostas ao ambiente marinho.

c) Avaliar a contribuição específica de cada íon na corrosão de diferentes materiais de construção, como argamassas e concretos, em condições de exposição marinha.

d) Analisar como fatores como temperatura, umidade, direção e velocidade do vento influenciam a deposição de íons agressivos ao longo de outras regiões litorâneas.

e) Avaliar similaridades entre novos estudos realizados ao longo da costa brasileira, estabelecendo relações com o perfil climatológico local.

f) Realizar levantamento da concentração de íons cloro em outros bairros da cidade, por um período mínimo de 1 ano.

g) Analisar o comportamento da vida útil das estruturas nesta região estudada.

h) Propor e avaliar estratégias de mitigação e prevenção da corrosão de estruturas expostas ao ambiente marinho, considerando ações de proteção superficial, seleção de materiais mais resistentes e medidas de controle.

6. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. T.; OTOCH, S. Proposta de classificação da agressividade do ambiente na cidade de Fortaleza. **Congresso Brasileiro do Concreto**, 47 (2005), Olinda. Anais. Olinda, IBRACON, 2005. p. 743-748
- AL-KHAJA, W. A. Influence of temperature, cement type and level of concrete consolidation on chloride ingress in conventional and high-strength concretes. **Construction and Building Materials**, 11 (1997), pp. 9–13. doi: 10.1016/s0950-0618(97)00004-4.
- ALVES, A. M. C. 2007. **Contribuição à análise da perspectiva de vida útil de estruturas de concreto face ao teor de cloreto registrado em Maceió – AL**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D-512 – 89 - **Standard test methods for chloride ion in water**. Washington, D.C., U.S.A., 1999.
- ANDRADE, J. J. O. 2001. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14643: **Corrosão – Classificação da corrosividade de atmosferas**. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6211: **Corrosão Atmosférica - Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida**. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.
- ARYA, P. S. 2001. **Introdução à Micrometeorologia**. Florianópolis, James R. Holton, 2001.
- BAIRD, C.; CANN, M. 2011. **Química Ambiental**. Porto Alegre, Bookman, 2011.
- BASHEER, L.; KROPP, J.; CLELAND, D. J. Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review. **Construction and Building Materials**, 15, 2001, pp. 93–103. DOI: 10.1016/s0950-0618(00)00058-1.
- BEUSHAUSEN, H.; NDAWULA, J.; HELLAND, S.; PAPWORTH, F.; LINGER, L. Developments in defining exposure classes for durability design and specification. Em: **Structural Concrete**, 22, 2021, pp. 2539–2555. DOI: 10.1002/suco.202000792.
- BORBA JÚNIOR, J. C., 2011. **Agressividade ambiental em zona de atmosfera marinha: estudo da deposição de cloretos e sua concentração em concretos na Região Sudeste**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo.

- BUENFELD, N. R. Measuring grand modeling transport phenomena in concrete for life prediction of structures. **Prediction of Concrete Durability**, E e FN Spon, 1995.
- SOUSA E SILVA, F. A., 2001, **Disseminação de íons cloreto na Praia do Futuro**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, 2001.
- CALÇADA, L. M. L., 2004. **Estudo da eficácia do ensaio de migração em condições de fluxo não estacionário na previsão da penetração de cloretos em concreto**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- CASTAÑEDA, A.; CORVO, F.; HOWLAND, J. J.; MARRERO, R. “Penetration of marine aerosol in a tropical coastal city: Havana”. **Atmosfera**, 31 (2018), pp. 87-104. DOI: 10.20937/ATM.2018.31.01.06.
- CHALEE, W.; TEEKAVANIT, M.; KIATTIKOMOL, K.; SIRIPANICHGORN, A.; JATURAPITAKKUL, C. Effect of W/C ratio on covering depth of fly ash concrete in marine environment. **Construction and Building Materials**, 21 (2009), pp. 965–971. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2006.03.002.
- COLE, I. S.; PATERSON, D. A.; GANTHER, W. D. Holistic model for atmospheric corrosion Part 1 - Theoretical framework for production, transportation and deposition of marine salts. **Corrosion Engineering, Science and Technology**, 38, 2003, pp. 129-134. DOI: 10.1179/147842203767789203.
- COSTA, A.; APPLETON, J. Case studies of concrete deterioration in a marine environment in Portugal. **Cement and Concrete Composites**, 24 (2012), pp. 169–179. DOI: 10.1016/s0958-9465(01)00037-3.
- COSTA, E. A. L., (2001). **Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na Região Metropolitana de Salvador**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DAVIES, P. J.; CROSBIE, R. S. Mapping the spatial distribution of chloride deposition across Australia. Em: **Journal of Hydrology**, 561 (2018), pp. 76–88. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.03.051.
- DE SOUZA, R. B.; REBOITA, M. S.; WERLE, A. P.; CARVALHO COSTA, E. B. Influência Das Variáveis Atmosféricas Na Degradação Dos Materiais Da Construção Civil. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 13 (2016), p. DOI: 10.5216/reec.v13i1.41448.
- FAVRETTO, F.; MAGALHÃES, F. C.; GUIMARÃES, A. T. da C.; CLIMENT, M. Á.; REAL, M. de V. Modelos de estimativa do grau de saturação do concreto a partir das variáveis ambientais aplicados à análise de confiabilidade de estruturas de concreto armado atacadas por íons cloreto. **Matéria**, 26 (2021), online. DOI: 10.1590/s1517-707620210003.13001.
- FERREIRA, P. R. R. **Modelagem probabilística para previsão do tempo de iniciação da corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado expostas em zonas de atmosfera marinha**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba.

- FLORES MONTES, M. J.; ZANARDI-LAMARDO, E.; YOGUI, G. T. “Introdução à Oceanografia Química”. Em: **Ciências do Mar: dos Oceanos do Mundo ao Nordeste do Brasil: Oceano, Clima, Ambientes e Conservação**. Olinda, Via Design Publicações, 2021.
- GALLOWAY, J. N.; LIKENS, G. E.; EDSALL, T. **Acid Precipitacio: Sources, Deposition, and Canopy Interactions**. New York, Springer Science & Business Media, 2013.
- GARCIA, R. B. **Avaliação da atmosfera marinha em estruturas de concreto na região de Florianópolis – SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- GONZÁLEZ, J. A.; FELIÚ, S.; RODRÍQUEZ, P.; LÓPEZ, W.; RAMÍREZ, E.; ALONSO, C.; ANDRADE, C. Some questions on the corrosion of steel in concrete. Part II: Corrosion mechanism and monitoring, service life prediction and protection methods. **Materials and Structures**, 29 (1996) pp. 97–104. DOI: 10.1007/bf02486199.
- GUIMARÃES, A. T. C.; HELENE, P. R. L. Grau de saturação do concreto: um importante fator na difusão de cloretos. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, 2 (2011), pp. 55-64. URL: http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/res7_n2.pdf.
- GUSTAFSSON, M. E. R.; FRANZÉN, L. G. “Dry deposition and concentration of marine aerosols in a coastal area, SW Sweden”. **Atmospheric Environment**, 30 (1996), pp. 977–989. DOI: 10.1016/1352-2310(95)00355-x.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. 1a Ed., 1ª reimpressão (maio 95). PINI / SENAI, São Paulo, 1993. 189 p
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9223. **Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres – Classification**. Geneve, Switzerland, 1992.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9224. “Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Guiding values for the corrosivity categories”. Geneve, Switzerland, 2012.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9225. **Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity**. Geneve, Switzerland, 2012.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9226. “Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres”. Geneve, Switzerland, 2012.
- KENNY, E. D.; PORTELA, K. F.; SILVA, J. M.; D’ALKAINE, C. V. Exposição de materiais metálicos em atmosferas no Paraná – parte I – dois anos de experiência. **XVII Congresso Brasileiro de Corrosão**, 1993. Anais de congresso, pp. 471-483.
- LEITE, L. A. S. **Estudo da corrosão de aços-carbono e patinável durante 39 meses de exposição em ambiente marinho-industrial**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.

- MARTINS, N. P.; PESSOA, R.; NASCIMENTO, R. Priorização na Resolução de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado: Método GUT.: **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, 2, 2017, n.p. DOI: 10.25286/rep.v2i3.707.
- MEDEIROS, A.; CHEEN, L. Y.; GENEROSO, B.; ABRAHÃO, T. B.; SILVEIRA, G. C.; MAZER, W. Estudo da penetração de cloretos em concretos expostos por dois anos em ambiente marinho. **XV Congreso Latino-Americano de Patología de Construcción - XVII Congreso de Control de Calidad en la Construcción**, 2019. DOI: 10.21041/CONPAT2019/V2PAT140.
- MEIRA, G. R.; MEDEIROS, W. T.; LIMA, E. P.; ANDRADE, C. Vertical distribution of marine aerosol salinity in a Brazilian coastal area - The influence of wind speed and the impact on chloride accumulation into concrete. **Construction & Building Materials**, 135 (2017), pp. 287-296.
- MEIRA, G. R. **Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto armado**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- MEIRA, G. R.; ANDRADE, C.; ALONSO, C.; BORBA, J. C.; PADILHA, M. Durability of concrete structures in marine atmosphere zones – The use of chloride deposition rate on the wet candle as an environmental indicator. **Cement and Concrete Composites**, 32 (2013), pp. 427–435. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2010.03.002.
- MEIRA, G.; ANDRADE, M.; PADARATZ, I.; ALONSO, M.; BORBA JR., J. Measurements and modelling of marine salt transportation and deposition in a tropical region in Brazil. **Atmospheric Environment**, 40, 2006, pp. 5596–5607. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2006.04.053.
- MORAIS, J. M. P. de; SILVA, A. M. da; BARBOZA, E. N.; SILVA, E. M. da; OLIVEIRA, B. B. de. Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: uma revisão. **Research, Society and Development**, 9 (2020), pp. e759974964. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.4964.
- MORCILLO, M.; CHICO, B.; MARIACA, L.; OTERO, E. “Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site”. **Corrosion Science**, 42, 2000, pp. 91–104. DOI: 10.1016/s0010-938x(99)00048-7.
- OLIVEIRA, A. E.; SOUZA, L. C.; BARBOSA, R. C. F. **Estratégias De Reforço Estrutural Para Regiões de Classificação da Marinha**. Trabalho de Conclusão de Curso, Programa de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estácio de Sá, 2020.
- OLIVEIRA, R. R. de O. 2018. **Fluxos de CO2 na interface oceano-atmosfera no Oceano Atlântico Sul subtropical**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos.
- PETELSKI, T.; CHOMKA, M. Marine aerosol fluxes in the coastal zone. **Journal Aerosol Science**, 28(1998), pp. 105-106. URL:http://www.iopan.gda.pl/oceanologia/OC_38/OC38_4-4_Petelski.pdf.
- PONTES, R. B., 2006. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco.

- PORTELLA, G. J. C., 2011. **Taxa de degradação de estruturas metálicas e de concreto em ambientes litorâneos do sul e do nordeste do Brasil: estudos de caso em Pontal do Paraná, PR e Salvador, BA.** Trabalho de Conclusão de Curso, Programa de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná.
- PRATA, A. L. C., 2017. **Medição da Concentração de Cloreto na Atmosfera Urbana de Aracaju/SE.** Monografia de Conclusão de Curso, Programa de Graduação em Engenharia Civil, Instituto Federal de Sergipe.
- RADOJEVIC, M.; BASHKIN, V. N. Practical Environmental Analysis. **Royal Society of Chemistry**, 2006, p 480. DOI: 10.1039/9781847552662
- ROMANO, F. S., 2009. **Estudo do ingresso de cloretos em concretos localizados no litoral norte do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SELL JUNIOR, F. K., 2020. **Análise dos procedimentos de avaliação do potencial de durabilidade das estruturas de concreto com base na determinação do coeficiente de difusão de cloretos.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.
- SICA, Y. C., 2006. **Mapeamento da corrosividade atmosférica de São Luís – MA e a correlação das variáveis ambientais que influenciaram na degradação dos materiais metálicos.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná.
- SOUZA JÚNIOR, T. F., 2016. **Estruturas de Concreto Armado – notas de aula.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, 2016.
- STUDART, T. M. C. **Hidrologia.** Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006. 213 p.
- VILASBOAS, J. M. L., 2013. **Estudo dos mecanismos de transporte de cloretos no concreto, suas inter-relações e influência na durabilidade de edificações na cidade do Salvador-BA.** Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia.
- VITALI, M. R. V., 2013. **Efeito do distanciamento ao mar da contaminação do concreto por cloretos.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.