

ANÁLISE DA AGRESSIVIDADE DO AR ATMOSFÉRICO DA PORÇÃO NORTE DE SÃO LUÍS-MA

Márcio Freire Santos Filho
Rodrigo de Azevedo Neves

**MÁRCIO FREIRE SANTOS FILHO
RODRIGO DE AZEVEDO NEVES**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA
AGRESSIVIDADE AMBIENTAL DO AR
ATMOSFÉRICO NA PORÇÃO NORTE DA
CIDADE DE SÃO LUÍS - MA**



EDITOR RESPONSÁVEL

Jeanne Ferreira Sousa da Silva

CONSELHO EDITORIAL

Alan Kardec Gomes Pachêco Filho

Ana Lucia Abreu Silva

Ana Lúcia Cunha Duarte

Cynthia Carvalho Martins

Eduardo Aurélio Barros Aguiar

Emanoel Cesar Pires de Assis

Emanoel Gomes de Moura

Fabiola Hesketh de Oliveira

Helciane de Fátima Abreu Araújo

Helidacy Maria Muniz Corrêa

Jackson Ronie Sá da Silva

José Roberto Pereira de Sousa

José Sampaio de Mattos Jr

Luiz Carlos Araújo dos Santos

Marcos Aurélio Saquet

Maria Medianeira de Souza

Maria Claudene Barros

Rosa Elizabeth Acevedo Marin

Wilma Peres Costa

© *copyright* 2023 by UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.

Todos os direitos desta edição reservados à EDITORA UEMA.

Diagramação: Paul Philippe

Capa e Ilustrações: Márcio Freire Santos Filho

Santos, Marcio Freire

Análise Experimental da agressividade ambiental do ar atmosférico na porção norte da cidade de São Luís-MA / Marcio Freire Santos Filho e Rodrigo de Azevedo Neves. – São Luís, MA: Editora UEMA, 2023.

125 p.

ISBN: 978-85-8227-370-8

1. Engenharia. 2. Análise experimental. 3. Ar atmosférico I. Título.

CDU: 624.15(41)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilhável 4.0 Internacional. Esta obra pode ser baixada, compartilhada e reproduzida desde que sejam atribuídos os devidos créditos de autoria. É proibida qualquer modificação ou distribuição com fins comerciais. O conteúdo do livro é de total responsabilidade de seus autores ou autoras.

EDITORA UEMA

Cidade Universitária Paulo VI - CP 09 Tirirical

CEP - 65055-970 São Luís – MA

www.editorauema.uema.br – editora@uema.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Editora UEMA.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Editora UEMA declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são open access, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de e-commerce, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

“Lembre-se de olhar para as estrelas e não para baixo, para os seus pés... Seja corajoso, seja determinado, supere suas dificuldades. Tudo é possível”.
Stephen Hawking

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	9
2 POR QUE DESENVOLVER ESSA PESQUISA?	12
3 O CONCRETO E SEUS COMPONENTES	15
3.1 Cimento Portland	15
3.2 Agregados	16
3.2.1 Água.....	17
3.2.2 Aditivos.....	18
3.3 Tipos de Concreto	19
3.4 Durabilidade das estruturas de Concreto Armado	21
3.5 A influência do Ambiente nas Estruturas de Concreto Armado	27
3.5.1 Zonas de agressividade marinha	28
3.5.2 Distância em relação ao mar.....	30
3.5.3 Velocidade e direção dos ventos.....	31
3.5.4 Temperatura.....	32
3.5.5 Umidade relativa.....	32
3.5.6 Efeito blindagem ou Barreira	33
3.6 Parâmetros normativos de agressividade ambiental	33
3.7 Fatores que causam degradação das estruturas de Concreto Armado	37
3.7.1 Identificação de manifestações patológicas decorrentes da corrosão de armaduras	39
4 METODOLOGIA	41
4.1 Delimitação da área de estudo	42
4.1.2 Pontos de coleta de dados (Estações).....	43
4.2 Ensaio de Vela úmida	45
4.2.1 Suporte para o ensaio de vela úmida	47

4.2.2 Preparação do ensaio de vela úmida	48
4.3 Instalação das Estações	55
4.3.1 Estação A	56
4.3.2 Estação B	57
4.3.3 Estação C	58
4.3.4 Estação D	59
4.3.5 Coleta das Velas Úmidas	61
4.4 Análise do teor de cloretos	67
4.5 Inspeção em postes de concreto armado	70
4.5.1 Parâmetros coletados	71
5 ANÁLISE EXPERIMENTAL DA AGRESSIVIDADE AMBIENTAL DO AR ATMOSFÉRICO NA PORÇÃO NORTE DA CIDADE DE SÃO LUÍS - MA	73
5.1 Características Climatológicas	73
5.1.1 Precipitação Pluviométrica	73
5.1.2 Umidade Relativa	76
5.1.3 Temperatura	77
5.1.4 Direção e velocidade dos ventos	79
5.2 Deposição de Íons Cloreto no ar atmosférico pelo método da vela úmida	83
5.3 Comparação com outros estudos	86
5.4 Comparação com outros estudos do Brasil	90
5.5 Mapa de agressividade ambiental	96
5.6 Corrosão em estruturas de concreto próximas a área de estudo	101
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
6.1 Sugestão para trabalhos futuros	109
REFERÊNCIAS	117

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Kaefer (1998), pode-se considerar que o concreto utilizado atualmente nos diversos ramos da engenharia é consequência do esforço e do trabalho de inúmeros homens. Estes, por sua vez, durante anos buscaram por meio da experimentação e observação da natureza aperfeiçoar as técnicas, materiais, teorias e formas estruturais.

A busca por um material resistente, com boa trabalhabilidade e que fosse um ligante para as pedras, já vem desde antes de Cristo. A argamassa de cal já era utilizada no império romano juntamente com uma fina areia vulcânica e água do mar, formando um mineral denominado Tobermorita Aluminosa. Nesse sentido, o resultando dessa mistura era uma argamassa muito resistente e possível de ser lançada sob a água (MACGREGOR, 1997).

Na década de 1850 surge a primeira publicação sobre o cimento armado com Joseph Louis Lambot. O francês introduziu ferragens em uma massa de concreto para construção de um barco de aproximadamente 4 (quatro) metros de comprimento. No entanto, apesar de ter sido o precursor do cimento armado, seus experimentos não tiveram tanta repercussão. Em 1867, Joseph Monier passa a desenvolver diversas patentes e construções envolvendo a associação de malhas de aço com uma massa de concreto, sendo considerado um dos principais precursores da construção em concreto armado (KAEFER, 1998).

De acordo com McCormac e Nelson (2006), a teoria do concreto armado se desenvolveu por meio de ensaios e experiências através do alemão Gustavo Adolpho Wayss, após comprar patentes de Joseph Monier. No Brasil, o Concreto Armado se desenvolveu com a vinda do engenheiro François Hennebique, este, por sua vez, foi o primeiro a posicionar de forma correta a armação das peças de concreto armado e outras barras, como por exemplo, o estribo para ajudar no esforço de cisalhamento. A primeira obra, no Brasil, foi feita no Rio de Janeiro, uma ponte com 9 (nove) metros de vão calculada por Hennebique (VASCONCELOS, 1985). Diante disso, percebe-se que mesmo sendo um dos materiais de construção de estruturas relativamente recente, o concreto pode ser considerado como uma das descobertas mais fundamentais da história, pois possibilitou o desenvolvimento de edificações e obras de infraestruturas (ISAIA, 2005).

Helene e Andrade (2007) complementam que, atualmente, o concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil. Pois, se for utilizado com a correta distribuição dos seus componentes, tendo como base um estudo de dosagem, as propriedades do concreto podem ser modificadas, conforme a necessidade requerida. Nesse sentido, pode-se efetuar modificações no tempo de pega, densidade, resistência mecânica, empregabilidade, acabamento e durabilidade. Dentro desse contexto, conclui-se que há diversas razões para uso do concreto, entre elas estão: variedade de formas e tamanhos (boa trabalhabilidade), apresenta boa resistência à maioria das solicitações, mão de obra acessível, técnicas bem difundidas, matéria durável, desde que seja bem executado (CARVALHO; FILHO, 2004).

O concreto é um material construtivo amplamente utilizado, pois o seu uso está presente em rodovias, pontes, casas, edifícios, obras de saneamento, entre outros. Segundo Pedrosa (2009) estima-se que anualmente são consumidos 11(onze) bilhões de toneladas de concreto, equivalente, a um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano. Sendo, portanto, o segundo material mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água.

Devido ao uso crescente do material concreto, Souza e Ripper (2007) destacam que diversos estudos passaram a ser realizados, visando considerar outras variáveis - não apenas sua capacidade resistente - que podem influenciar no seu comportamento. Os autores afirmam que até a segunda metade do século XX, boa parte das normas referentes aos projetos e à execução de estruturas de concreto armado, no Brasil e no mundo tinham como enfoque principal a obtenção da resistência mecânica.

A ISO 6241:1984 apresenta de forma pioneira a correlação entre o comportamento dos sistemas e sua interação com o ambiente. Nessa perspectiva, passou-se a observar e avaliar, além dos materiais e métodos construtivos utilizados, o ambiente em que a estrutura está inserida. Assim, os conceitos relacionados ao Estado Limite de Serviço (ELS), no que se refere à durabilidade e vida útil das estruturas, tornaram-se essenciais nos projetos estruturais.

Seguindo a linha de raciocínio de Souza e Ripper (2007), a NBR 6118 apresenta pela primeira, em sua versão de 2003, a definição das

Classes de Agressividade Ambiental (CAA), demonstrando que o estudo da durabilidade das estruturas de concreto está diretamente associado ao ambiente de inserção da estrutura. Assim, a norma apresenta quatro Classes de Agressividade Ambiental, determinando parâmetros de projeto (cobrimento mínimo, resistência do concreto e relação água/cimento) correlacionados com a escolha do ambiente onde a estrutura será inserida. Dentre todas as classes definidas pela NBR 6118:2014, as classes III e IV apresentam risco de deterioração da estrutura grande e elevado, respectivamente. Esses ambientes são, geralmente, caracterizados como zonas marinhas ou respingos de maré onde há uma forte presença de cloretos em sua atmosfera e conseqüentemente, maior probabilidade do aparecimento precoce de manifestações patológicas (PORTELLA, 2013).

Norteadado por todas as questões expostas, este e-book foi estruturado em seis etapas, nas quais buscou-se progressivamente fazer um levantamento histórico do material concreto e a análise da introdução de parâmetros de durabilidade nos projetos estruturais, destacando o estudo do ambiente como fator que proporciona requisitos de segurança, aumento da vida útil das estruturas e redução de gastos. Posteriormente, apontar os parâmetros que interferem na durabilidade da estrutura, desde os componentes do concreto, até fatores climatológicos, com destaque para a influência do teor de íons cloro nessa temática.

Na sequência é demonstrado os materiais e procedimentos utilizados para realização do ensaio de vela úmida e os parâmetros utilizados para inspeção dos postes de concreto armado. Após essas etapas apresenta-se os dados obtidos por meio do ensaio de vela úmida e pela inspeção dos postes de concreto armado. Ademais, são analisados os dados climatológicos do período proposto, assim como a comparação da pesquisa com outros estudos.

2. POR QUE DESENVOLVER ESSA PESQUISA?

De acordo com Ueda & Takewaka (2007), estudos comprovam a relevância econômica da consideração da durabilidade e da vida útil das estruturas de concreto no projeto estrutural, tendo em vista que estes fatores ajudam a diminuir os gastos com manutenções e reparos das estruturas. Além disso, Medeiros, Andrade e Helene (2011) complementam que o estudo da durabilidade contribui com a sustentabilidade e na previsão do comportamento do concreto a longo prazo.

Ferreira (2022) destaca que a vida útil das estruturas de concreto pode ser limitada devido a fatores concernentes ao uso e as condições do ambiente ao seu redor. Desse modo, é notório a influência do meio na durabilidade, sobretudo quando há exposição constante a agentes agressivos, criando um cenário propício para o desenvolvimento de mecanismos de degradação, sendo o mais recorrente a corrosão de armaduras (BERTOLINI *et al.*, 2004).

Segundo Gentil (2011) os gastos relacionados a prevenção, manutenção e reparos das estruturas devido à corrosão são mais relevantes em países com um nível maior de desenvolvimento tecnológico, constituindo aproximadamente 3,5% do Produto Interno Bruto (PIB). Ademais, Medeiros, Andrade e Helene (2011) apresentam essa temática voltada para as estruturas de concreto armado, onde é possível verificar, conforme a Tabela 1, que em alguns países europeus cerca da metade dos investimentos em construções estão atrelados a manutenção e reparações estruturais.

Tabela 1 - Gastos relacionados a construções em países desenvolvidos.

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

Fonte: Medeiros, Andrade e Helene (2011).

No Brasil, um estudo feito por Dotto (2012) demonstra que os gastos governamentais relacionados à recuperação estrutural chegam a um valor de R\$ 800 milhões por ano. Outrossim, o estudo aponta que pontes e viadutos são as estruturas mais afetadas pelos mecanismos de degradação, dentre os quais as manifestações patológicas causadas pela ação de íons cloro são mais frequentes, principalmente em ambientes de atmosfera marinha.

Em regiões litorâneas, segundo Pontes (2006), o teor de cloretos é bastante significativo podendo se caracterizar como um ambiente altamente agressivo para as estruturas de concreto. Nesse sentido, a motivação desse trabalho é justificada pela necessidade de caracterização do nível de agressividade da porção norte de São Luís - MA, tendo em vista o elevado crescimento imobiliário do local e a ausência de dados referentes à concentração de cloretos na região.

É evidente, portanto, que o conhecimento adquirido mediante os dados divulgados nessa pesquisa fornecerá aos projetistas estruturais, consultores em patologia e engenheiros em geral, melhores condições para a análise das estruturas inseridas na região de estudo, assim como o desenvolvimento de projetos mais assertivos, evitando retrabalhos, mediante o aparecimento precoce de manifestações patológicas, garantindo maior econômica, durabilidade e sustentabilidade.

Para compreender de forma adequada o nível de agressividade atmosférica de uma região, é preciso, com auxílio da literatura, analisar as diversas variáveis envolvidas nessa temática (FERREIRA, 2022). Assim, o objetivo da pesquisa não se limita apenas a divulgar o teor de cloretos nas regiões dos ensaios de vela úmida, mas caracterizar climatologicamente o local de estudo.

Ao longo desta seção objetiva-se analisar de forma detalhada os parâmetros que podem influenciar na vida útil e na durabilidade das estruturas de concreto. Dessa forma, o entendimento correto apresentado ao final da pesquisa passa pela compreensão das propriedades do concreto e a influência que o meio exerce sobre as estruturas compostas por esse material, levando em consideração: a velocidade e direção dos ventos, umidade relativa, precipitação pluviométrica e temperatura.

3. O CONCRETO E SEUS COMPONENTES

O concreto pode ser definido, de acordo com Mehta e Monteiro (2008), como um material compósito que possui uma pasta responsável por unir partículas e fragmentos agregados. Levando em consideração o concreto de cimento Portland, o aglomerante hidráulico é o responsável por fazer a ligação dos materiais, sendo, portanto, constituído de cimento e água. Em relação aos agregados (miúdo e graúdo), estes podem ser areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto forno ou resíduos de construção e de demolição.

Ademais, segundo a NBR 12655:2015, pode-se incorporar ao concreto componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, polímeros, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), com o objetivo de melhorar ou modificar suas propriedades básicas. Nesse sentido, evidencia-se que o concreto é obtido através da adequada proporção dos seus componentes, definindo a quantidade de cada material, visando garantir que suas propriedades se desenvolvam pelo endurecimento da pasta de cimento (BATTAGIN, 2009).

3.1 Cimento Portland

De acordo com Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2002), o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinante ou ligante que passa por um processo de endurecimento ao entrar em contato com água. Além disso, para Mehta e Monteiro (2014), o cimento portland é o principal componente do concreto, sendo ele obtido pela pulverização de clínquer.

Atualmente, há diversos tipos de cimento no mercado e cada um possui diferentes características. A escolha do tipo de cimento a ser utilizado pode depender do volume de concreto a ser lançado, da resistência que se deseja alcançar, durabilidade, uso da construção, entre outros. Abaixo apresenta-se alguns tipos de cimento:

- Cimento Portland Comum CP I;
- Cimento Portland Comum com Adição CP I-S;

- Cimento Portland CP II-Z;
- Cimento Portland Composto CP II-E;
- Cimento Portland Composto CP II-F;
- Cimento Portland de Alto Forno CP III (Com escória);
- Cimento Portland Pozolânico CP IV;
- Cimento Portland CP V ARI;
- Cimento Portland CP (RS);
- Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC);
- Cimento Portland Branco (CPB).

3.2 Agregados

A principal forma para classificar o agregado para uso no concreto é em relação a sua granulometria, sendo este dividido em agregado miúdo e graúdo (FUSCO, 2012). De maneira geral, Bauer (2008) especifica a areia e brita como sendo os principais materiais componente dos agregados miúdos e graúdos, respectivamente.

Além da classificação granulométrica, Petrucci (1998) apresenta uma classificação relacionada a origem dos agregados, dividindo-os em naturais e artificiais. Nessa perspectiva, a primeira classificação refere-se aos agregados que não precisam ser submetidos a processos de aperfeiçoamento, ou seja, podem ser encontrados na natureza em condições de uso (Ex: areia). Em relação a segunda classificação, estes necessitam sofrer processos industriais ou não com objetivo de adequar seu uso na engenharia (Ex: Pedra Britada).

A NBR 7211 (ABNR, 2009) apresenta os requisitos específicos e os parâmetros nos quais os agregados precisam apresentar, tanto na recepção quanto na sua produção, para serem utilizados na confecção do concreto de cimento Portland. Além disso, essa mesma norma sugere uma divisão entre agregados graúdos e miúdos de acordo com a abertura da malha das peneiras. Nesse sentido, os grãos que conseguem atravessar a peneira 4,75mm são considerados agregados miúdos. Seguindo essa mesma linha de raciocínio, os agregados graúdos podem

ser classificados de acordo com os grãos que atravessam a peneira com abertura de 75mm e ficam retidos na peneira 4,75mm.

Outro ponto importante da NBR 7211 está relacionado aos limites, em porcentagem, dos teores de cloretos em agregados provenientes de regiões litorâneas, ou extraídos de águas salobra ou quando foram obtidos em regiões com suspeita de contaminação natural. A Tabela também apresenta os limites referentes ao teor de sulfatos, dependendo do tipo de concreto utilizado (Simples, Armado e Protendido) podemos ter os seguintes limites, conforme a tabela 2:

Tabela 2 – Limites máximos, porcentagem, dos teores de cloretos e sulfatos.

Determinação	Método de ensaio	Limites
Teor de cloretos ^a (Cl ⁻)	ABNT NBR 9917 ABNT NBR 14832 ^b	< 0,2 % concreto simples
		< 0,1 % concreto armado
		< 0,01 % concreto protendido
Teor de sulfatos ^c (SO ₄ ²⁻)	ABNT NBR 9917	< 0,1%

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

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

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

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

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2022).

Nessa perspectiva, além dos fatores relacionados a origem e granulometria, outras características dos agregados devem ser observadas com atenção, pois, segundo Amorim (2010), elas influenciam nas propriedades dos concretos, são elas: resistência mecânica, porosidade, absorção d'água, entre outras.

3.2.1 Água

A água cumpre um papel fundamental para produção do concreto de cimento Portland, pois ao reagir com o cimento transforma-o em

uma pasta trabalhável, facilitando o seu transporte, lançamento e adensamento. Diante disso, dois fatores chamam atenção para o uso correto da água de amassamento, a sua qualidade e a quantidade utilizada.

De acordo com Neville (2016), toda água potável pode ser utilizada para o amassamento. No entanto, deve-se ficar atento a NBR 15900:2009 que prescreve que a água destinada ao amassamento do concreto deverá ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas. Pode-se citar como substâncias nocivas: Sulfatos, Cloretos, Matéria orgânica e Materiais sólidos.

Além de avaliar a qualidade da água, segundo Petrucci (1998) o excesso de água na produção do concreto de cimento Portland é um dos fatores que oferece maior risco e prejuízo. Tal fato ocorre devido ao excesso de vazios proporcionado pelo excesso de água, tornando a pasta menos resistente. Desse modo, a NBR 6118 (ABNT, 2014) limita a relação água/cimento, mediante uma correlação entre a qualidade do concreto e a classe de agressividade definida em projeto, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

3.2.2 Aditivos

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 1992), os aditivos são produtos que podem ser adicionados, ainda na fase de amassamento do concreto de cimento Portland, com o objetivo de modificar ou melhorar

suas propriedades, a depender da sua aplicação ou necessidade. Pode-se perceber que o uso de aditivos, adicionados ainda no estado fresco do concreto, apresenta repercussões no estado endurecido. Dessa forma, sua correta utilização potencializa, amplifica e favorece a empregabilidade do concreto.

França (2004) destaca que o uso de aditivos no concreto de cimento Portland pode ser justificado para: Aumentar a durabilidade, resistência a ações físicas e mecânicas, evitar segregação, melhorar a trabalhabilidade, pega e o endurecimento, dentre outros.

É notório os benefícios que os aditivos, se usados de maneira correta, podem proporcionar ao concreto. Entretanto, deve-se ter atenção ao item 5.2.2.4 da NBR 12655:2015, onde a norma destaca que não é permitido o uso de aditivos contendo cloretos em sua composição em estruturas de concreto armado e protendido.

3.3 Tipos de Concreto

Atualmente, a depender do tipo, exigência e característica da edificação, há uma variedade de concretos que podem ser utilizados. Apesar da dificuldade de se listar todos os tipos de concreto disponíveis atualmente, Ambrozewicz (2012) apresenta uma lista contendo os tipos de concreto mais utilizados, são eles:

- Concreto convencional;
- Concreto de alto desempenho;
- Concreto bombeável;
- Concreto de alta resistência inicial;
- Concreto de pavimento rígido, concreto pesado;
- Concreto projetado;
- Concreto leve estrutural;
- Concreto leve, concreto fluido;
- Concreto rolado, concreto colorido;

- Concreto resfriado com gelo;
- Concreto autoadensável;
- Concreto com adição de fibras;
- Concreto impermeável;
- Concreto sem finos.

De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015), temos a classificação do concreto conforme a sua massa específica e sua resistência à compressão. Diante disso, temos a seguinte classificação, quanto a:

Massa específica:

- Concreto Normal (C): Massa específica seca compreendida entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 .
- Concreto Leve (CL): Massa específica seca inferior a 2000 kg/m^3 .
- Concreto Pesado ou Denso (CD): Massa específica seca superior a 2800 kg/m^3 .

Resistência à compressão:

- Grupo I: Classe de resistência entre 20 MPa a 50 MPa.
- Grupo II: Classe de resistência superior a 50 MPa.
- Concretos com classe de resistência inferior 20 MPa não devem ser utilizados para funções estruturais.

Vale salientar que, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), caso a massa específica real não for conhecida, para efeito de cálculo, pode-se adotar para o concreto simples o valor 2400 kg/m^3 e para o concreto armado, 2500 kg/m^3 . Além disso, a NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta a definição para os concretos estruturais, separando-os entre: concreto simples, armado e protendido. A seguir será exposto as definições destes elementos, de acordo com a norma.

Elementos estruturais executados utilizando concretos simples são aqueles que não apresentam qualquer tipo de armadura, ou que não possuem em quantidade suficiente para serem consideradas concreto armado. Além disso, entre as aplicações dos concretos simples, segundo Botelho (2006), temos: construção de tubulações, cimento de pisos, blocos de concreto etc.

No caso do concreto armado, o seu comportamento estrutural depende da aderência entre o concreto e armadura, ou seja, a armadura, dita passiva, passa a ser solicitada mediante a deformação do concreto. Diante disso, não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

Por fim, o concreto protendido é aquele, no qual, parte das armaduras é previamente alongadas por equipamentos especiais, geralmente macacos hidráulicos. O objetivo dessa técnica é limitar ou impedir a fissuração, assim como o deslocamento da edificação. Dessa forma, as armaduras são nomeadas de armaduras ativas devido ao pré-alongamento inicial.

3.4 Durabilidade das estruturas de Concreto Armado

O conceito de durabilidade das estruturas de concreto vem sendo amplamente discutido nos últimos anos. A preocupação pelo tema pode ser observada entre autores como Ripper e Souza (1998), Neville (2016), Ferreira (2022), além das normas NBR 15575:2013, NBR 6118:2014 e do American Concrete Institute (ACI).

Diante disso, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade pode ser considerada a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e determinadas, no estágio inicial da elaboração do projeto, pelo autor e pelo contratante. Ademais, segundo a mesma norma, a estrutura deve ser projetada de modo que, sob as condições ambientais previstas no período do projeto e quando utilizada condizente com o preconizado em projeto, conserve sua segurança, estabilidade, aparência e aptidão em serviço durante o tempo correspondente à sua vida útil.

O relatório do American Concrete Institute, Comitê 201 (ACI, 2001) apresenta um conceito semelhante de durabilidade comparado com a NBR 6118:2014. No entanto, o relatório acrescenta e detalha que

as estruturas de concreto devem apresentar a capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração.

Seguindo essa lógica, Vilasboas (2013) evidencia que o estudo da durabilidade deve ser realizado mediante a análise da agressividade ambiental, ou seja, deve-se avaliar de que maneira os líquidos e gases do ar atmosférico e/ou o solo podem impactar a estrutura. Em consonância, é preciso levar em consideração a qualidade do concreto e da estrutura, além do somatório desses dois fatores, avaliando o desempenho durante a etapa de uso.

A qualidade do concreto passa pela correta determinação dos seus componentes, assim como pela definição adequada de sua dosagem e de sua execução. Nessa perspectiva, Alves (2007) afirma que entre os constituintes do concreto, o tipo de aglomerante e a relação água/cimento, além do grau de hidratação do cimento, traço e a etapa de cura, são os parâmetros que afetam de forma considerável a durabilidade da estrutura.

Tal afirmativa considera que os critérios listados estão diretamente associados a absorção capilar de água, de permeabilidade, de migração de íons, difusividade de água e de gases, além das características mecânicas, resistência à tração e compressão, módulo de elasticidade e abrasão. É válido ressaltar, conforme Metha e Monteiro (2014), que a etapa de lançamento e adensamento do concreto devem ser realizadas de forma a evitar a sua segregação. Diante disso, lista-se alguns dos principais erros na etapa de execução que contribuem com a segregação do concreto:

- Fôrmas não estanques, pois nata de cimento tende a escorrer.
- Vibração insuficiente, principalmente quando é feito de forma manual.
- Excesso de água na dosagem do traço
- Erros de detalhamento, armaduras que impedem a passagem do agregado.
- Excesso de vibração do concreto, principalmente quando se utiliza o vibrador de imersão.
- Alturas de lançamento do concreto superiores a 2,0 metros

Percebe-se que há uma similaridade no pensamento dos autores citados anteriormente. Desse modo, para sintetizar os requisitos de qualidade das estruturas de concreto ao longo de sua construção e vida útil, apresenta-se os três parâmetros definidos pela NBR 6118:2014, são eles: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade.

É notório que a garantia das condições de durabilidade propicia uma maior vida útil as estruturas de concreto. Por conta disso, deve ser entendida e avaliada de maneira holística, cautelosa e sistemática (VILASBOAS, 2013). Em outras palavras, conceber uma estrutura durável é considerar o resultado da interação e compatibilização de todos os estágios envolvidos no processo construtivo, sendo: concepção, planejamento, projeto, definição de materiais e componentes, execução da obra e fase de uso da estrutura.

A NBR 15575:2021, conhecida como norma de desempenho, apresenta dois critérios de durabilidade, a vida útil (VU) e a vida útil de projeto (VUP). O primeiro termo refere-se ao período em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetadas e construídas, sem a necessidade de intervenções não programadas, atendendo aos níveis de desempenho de uso, operação e manutenção, previsto na norma de desempenho.

Em nota, a norma de desempenho apresenta uma relação normalmente utilizada entre durabilidade e vida útil: “O termo durabilidade é comumente utilizado como qualitativo para expressar a condição em que a edificação ou seus sistemas mantêm seu desempenho requerido durante a vida útil” (ABNT NBR 15575:2021, p. 21).

Em relação a vida útil de projeto, esta pode ser considerada como o período estimado para o qual um sistema é projetado, com o objetivo de atender aos parâmetros pré-estabelecidos em projeto. Vale destacar que a Vida útil de projeto não está relacionada apenas à durabilidade, mas de forma indireta, também pode ser correlacionada com a qualidade dos materiais empregados na obra (HELENE; BOLINA; TUTIKIAN, 2019).

Nessa perspectiva, a VUP é considerada uma estimativa teórica do tempo que compõe o tempo de vida útil, tendo sempre o risco de não ser atingida. Por conta disso, Helene, Bolina e Tutikian (2019), destacam que para VUP ser alcançada os sistemas precisam estar em constante análise durante a fase de uso, visando detectar possíveis erros não visto

na etapa de projeto e/ou execução ou por problemas relacionados a fatores ambientais, mudanças no entorno da obra etc.

A norma de desempenho estabelece, de forma clara, exigências concernentes a especificações de projeto de forma que seja possível analisar a VUP e a durabilidade do edifício e seus sistemas. Desse modo, o projeto e as documentações previstas para construção devem conter as condições de exposição da estrutura, especificações alusivas à manutenção, uso e operação da edificação e outros itens que foram considerados para o cálculo da Vida útil de projeto (ABNT NBR 15575:2021).

Mediante análise da NBR 6118:2014, percebe-se que apesar de todos os parâmetros admitidos, desde sua versão de 2003, visando a garantia da durabilidade das estruturas de concreto, Helene, Bolina e Tutikian (2019) afirmam que há uma lacuna na norma a ser preenchida. Por conseguinte, os autores, demonstram que a NBR 6118:2014 não especifica por quanto tempo a estrutura deve atender as exigências mínimas admitidas em projeto, ou seja, uma vida útil mínima.

Diante disso, essa lacuna foi preenchida pela NBR 15575, em sua versão de 2013, onde a norma estabelece de maneira pioneira valores mínimos para vida útil de projeto a serem adotados em cada uma das etapas do ciclo de vida da edificação, em destaque para o valor de 50 anos exigido para estruturas, conforme a tabela abaixo:

Tabela 3 – Valores mínimos para Vida Útil de Projeto (VUP).

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50 (Conforme ABNT NBR 8681)
Pisos Internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20
* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.	

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2021).

A quantificação da VUP, por meio da NBR 15575:2013, foi um marco no Brasil, passando a se alinhar com normas e códigos internacionais. Verifica-se, de acordo com a tabela 4, a VUP mínima apresentada pela *BS 7543: guide to durability of Building elements, products and components* (BS, 2015) para o sistema estrutural das edificações, em função do seu tipo.

Tabela 4 - Quantificação da VUP segundo a Norma BS 7543.

Categoria	Período (anos)	Tipo de Edificação
1	≤ 10	Temporárias
2	≥ 10	Substituíveis
3	≥ 30	Edifícios industriais e reformas
4	≥ 60	Edifícios novos e reformas de edifícios de uso público
5	≥ 120	Obras de arte e edifícios públicos novos

Fonte: BS (2015).

3.4.1 Impactos econômicos frente a redução da durabilidades das estruturas.

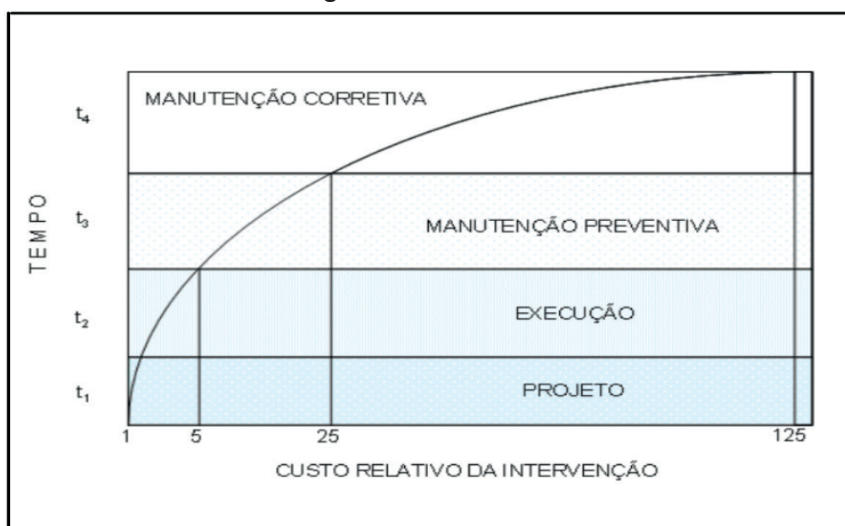
De acordo com Mehta e Monteiro (2008), quando um material, sob dadas condições, sofre uma deterioração de forma que o seu uso ou a continuação da sua utilização põe em risco seus usuários e/ou é considerado antieconômico, considera-se que este atingiu o fim de sua vida útil. Desse modo, percebe-se que quanto mais ações forem tomadas visando garantir a durabilidade da estrutura, maior será sua vida útil.

As consequências de uma durabilidade reduzida provocam, além do não cumprimento dos requisitos de segurança e conforto ao usuário, o aumento do consumo de materiais, geração de poluentes e despesas adicionais com reparos e manutenções da estrutura. Sendo assim, garantir a vida útil prolongada pode ser considerada uma boa solução para redução de impactos ambientais, economia de energia e

custos. Ao passo que, quanto mais cedo for identificado um problema na estrutura, mais fácil, efetiva e econômica será a sua solução (HELENE; BOLINA; TUTIKIAN, 2019).

Um parâmetro bastante utilizado até hoje, relacionado aos custos de intervenção na estrutura para proporcionar padrões de durabilidade e proteção aceitáveis, é a Lei de Sitter. Observa-se, com base na Lei dos 5 ou regra de Sitter, que os custos de intervenções crescem exponencialmente com o tempo decorrido desde a fase de projeto. Nesse sentido, a regra de Sitter permite acompanhar a evolução dos custos, comparando-a com uma progressão geométrica de razão 5.

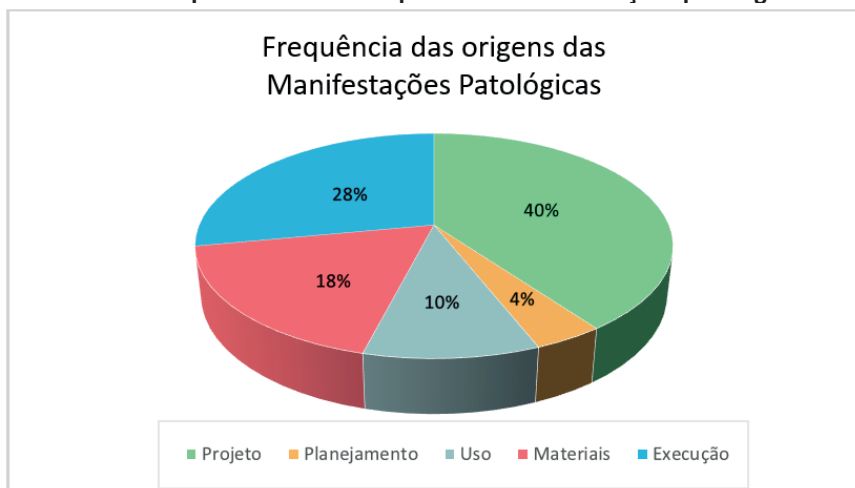
Figura 2 – Lei de Sitter.



Fonte: Sitter (1984).

De acordo com Helene (2007), conforme citado por Bolina, Helene e Tutikian (2019, p. 48), a etapa de projeto é a que mais origina manifestações patológicas, conforme o gráfico a seguir:

Gráfico 1 - Etapas com maior frequência de manifestações patológicas.



Fonte: Helene (2007).

Tal fato chama atenção, pois conforme demonstrado anteriormente, pela lei de Sitter, a etapa de projeto onera menores custos de intervenção. Sendo assim, buscar parâmetros, metodologias e formas de identificar erros nessa etapa podem ser um diferencial para diminuir os custos de uma obra, evitando que intervenções sejam realizadas na etapa de uso da estrutura.

3.5 A influência do Ambiente nas Estruturas de Concreto Armado

Ao se definir durabilidade, geralmente inclui-se uma referência ao ambiente, tendo em vista que uma estrutura pode ser durável sob um conjunto de condições e não apresentar este mesmo comportamento inserida em outra circunstância. Nesse sentido, a depender do meio de inserção da estrutura, diferentes especificações de projeto podem ser definidas de maneira que satisfaça os parâmetros de durabilidade das construções (HELENE; BOLINA; TUTIKIAN, 2019).).

VilasBoas (2013) afirma, por exemplo, que os fatores listados a seguir podem afetar de maneira considerável as propriedades tanto do concreto fresco quanto do concreto endurecido, são eles: zonas de agressividade marinha, temperatura, umidade relativa do ar, vento, agressividade da água e o vento.

Neste sentido, destaca-se a importância de conhecer o comportamento do concreto quando inserido em diferentes condições ambientais, sendo submetido à ação de processos destrutivos, ou seja, quando este é condicionado ao ataque de agentes agressivos. Com isso, pode-se apresentar medidas preventivas para serem utilizadas na fase de projeto e execução, visando respeitar as exigências de durabilidade impostas pelas normas brasileiras.

3.5.1 Zonas de agressividade marinha

Evidencia-se que em regiões costeiras há uma maior probabilidade de ocorrer o surgimento precoce de manifestações patológicas por conta, principalmente, da elevada concentração de íons cloreto, proporcionada pela formação, em zonas de quebra de ondas, e transporte, acarretado pelo vento, do aerossol marinho em direção à costa (ROMANO, 2009).

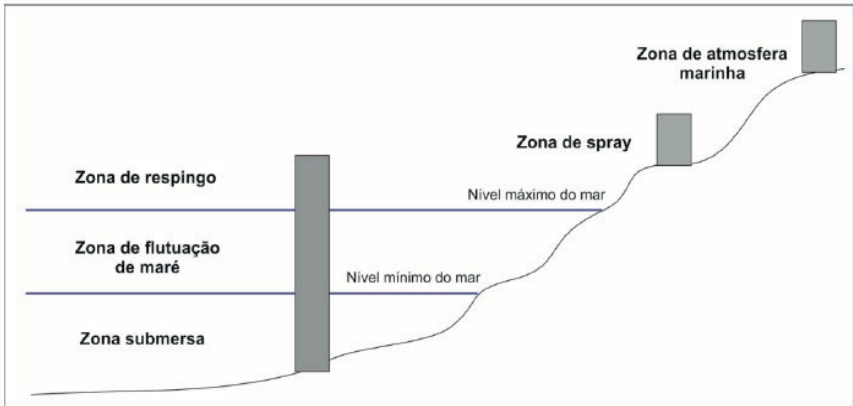
Segundo dados do DIN 4030 (1991) o Oceano Atlântico possui os seis íons mais abundantes da água do mar, possuindo um teor médio de sais de 3,5%. Além disso, o mesmo estudo identifica que o cloreto de sódio é o sal com maior porcentagem (78,32%) em relação ao total de sal identificado na composição da água do mar.

Nas zonas de quebra das ondas, há formação de bolhas de ar devido a agitação da água que podem vir se transformarem em gotículas de sal. Nesse sentido, de acordo com Romano (2009) as gotículas são transportadas para o continente pelo vento, carregando consigo partícula de sal e dando origem ao aerossol marinho.

Com o intuito de caracterizar o ambiente de atmosfera marinha, Borba Júnior (2011) afirma que os estes ambientes podem ser divididos em zonas de agressividade ao concreto, de acordo com o local em que a estrutura está inserida. A base desse conhecimento foi proposta ainda durante a década de 90, o intuito dessa caracterização era de melhorar o entendimento sobre o processo de penetração dos cloretos nas estruturas de concreto armado (FERREIRA, 2022).

Desse modo, de acordo com Ferreira (2022) a segmentação por zonas de agressividade considera a disponibilidade de oxigênio, agentes agressivos e umidade em contato com a estrutura de concreto armado, evidenciando de que forma ocorre transporte envolvido no processo. Swamy *et al.* (1994) classificam as zonas com atmosferas marinhas em cinco segmentos, conforme demonstra a figura abaixo:

Figura 3 – Zonas de Agressividade marinha.



Fonte: Meira (2002).

Zona submersa: Concretos inseridos nessa região permanecem sempre abaixo do nível da água do mar. Nessa zona, apesar da alta concentração de cloretos a corrosão não consegue se desenvolver por conta do baixo teor de oxigênio.

Zonas de flutuação de maré: Esse ambiente é caracterizado pelos ciclos de molhagem e secagem impostos ao concreto, devido a variação das marés. Diferente da Zona submersa, nessa região ocorre uma alta concentração de cloretos e presença de oxigênio. Assim, é considerada a zona mais agressiva.

Zona de respingo: Essa zona está localizada acima do nível do mar, ou seja, não há momentos em que a estrutura está imersa. Assim, nessa região o concreto sofre influência dos respingos de água do mar devido ao vento e as movimentações das marés.

Zona de Spray: Estruturas localizadas nessa região tendem a ter contato com respingos de marés apenas em casos de ventos fortes, ou seja, há uma alternância entre zona de solo e de respingo a depender da velocidade dos ventos.

Zona de solo ou de atmosfera marinha: Nessa região, a superfície de exposição das estruturas está localizada em uma faixa de 10 a 20 metros de distância ao mar. Diante disso, há presença da ação do aerossol marinho.

Segundo Ferreira (2022), dentre as zonas de agressividade marinha, a zona de flutuação de maré é considerada a região mais danosa para as estruturas de concreto armado. Estruturas inseridas nessa zona estão constantemente submetidas a ciclos de molhagem e secagem, tal fato eleva a intensidade de penetração de cloretos, pois proporciona, de maneira simultânea, o transporte de agentes agressivos (absorção capilar e difusão iônica). Além disso, outro fator que contribui para o ingresso de substâncias nocivas, é a ação física de choques das ondas com a superfície das construções, ocorrendo o efeito de lascamento do concreto.

3.5.2 Distância em relação ao mar

Percebe-se, conforme as literaturas, que os ambientes mais próximos da costa apresentam maiores riscos para estruturas de concreto em relação a deposição de íons cloreto. Nessa perspectiva, os estudos de Borba Júnior (2011) apresentam um conceito relacionado a essa premissa, em que à medida que há um afastamento da distância em relação ao mar, a concentração salina diminui.

De acordo com Gustafsson e Franzén (1996), apud Borba Júnior (2011), ao longo do tempo as partículas transportadas na névoa salina em direção ao continente vão perdendo altitude e se depositam nos obstáculos encontrados no caminho, principalmente as partículas maiores e mais pesadas, sendo estas as que possuem maior concentração de cloretos. Nesse caso, a velocidade do vento é uma variável que influencia diretamente no transporte dessas partículas, fazendo com que elas possam ser carregadas a distâncias maiores, apesar de o efeito gravimétrico ser dominante (CAMPOS, 2016).

Estudo feitos no Brasil e em outros países, demonstram a influência da distância em relação ao mar na concentração de cloretos. Segundo Campos (2016), todas essas pesquisas apontam para um decréscimo exponencial após os primeiros 200 metros de distância do mar, tal fato será analisado nos resultados obtidos nessa pesquisa.

3.5.3 Velocidade e direção dos ventos

Borba Junior (2011) afirma que a relação velocidade do vento e concentração de cloretos na atmosfera são diretamente proporcionais. Pois, a ação do vento possui forte influência na formação do aerossol marinho, devido à agitação do mar e o choque contínuo entre ondas e/ou a costa. Assim, à medida que a velocidade do vento aumenta, ocorre um aumento da quantidade de partículas no aerossol e a formação de partículas maiores.

Por conseguinte, Meira *et al.* (2008), evidencia que as partículas maiores representam uma parcela significativa da concentração salina. No entanto, durante o transporte da névoa salina, as partículas tendem a não percorrer grandes distâncias, devido ao efeito gravitacional.

Além disso, a velocidade do vento e sua direção também influenciam, de acordo com Morcillo *et al.* (2000), no transporte do aerossol marinho para o interior do continente. Nessa perspectiva, ventos oriundos do mar e com velocidade elevada fazem com que as partículas presentes na névoa salina, até mesmo as de maiores dimensões, percorram grandes distâncias (MEIRA *et al.*, 2008).

A definição de uma velocidade crítica, ou seja, um determinado valor de velocidade no qual, caso seja superado ou alcançado, proporcione um aumento da concentração de cloretos na névoa salina e o transporte para distâncias maiores, não é um consenso entre os autores que estudam a temática (MEIRA *et al.*, 2008). Logo, podemos verificar no quadro abaixo valores para velocidade crítica, de acordo com alguns autores.

Quadro 1 – Valores de velocidade crítica.

Autor (es)	Velocidade Crítica
Meira et al. (2008)	> 3 m/s
Swatekititham (2004)	
Morcillo et al. (2000)	
O’Dowd et al. (1996)	
Fitzgerald (1991)	
Piazzola e Despiou (1997)	5 m/s
Spiel e Leew (1996)	7-10 m/s
Feliu et al. (1999)	10 m/s

Fonte: Ferreira (2022).

3.5.4 Temperatura

Estudar a variável temperatura é importante, pois de acordo com Vitali (2013) a velocidade de transporte de cloretos no concreto é agilizada mediante altas temperaturas. Desse modo, à medida que há um aumento da temperatura, ocorre um aumento do teor de íons cloreto livres na água dos poros, devido, principalmente, ao aumento da cinética das reações químicas que acontecem no interior do concreto. Assim, caso a estrutura já apresente sinais de corrosão, um aumento da temperatura irá proporcionar a velocidade desse processo.

Além disso, Vilasboas (2013) destaca decréscimo da temperatura pode promover condensações que freiam o processo de corrosão. O autor ainda conclui que o Brasil por possuir ambientes tropicais e equatoriais, apresenta condições de agressividade ambiental propícia para corrosão maiores que os climas do norte da Europa.

3.5.5 Umidade relativa

A umidade relativa é uma variável que está diretamente associado ao transporte de íons no concreto. Desse modo, em seus estudos Cole *et al.* (2003) ilustra que na faixa de 50-70% a umidade relativa influencia na concentração de sal das partículas contidas na névoa salina, aumentando o seu tamanho. Zezza e Macri (1995) demonstram que para uma umidade relativa superior a 70%, as partículas de aerossol se depositam como partículas sólidas de solução salina.

Outros autores como Silva (2007) e Meira (2017), apresentaram taxas ideais para que o processo de corrosão possa ocorrer. Para o primeiro autor, a taxa ideal deve ser entre (50 a 75%), enquanto para o segundo esse valor está entre (50 a 80)%.

3.5.6 Efeito blindagem ou Barreira

Regiões com a presença de obstáculos, como edifícios, morros e vegetações, podem ter uma parcela de contribuição na diminuição da concentração de cloretos, pois criam uma barreira de proteção (GARCIA, 2008). Tal efeito é conhecido, de acordo com LIU *et al.*, (2018), como efeito blindagem. O autor em questões, verificou em seus estudos na China, que para estruturas que possuíam um bloqueio no seu entorno houve uma diminuição de 50% da concentração de cloretos, comparados com condições de não bloqueio ou bloqueio parcial. Desse modo, percebe-se a importância dessa variável no desenvolvimento de pesquisas que visam determina o teor de cloretos em uma região.

3.6 Parâmetros normativos de agressividade ambiental

Observa-se, por tanto, que o meio exerce grande influência sobre a durabilidade e vida útil das estruturas. Tal afirmativa se sustenta por meio da NBR 6118:2014, onde a norma apresenta uma correlação do ambiente de inserção da estrutura e a agressividade ambiental com critérios de projeto. Desse modo, a NBR 6118:2014 separa o ambiente em classes de agressividade ambiental, conforme o demonstra o quadro.

Quadro 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA).

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

¹Pode-se admitir um microclima com classe de agressividade um nível mais brando para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

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

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

Fonte: NRB 6118 (ABNT, 2014).

Após a definição da classe de agressividade ambiental é possível definir especificações de projeto alusivos a qualidade do concreto. Assim, com base no apresentado no Quadro 3, temos três requisitos diretamente associado a CAA, são eles: relação água/cimento, classe de concreto, consumo de cimento.

Nota-se, com base no quadro retirado da NBR 12655 (2015), que quanto maior for a agressividade do meio, menor é a relação água/cimento e maior a resistência mínima de projeto. Nessa perspectiva, tal correspondência busca reduzir a difusividade e porosidade do concreto, visando torná-lo menos vulnerável ao ingresso e à percolação de substâncias agressivas no seu interior (HELENE; BOLINA; TUTIKIAN, 2019, p. 69).

Quadro 3 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Tipo de Edificação			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de Concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m ³	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado.					
CP Componentes e elementos estruturais de protendido.					

Fonte: NRB 12655 (ABNT, 2015).

Além desses parâmetros, a NBR 6118:2014 prevê a necessidade de serem respeitados os cobrimentos nominais mínimos. Vale destacar que o cobrimento é a distância entre a superfície da armadura externa, geralmente a superfície da armadura de cisalhamento (estribo), e a face externa do elemento de concreto. Assim, a adoção correta deste critério proporciona uma barreira de proteção física contra agentes agressivos (HELENE, 2011).

O Quadro 4 apresenta a correspondência entre classe de agressividade ambiental com os valores dos cobrimentos reais para cada tipo de elemento estrutural e tipo de estrutura. Os valores apresentados são acrescidos com uma tolerância de execução de 10 mm. A tolerância em questão é considerada uma margem de erro aceitável para uma execução convencional, caso a obra tenha um bom controle de qualidade ou esteja utilizando elementos pré-fabricados, pode-se reduzir essa tolerância.

Quadro 4 – Classes de Agressividade Ambiental (CAA).

Tipo de Estrutura	Componente ou Elemento	Classe de Agressividade Ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento Nominal (mm)			
Concreto Armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto Protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

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

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitando um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

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

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NRB 6118 (ABNT, 2014).

O estudo da agressividade do ar tem como objetivo entender e conhecer o comportamento das estruturas, assim como seus materiais componentes, quando expostos a agentes externos agressivos, de maneira que medidas paliativas de proteção possam ser tomadas, a fim de garantir a durabilidade das estruturas (BRANDÃO, 1998).

Diante disso, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos, principalmente em capitais litorâneas, com o objetivo de quantificar o teor de cloretos no ar atmosférico destas regiões. Apesar das particularidades que cada pesquisa apresenta, podemos citar os trabalhos de:

- Sica (2006) - São Luís/MA
- Pontes (2006) - Recife/PE
- Alves (2007) - Maceió/AL
- VilasBoas (2013) - Salvador/BA
- Borba Júnior (2011) - Vitória/ES
- Campos (2016) – Fortaleza/CE
- Prata (2018) – Aracaju/SE
- Vitalli (2013) - São Francisco do Sul/SC
- Garcia (2008) - Florianópolis/SC

Em regiões onde não há um estudo adequado do ambiente onde a estrutura estará inserida, pode haver erros na escolha da classe de agressividade, levando a um dimensionamento inadequado. Esses erros podem comprometer a segurança, durabilidade e vida útil, além de fatores econômicos, tendo em vista possíveis superdimensionamentos ou futuros reparos. Nesse sentido, é preciso uma análise criteriosa do local onde a estrutura será implementada para que os projetistas consigam determinar com maior precisão a classe de agressividade do projeto e os parâmetros associados a ela.

3.7 Fatores que causam degradação das estruturas de Concreto Armado

O item 6.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014), apresenta os mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto, dividindo-os em causas relativas ao concreto e às armaduras.

Em relação ao concreto, a norma cita a Lixiviação, Expansão por Sulfato e Reação Álcali-Agregado. Ademais, referente à armadura, temos despassivação por carbonatação e despassivação por ação de cloretos. Nesse sentido, devido a importância do estudo do ataque por cloretos na estrutura para a pesquisa, esse tema será abordado com mais profundidade.

A corrosão de armaduras é considerada um dos mecanismos de degradação mais recorrentes em estruturas de concreto armado, sendo, por tanto, responsável pela maioria dos danos causados nessas estruturas (CABRAL, 2014). Tais danos se manifestam na estrutura, segundo Ribeiro *et al.* (2014), por meio de manchas superficiais, fissuras, destacamento do concreto, redução da seção da armadura e conseqüentemente, redução da aderência.

Ribeiro *et al.* (2014) afirma que em ambientes marinhos a velocidade de corrosão pode ser até 40 vezes maior comparada à uma atmosfera rural. Nesse sentido, a presença de cloretos na atmosfera forma um ambiente agressivo ao concreto, pois ao penetrarem em sua superfície são transportados através dos mecanismos de penetração de água e transporte de íons (permeabilidade, difusão iônica, migração iônica e absorção capilar) para o seu interior até atingirem a armadura.

Diante do exposto, é possível observar a importância da utilização de um concreto de qualidade, seguindo todas as referências normativas, tendo em vista que o concreto faz a proteção do aço contra a corrosão. Segundo Helene, Bolina e Tutikian (2019), essa proteção ocorre de duas maneiras: envolvendo-o em uma barreira física, impedindo o contato direto do metal com os agentes agressivos e garantido proteção química, por conta da formação de sua camada passivadora que protege o aço.

De acordo com Bohni (2005 apud TORRES, 2011), um dos fatores que propicia o processo da corrosão de armaduras é o rompimento da sua camada passivadora, podendo ocorrer mediante a carbonatação do concreto ou pela presença de íons cloretos no ambiente. Nessa perspectiva, o enfoque da pesquisa é direcionado ao ataque de íons cloreto, sendo, segundo Pereira (2001) os agentes mais problemáticos no processo de corrosão de armaduras, podendo atingir rapidamente

as armaduras do concreto armado, reduzindo consideravelmente sua vida útil.

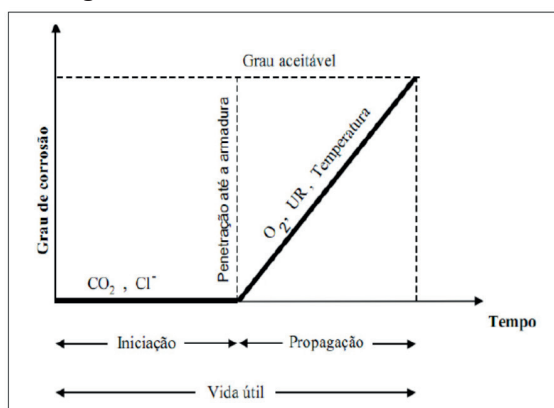
Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a ação de íons cloreto, diferente da carbonatação, conseguem despassivar a armadura mesmo estando diante de um pH elevado. Assim, o autor complementa que a presença de cloretos faz com que o concreto consiga absorver mais umidade, proporcionando um ambiente favorável para a corrosão, pois há uma diminuição da resistividade elétrica.

Fusco (2012, p.56) afirmam que “os íons cloreto (Cl^-) originários da água do mar podem penetrar no interior da massa de concreto por difusão da água contida nos poros total ou parcialmente saturados”. Diante disso, os íons conseguem dissolver a camada protetora de óxido de ferro presente nas armaduras de aço. Tal fato desencadeia uma reação anódica que gera íons Fe^{++} , despreendendo-os da armadura.

Desse modo, os íons cloreto atuam como catalisadores da reação ao solubilizar os íons Fe^{++} . Durante as reações envolvidas nesse processo, os íons cloreto não são consumidos, fato este que acelera ainda mais o processo da corrosão (FUSCO, 2012).

Em relação a vida útil do concreto armado, do ponto de vista da corrosão das armaduras, Tuutti (1982) separa em duas fases. A primeira, denominada, iniciação, é referente ao tempo necessário para que agentes agressivos, geralmente, cloretos e dióxido de carbono, penetrem no concreto até alcançarem as armaduras. A segunda, por sua vez, é iniciada depois da despassivação do aço, sendo o instante em que a corrosão se instala por toda estrutura.

Figura 4 – Modelo de vida útil de Tuutti.



Fonte: Tuutti (198) *apud* Campos (2016).

Segundo Helene, Bolina e Tutikian (2019), a etapa final de propagação da corrosão ocorre através do teor de oxigênio, da umidade relativa do ambiente ao redor do metal e da resistividade do material. Além disso, os autores confirmam, conforme Tuutti (1982), que as condições nas quais a estrutura está exposta que proporcionam a entrada de agentes agressivos no interior do material concreto, destacando que isso ocorre até o instante de despassivação das armaduras.

A partir do momento que a há despassivação da barra, os instrumentos de velocidade de corrosão cinética passam a serem influenciados pela porcentagem de oxigênio, pela umidade relativa do ar e pela temperatura do entorno.

3.7.1 Identificação de manifestações patológica decorrentes da corrosão de armaduras

A inspeção de uma estrutura realizada por um profissional qualificado, de acordo com Helene, Bolina e Tutikian (2019), define o estado de segurança do elemento de análise, podendo evitar desastres. Nesse sentido, esse procedimento deve ser realizado de maneira assertiva, buscando identificar as origens do problema e os “sintomas” ou manifestações patológicas que a estrutura possui.

Diante disso, teremos nessa seção o foco nas manifestações patológicas que surgem nos elementos estruturais devido a corrosão de armadura.

Segundo Helene, Bolina e Tutikian (2019), as manifestações patológicas associadas a corrosão de armaduras, estão, geralmente, associadas a alta agressividade do meio ambiente de inserção da estrutura, escolha de parâmetros inadequados para o concreto em relação ao meio, má execução, cobrimento nominal especificado insuficiente e porosidade do concreto. Nesse sentido, os autores apresentam possíveis “sintomas” demonstrados pela estrutura que estão relacionados a corrosão, são eles:

- Fissuras e trincas paralelas às armaduras;
- Deslocamento;
- Manchas marrom-avermelhadas na superfície do concreto.

A seguir apresenta-se exemplos de manifestações patológicas causadas devido a corrosão de armaduras. Vale ressaltar que estes indicativos serviram de parâmetro para avaliação de postes em concreto armado na região do estudo proposto.

Figura 5 – Exemplo de Trinca paralela à armadura em pilar.



Fonte: Autor (2022).

Figura 6 – Exemplo de deslocamento da armadura em pilar.



Fonte: Autor (2022).

4 METODOLOGIA

O estudo se caracteriza como uma pesquisa qualitativa e quantitativa, uma vez que, segundo Knechtel (2014) quando um pesquisador se interessa por dimensionar, avaliar determinada aplicação de uma técnica ou ainda introduzir uma variável, ele recorre ao estudo quantitativo. Ao passo que, se deseja observar o fenômeno, buscando entendê-lo de forma completa e integral, o pesquisador recorre à pesquisa qualitativa.

Para melhor compreensão, enumerou-se os procedimentos metodológicos que foram realizados nessa pesquisa:

- Levantamento Bibliográfico;
- Delimitação da área, analisando as regiões que são viáveis para o desenvolvimento da pesquisa;
- Definição dos pontos de coletas;
- Preparo dos materiais e componentes do ensaio de vela úmida;
- Instalação da vela úmida;
- Análise de dados;
- Caracterização da região e elaboração de um mapa de agressividade ambiental;
- Identificação de manifestações patológicas em postes inseridos na área de estudo;

Nessa perspectiva, inicialmente foi feito um levantamento bibliográfico para compreender as variáveis que influenciam no fenômeno analisado. Posteriormente, com base nas referências utilizadas, analisou-se os dados coletados em campo para elaboração de um mapa caracterizando a classe de agressividade da região de estudo. Por fim, identificou-se na região de estudo, poste em concreto armado que apresentavam sinais de corrosão, visando entender a correlação deste mecanismo com a localização geográfica dos postes.

4.1 Delimitação da área de estudo

A cidade de São Luís por ser localizada em uma região entre o semi-árido nordestino e tropical úmido da Amazônia, apresenta temperatura média anual de 27°C. Segundo MORCILLO *et al* (2000), o município de São Luís apresenta duas estações definidas: período de chuva (janeiro a junho) e período de estiagem (julho a dezembro).

A localização dos pontos de análise de dados na cidade de São Luís - MA pelo ensaio de vela úmida foi definida com base no forte vetor de crescimento econômico e populacional na sua porção norte, sendo os seus extremos Noroeste e Nordeste as regiões com maior movimentação da construção civil.

O processo de verticalização da região do Renascença em São Luís - MA, segundo Leite (2008), começou de maneira lenta e gradual ainda na década de 80 com os primeiros edifícios. A partir do final dos anos 90 com a instalação de shoppings e mudanças realizadas na infraestrutura da região houve uma “febre” desenfreada de edifícios residências e comerciais, inicialmente com doze pavimentos e posteriormente com quinze pavimentos (gabarito máximo permitido pela legislação do município). Por meio da Figura 7 é possível verificar processo de verticalização citado.

Figura 7 - Prédios da Orla de São Luís - MA.



Fonte: The Geographic World (2020).

Evidencia-se que, os bairros da Ponta d'areia e o Jardim Renascença apresentam elevados índices de verticalização das construções em função da alta especulação imobiliária ocorrida nas últimas duas décadas. Diante disso, há uma preocupação constante nessas regiões com o surgimento precoce de manifestações patológicas nas estruturas de concreto, levando a necessidade de estudos relacionados a deposição de íons cloretos nessas áreas, principalmente em se tratando de regiões com alto valor agregado do metro quadrado.

4.1.2 Pontos de coleta de dados (Estações)

Buscou-se, por meio das literaturas, avaliar a variação da concentração de íons cloreto à medida que ocorre um afastamento em relação ao mar, distanciando os pontos de coleta de forma gradativa. Sendo assim, verificou-se a distância das estações de análise para o mar, tendo sido encontrado, aproximadamente, as seguintes distâncias:

- Estação A: 100 metros
- Estação B: 250 metros
- Estação C: 800 metros
- Estação D: 1700 metros

A Figura 8 demonstra a localização exata das estações de coleta de dados do ensaio de vela úmida escolhidos.

Figura 8 – Estações de coleta de dados.



Fonte: Autor (2022).

Além disso, uma vela úmida foi preparada e guardada em um armário disponibilizado pela CONSPEQ para realização do ensaio em Branco, permanecendo 28 dias guardada, sem ser exposta as condições ambientes das outras 4 estações de coleta. O ensaio em Branco serve de referência na determinação de íons cloro para os demais ensaios.

Por meio do aplicativo MapNotes obteve-se as coordenadas das quatro estações de análise do ensaio (A, B, C e D), conforme apresentado na Quadro 5.

Quadro 5 – Coordenadas e Altitude das Estações.

Coordenadas das Estações			
Ponto	Latitude	Longitude	Altitude
A	-2,488073	-44,296058	13,69
B	-2,489343	-44,296329	19,56
C	-2,494829	-44,290810	24,42
D	-2.503140	-44.286517	19,42

Fonte: Autor (2022).

O fator econômico foi preponderante para a definição do número de estações e para o período de desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, a tendência seria de utilizar 10 pontos para coleta de dados em um período de 6 meses, porém alguns obstáculos impediram esse procedimento.

O primeiro entrave foi a quantidade insuficiente de reagentes disponibilizados pelo Laboratório de Química da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), local onde inicialmente estava previsto para preparação e análise dos resultados. A falta de reagentes foi justificada por conta da pandemia, onde os laboratórios tiveram uma redução dos pedidos e reabastecimento dos seus reagentes.

Por conta disso, o autor, juntamente com o orientador tiveram que buscar outras referências para obtenção desses dados. Nesse mesmo período o Laboratório de Química da UEMA entrou em reforma, o que impossibilitou qualquer tentativa de análise e preparação das velas úmidas no local.

Sendo assim, houve a necessidade de buscar parceira/consultoria com a CONSPEQ, visando auxílio para manipulação dos reagentes, montagem dos ensaios e para utilização do laboratório de Química da UFMA. Durante esse período, o autor se reuniu semanalmente com os membros da empresa júnior para explicar os objetivos da pesquisa, bem como a metodologia de preparo das velas úmidas. Nessas reuniões também foram explanadas as metodologias de determinação de cloretos em água glicerinada e os reagentes utilizados em cada uma delas.

Destaca-se que todo material utilizado para montagem e análise do ensaio de vela úmida foi custeado pelo autor, onde foi necessário comprar materiais e reagentes que não estavam disponíveis nos laboratórios da UEMA e da UFMA, como por exemplo: Erlenmeyer, Tubos de ensaio, Luvas de PVC, Água glicerinada e Ácido Octanóico. Assim, o custo de todos os materiais e reagentes, acrescidos do valor pago a CONSPEQ pela consultoria, tornou a locação de mais pontos de coleta de dados inviável.

4.2 Ensaio de Vela úmida

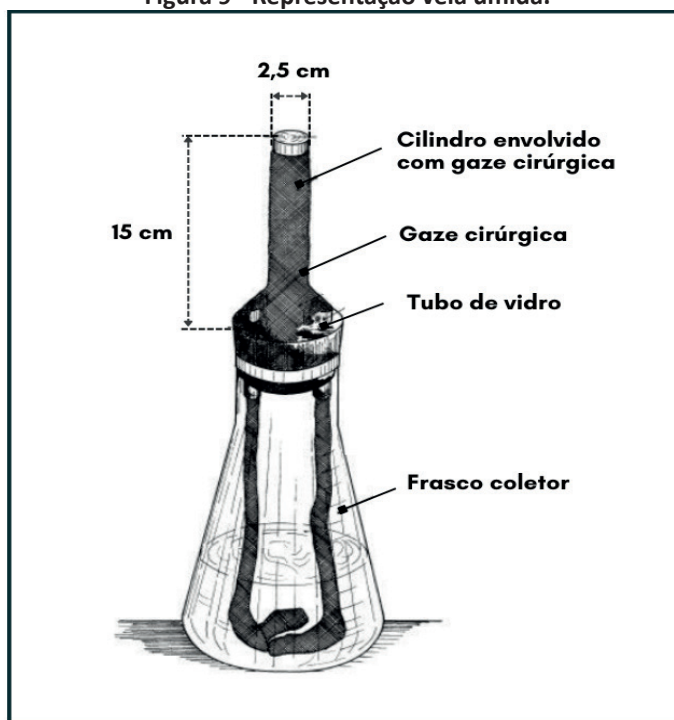
A concentração de íons cloro presente no ar atmosférico da região analisada foi determinada através do ensaio de vela úmida

proposto pela NBR 6211:2001. Esse ensaio consiste em um cilindro envolvido com uma dupla camada de gaze cirúrgica fixado a um frasco coletor, sendo que a área da superfície da gaze exposta à atmosfera deve ser de aproximadamente 100 cm² e o cilindro deve ter, no mínimo, 15 cm a partir do material de vedação.

Nesse sentido, a vedação deve ser feita com material inerte, possuindo dois tubos de ensaio próximos ao cilindro, por onde devem passar as extremidades da gaze até atingir o fundo do Erlenmeyer. É imprescindível que os tubos tenham um diâmetro adequado para que seja possível drenar o líquido que entrar em contato com a gaze para o frasco coletor, por meio do processo de difusão.

Além disso, a NBR 6211:2001 sugere que o frasco coletor tenha, no mínimo, 800 ml de capacidade e seja de material inerte, vidro ou polietileno. Por meio da Figura 9 é possível observar a representação do ensaio de vela úmida.

Figura 9 - Representação vela úmida.



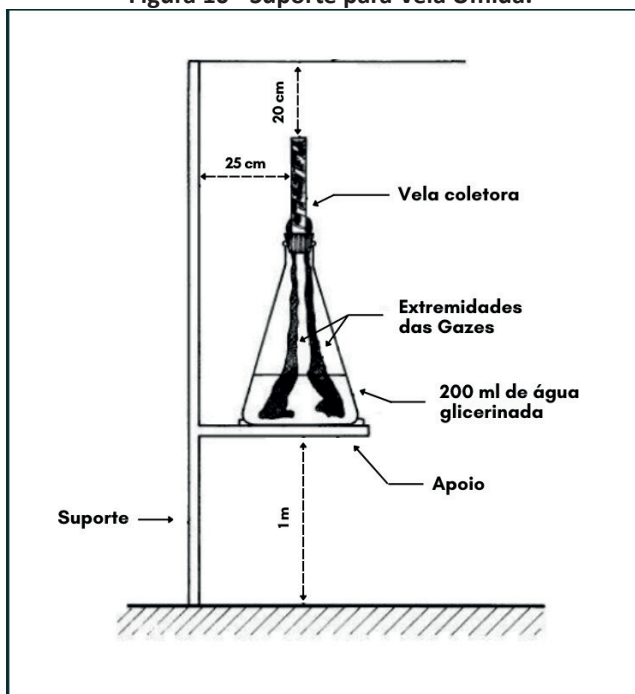
Fonte: NRB 6211 (ABNT, 2001).

4.2.1 Suporte para o ensaio de vela úmida

Segundo a NBR 6211:2001, é estritamente necessário que o ensaio de vela úmida seja instalado em um suporte adequado, seguindo as diretrizes da norma. Desse modo, a vela úmida deve possuir um suporte de sustentação que esteja, no mínimo, a 1 metro acima do nível do solo e em uma posição superior aos obstáculos situados num raio de 3 metros.

Além disso, é preciso que o equipamento seja protegido, tendo, portanto, que está sob uma cobertura de material opaco e inerte com dimensões mínima de 50cm x 50cm. Por fim, deve-se posicionar a vela de forma centralizada, respeitando uma distância de 20 cm do topo da cobertura e de 25 cm para o suporte.

Figura 10 - Suporte para Vela Úmida.



Fonte: NRB 6211 (ABNT, 2001).

Para o processo de fabricação dos suportes para as velas úmidas foram adquiridos 2 caibros de madeira com seção retangular de (3x6)

cm e com 6 metros de comprimento. Nesse sentido, para seguir as diretrizes apresentadas pela NBR 6211:2001, onde o apoio deve estar a 1 metro de altura do solo, foram feitas 3 peças com 2,10 metros de comprimento, dentre os quais 50 cm foram enterrados.

Para a vela úmida do ponto A, o suporte foi feito com 1,60 m de comprimento, pois este foi instalado e fixado a um muro, ou seja, já estava a altura mínima do solo. Dessa forma, respeitou-se as exigências estabelecidas pela norma.

As bases e coberturas foram feitas com 2 chapas de madeira do tipo Pinus com dimensões de (60x250) cm. No total, foi possível obter 6 peças de (50x50) cm para cobertura e base para estrutura do Ponto C, além de 3 peças de (35x30) cm para base dos suportes do Ponto A, B e D. Ademais, confeccionou-se mãos francesas para sustentação da cobertura e da base para vela úmida.

A Figura 11 demonstra os processos de fabricação e instalação dos suportes, conforme as recomendações da NBR 6211:2001.

Figura 11 - Fabricação e Instalação de Suporte para Vela Úmida.



Fonte: Autor (2022).

4.2.2 Preparação do ensaio de vela úmida

As velas foram preparadas em local seguro, evitando qualquer tipo de contaminação no ensaio e com uso dos materiais prescritos na

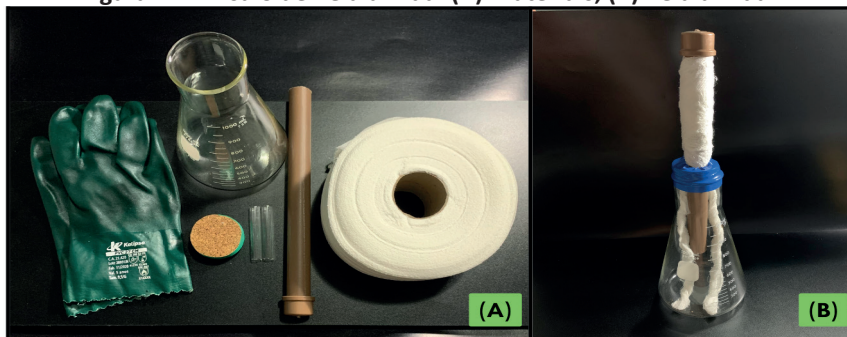
NBR 6211:2001. A análise do teor de cloretos ocorreu em um período de 2 meses (28/06/2022 a 26/07/2022) e (27/07/2022 a 24/08/2022). Nesse sentido, durante esse período as velas foram trocadas aproximadamente a cada 28 dias, sendo retiradas do ponto de coleta, substituídas e levadas para o laboratório para análise de dados.

Durante o período de preparo e análise dos dados de campo foram utilizados materiais propostos pela ABNT NBR 6211:2001 para a correta realização do ensaio. A seguir, apresenta-se os materiais que foram utilizados para a elaboração do ensaio.

- Luva de PVC para evitar contaminação;
- Erlenmeyer de vidro como frasco coletor (1000ml);
- Tubos de Ensaio (diâmetro)
- Dupla camada de Gaze cirúrgica;
- Rolha de cortiça para vedação;
- Piseta com água destilada para lavagem;
- Isopor, para armazenar os frascos de vidros com as amostras;
- Frascos de vidros para amostras

A Figura 12 ilustra os materiais que foram utilizados na montagem da vela úmida, assim como um exemplo do experimento pronto, conforme ABNT NBR 6211:2001.

Figura 12 - Ensaio de Vela úmida: (A) Materiais; (B) Vela úmida.



Fonte: Autor (2022).

A montagem final do ensaio de vela úmida para exposição na porção norte da ilha de São Luís - MA ocorreu no laboratório de Química da UFMA, tendo em todo procedimento o auxílio de estudantes do curso de Química que fazem parte da empresa Júnior de Engenharia Química da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), intitulada CONSPEQ.

Inicialmente, foram realizadas as lavagens dos materiais utilizados, dentre eles: Erlenmeyer de 1000ml com boca alargada, cano de PVC, Tubos de ensaio e provetas. Em seguida, mediu-se 1,20m de gaze cirúrgica com dupla camada para serem envolvidas no cilindro (cano de PVC), conforme a Figura 13.

Figura 13 - Dupla Camada de Gaze Cirúrgica: (A) Separação por amostra; (B) Comprimento de 1,20m.



Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, após o cilindro de PVC ser envolvido com a dupla camada de gaze cirúrgica, passou-se cuidadosamente as pontas da gaze

pelos dois tubos de ensaios fixados bem próximos ao cilindro, por meio de uma rolha de cortiça. Em seguida, mediu-se a altura de exposição da gaze, garantido os 15 cm recomendados pela NBR 6211:2001.

Figura 14 - Cilindro de PVC: (A) Gaze cirúrgica sendo enrolada;
(B) Vela pronta para ser fixada no frasco coletor.



Fonte: Autor (2022).

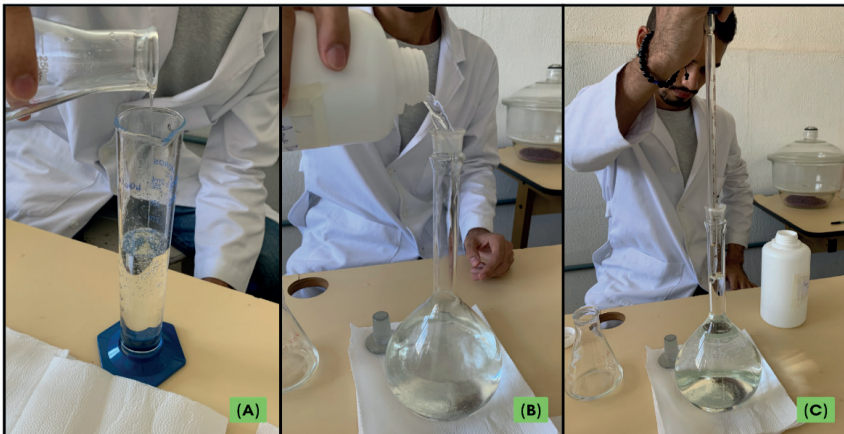
Dando continuidade à preparação do ensaio de vela úmida, antes da fixação do cilindro de PVC no frasco coletor é preciso que este contenha, no mínimo, 200ml de água glicerinada. A ABNT NBR 6211:2001 dita as diretrizes necessárias para a preparação dessa solução, sendo, portanto, feita a partir de 1000ml de água desmineralizada (isenta de cloretos) contendo 200ml de Glicerol diluídos com 20 gotas de Ácido Octanóico.

Figura 15 - Materiais utilizados para fazer a solução de água glicerizada.



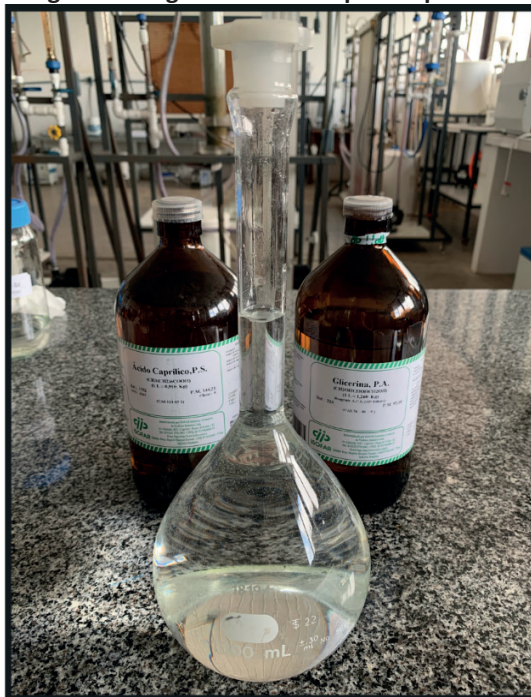
Fonte: Autor (2022).

Figura 16 - Preparo Água Glicerizada: (A) Glicerina; (B) Água desmineralizada; (B) Ácido Octanóico.



Fonte: Autor (2022).

Figura 17 - Água Glicerizada pronta para uso.

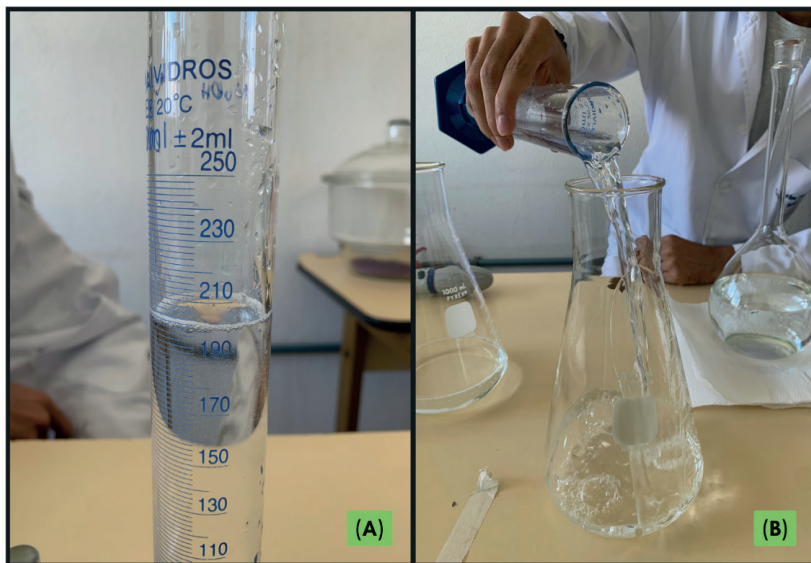


Fonte: Autor (2022).

Evidencia-se a importância do Glicerol e do Ácido Octanóico no ensaio, pois essas substâncias ajudam na capturar dos íons cloretos da atmosfera e evitam que ocorram complicações no resultado da amostra. Pois, o Glicerol tem a função de diminuir a evaporação da solução, enquanto o Ácido Octanóico possui propriedade fungicida, ou seja, age inibindo a presença de substâncias que podem comprometer a amostra.

Após a fixação do cilindro de PVC ao frasco coletor contendo 200ml de solução de água glicerizada, as velas foram transportadas para as áreas de estudo na porção norte de São Luís - MA em um isopor lacrado para evitar a contaminação da amostra. A NBR 6211:2001 ainda prevê um aumento do volume de água glicerizada em ambientes que possa haver uma diminuição significativa de volume no período de exposição, no entanto, para as duas análises manteve-se o volume de 200ml.

Figura 18 - Água Glicerizada: (A) Volume adicionado de 200ml; (B) Adição no frasco coletor.



Fonte: Autor (2022).

Ao todo foram confeccionadas 5 velas, dentre as quais 4 foram expostas ao ambiente e uma serviu como ensaio em branco, ficando trancada no armário do laboratório de química da UFMA, protegida contra ação de cloretos.

Figura 19 - Vela úmidas prontas para serem inseridas no ambiente de estudo.



Fonte: Autor (2022).

O procedimento de preparação das velas ocorreu duas vezes, sendo a primeira no dia 28/06 e a segunda 28 dias depois, no dia 27/07. Durante os dias de exposição do ensaio o visitou-se frequentemente os quatro pontos de coleta para verificar a integridade dos equipamentos e seus suportes, pois durante os dois meses de pesquisa estes foram submetidos a grandes variações climáticas com chuvas intensas, ventos fortes e períodos de forte insolação.

4.3 Instalação das Estações

As instalações das estações para coleta de dados foram realizadas conforme as diretrizes da NBR 6211:2001, apresentadas na seção 3.1. Desse modo, todos pontos de coleta foram instalados respeitando as seguintes diretrizes:

- Todas as estações foram instaladas em locais a 1 metro acima do nível do solo.
- As Estações estão em uma posição superior a todos os obstáculos situados num raio de 3 metros.
- As velas de todas as estações estão a uma distância de 20 cm do topo de sua cobertura e a 25 cm dos seus respectivos suportes.

4.3.1 Estação A

A primeira estação foi inserida na rua São Marcos a aproximadamente 100 metros do mar. Inicialmente, por motivos de segurança do equipamento, o autor tentou a liberação da Casa de Apoio Ninar para instalação do equipamento, no entanto, o pedido foi negado.

Sendo assim, a única solução possível foi a instalação da estação em um muro, pois devido à sua altura isso dificultaria a ação de vândalos, já que o experimento não estava em um local fechado. Por conta desse fator, constantemente visitas eram realizadas no local para verificar a integridade da estação.

Figura 20 - Estação A.



Fonte: Autor (2022).

4.3.2 Estação B

A Estação B está situada em um terreno cercado, na rua Itapecuru na Ponta do Farol, em frente ao edifício Mirante das Dunas. Para instalação da vela úmida nesse local foi necessário solicitar autorização para construtora Monteplan, detentora do terreno, que de prontidão autorizou a pesquisa. O local, apesar de estar a 250 metros do mar, fica entre dunas com altitudes de até 40 metros, criando uma espécie de barreira para o local.

Figura 21 - Estação B.



Fonte: Autor (2022).

4.3.3 Estação C

Localizada na rua das Garças, no bairro do Jardim Renascença, a Estação C foi instalada no condomínio Reserva Renascença a aproximadamente 800 metros do mar. Devido à ausência de locais abertos, com áreas livres, adaptou-se o suporte do ensaio para essa estação. O único ponto disponível para instalação do equipamento foi uma laje próxima a portaria do prédio, sendo assim, fabricou-se um suporte tipo “casinha” para implementação do ensaio, conforme a Figura 22.

Figura 22 - Estação C.



Fonte: Autor (2022).

4.3.4 Estação D

Dentre todas as estações, essa apresentou a maior dificuldade para sua instalação, devido a sua localidade. O autor, juntamente com o orientador definiram que essa estação deveria ficar em torno de 1500 m a 1800 m de distância para o mar, justamente para verificar a influência dessa variável no experimento.

Nesse sentido, o processo para definição do ponto de instalação do ensaio levou aproximadamente 1 mês, pois os dois primeiros locais escolhidos (prédio do Louvre Magazine e o edifício do Jornal Imparcial) não autorizaram a instalação do equipamento, mesmo após sucessivas reuniões demonstrando os benefícios do desenvolvimento da pesquisa para a região.

A terceira tentativa foi direcionada para a Universidade Ceuma, que possui em seu campus do Renascença, áreas abertas ideais para instalação do ensaio. Em parceria com o Laboratório de Engenharia Civil do CEUMA, o autor conseguiu autorização para instalação da estação no campus do Renascença. Sendo assim, a Estação ficou situada a 1700 metros de distância do mar.

Figura 23 - Estação D.



Fonte: Autor (2022).

Vale ressaltar que todas as estações possuíam placas de alerta para afastar curiosos e possíveis ataques de vandalismo. Além disso, foram utilizados fios plásticos (Fitolho) para amarrar a vela úmida, evitando tombamento devido às chuvas intensas ou ventos fortes. Ademais, durante todo o processo de instalação das velas foram verificadas as recomendações da NBR 6211:2001 em relação a distâncias mínimas e posicionamento da vela. A Figura 24 apresenta a distância de 20 cm da Vela úmida para o topo da cobertura, conforme estabelecido pela NBR 6211:2001.

Figura 24 - Distância entre o topo da Vela úmida e a cobertura.



Fonte: Autor (2022).

4.3.5 Coleta das Velas Úmida

A NBR 6211:2001 recomenda que a vela úmida fique exposta ao ambiente em período de aproximadamente 30 dias. Inicialmente, o autor tinha como objetivo seguir essa prescrição da norma, porém devido à demora para conseguir autorização para instalação dos pontos A e D, houve um atraso no início da pesquisa, comprometendo em 2 dias o tempo para exposição do ensaio.

O primeiro passo para retirada dos ensaios foi cortar o fio plástico que auxiliava na estabilidade da vela. Em seguida, as velas foram transportadas em um isopor, enroladas em um plástico, para evitar qualquer tipo de contaminação.

Figura 25 - Retirada dos Fios de Plástico (Fitalho).



Fonte: Autor (2022).

O processo de transporte das velas úmidas protegidas com plástico e isoladas no isopor foi feito tanto na instalação do ensaio como na sua coleta. As Figuras 26 e 27 demonstram, respectivamente esse procedimento.

Figura 26 - Velas úmidas protegidas com plástico para transporte do material.



Fonte: Autor (2022).

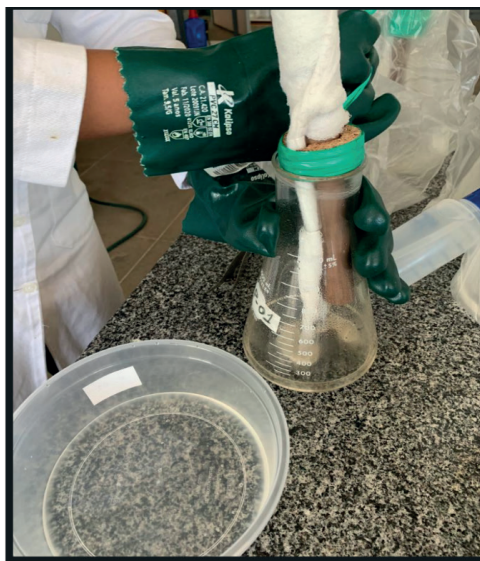
Figura 27 - Velas úmidas acomodadas no Isopor para transporte.



Fonte: Autor (2022).

Ao chegar no laboratório de Química da UFMA, as velas eram retiradas do plástico e cuidadosamente removia-se, com auxílio de Luvas de PVC, o cilindro de PVC do frasco coletor, conforme a figura abaixo:

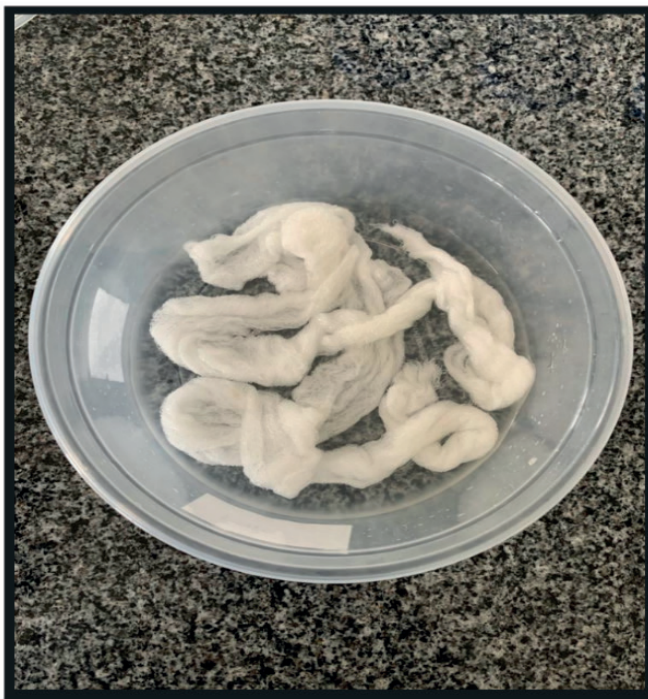
Figura 28 – Retirada do cilindro de PVC.



Fonte: Autor (2022).

Foram separados dois depósitos, o primeiro, um recipiente plástico (Figura 29), utilizado para armazenar a gaze cirúrgica logo após a retirada da vela do frasco coletor. O segundo recipiente (Figura 30), feito em vidro, foi utilizado para armazenar a solução de água glicerinada do frasco coletor, exposta durante os 28 dias. Por fim, identificou-se todas as amostras, contidas nos dois depósitos, conforme sua estação, deixando-as em repouso por aproximadamente 6 horas (Figura 31).

Figura 29 – Gaze Cirúrgica exposta ao ambiente de molho.



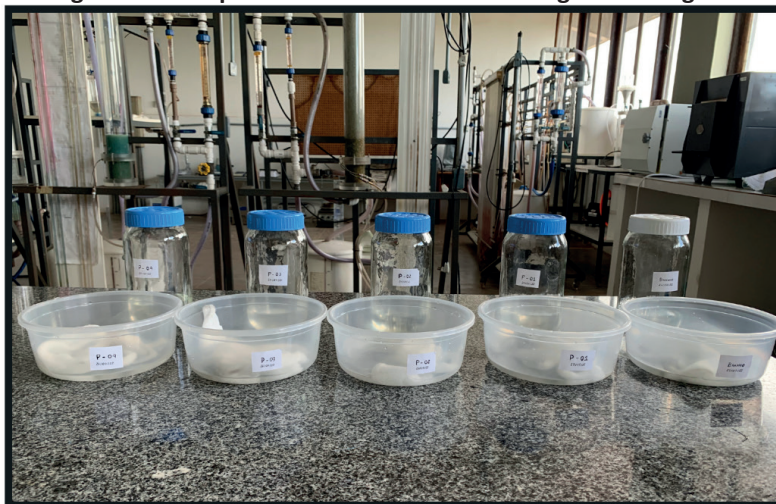
Fonte: Autor (2022).

Figura 30 - Armazenamento da amostra exposta ao ambiente.



Fonte: Autor (2022).

Figura 31 - Recipientes contendo amostras e água de lavagem.



Fonte: Autor (2022).

Utilizando uma Proveta, o autor mediu o volume das amostras expostas ao ambiente e do ensaio em branco, verificando se houve perda

por evaporação. O Quadro 6 apresenta os volumes iniciais e finais para as duas coletas, percebe-se que nos dois meses de estudo os 200ml de água glicerinada colocados no início do ensaio foram reduzidos devido ao processo de evaporação.

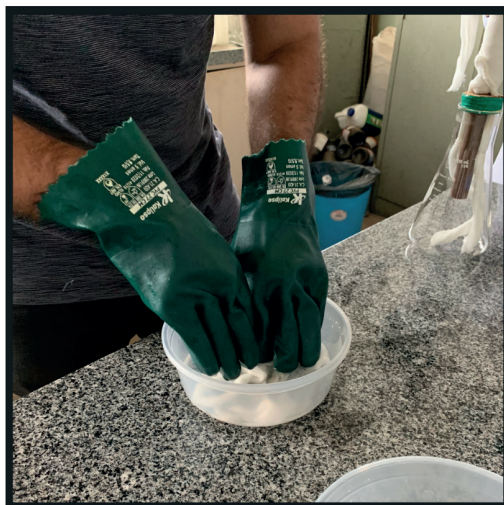
Quadro 6 – Volume inicial e Final das amostras após 28 dias.

Amostras do 1º Mês			Amostras do 2º Mês		
Ponto	Volume Inicial	Volume Final	Ponto	Volume Inicial	Volume Final
A	200ml	162ml	A	200ml	146ml
B	200ml	154ml	B	200ml	126ml
C	200ml	175ml	C	200ml	155ml
D	200ml	190ml	D	200ml	170ml
BRANCO	200ml	182ml	BRANCO	200ml	178ml

Fonte: Autor (2022).

Diante disso, com auxílio de uma Piseta foi feita a lavagem das gazes cirúrgicas com água glicerinada até completar um volume final de 350ml para as amostras do 1º mês e 400ml para as amostras do 2º mês. Desse modo, após o processo de lavagem, as gazes eram mantidas de molho e agitadas constantemente.

Figura 32 - Processo de agitação da Gaze Cirúrgica.



Fonte: Autor (2022).

Após 6 horas de molho, a dupla camada de gaze cirúrgica foi torcida com o objetivo de retirar o máximo de íons cloreto retidos na gaze. Adiante, a água de lavagem da gaze foi adicionada aos recipientes de vidro contendo água glicerinada do frasco coletor, conforme a Figura 33.

Figura 33 - Gaze Cirúrgica sendo torcida para retirada de íons cloreto.



Fonte: Autor (2022).

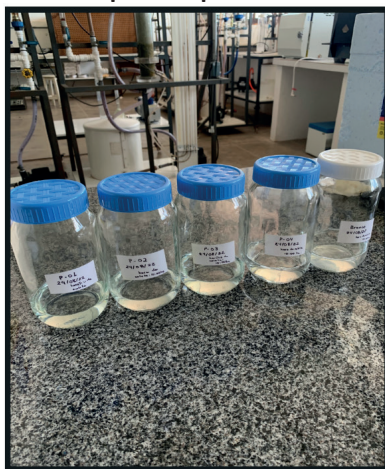
Figura 34 - Adição de água de lavagem na amostra.



Fonte: Autor (2022).

Por fim, os recipientes de vidro foram identificados, em seguida, armazenados em uma caixa térmica e enviados para o laboratório de análises ambientais Cernitas, responsável por fazer a análise de cloretos das amostras.

Figura 35 - Amostras prontas para serem enviadas ao laboratório.



Fonte: Autor (2022).

Esse procedimento foi realizado duas vezes, sendo necessário ao final do 1º mês confeccionar novas velas para segunda análise. Vale ressaltar que todos os materiais foram devidamente esterilizados para evitar a contaminação das amostras seguintes, garantindo a realização de uma nova análise de maneira segura.

4.4 Análise do teor de cloretos

De acordo com a ABNT NBR 6211:2001, o íon cloro obtido por meio da absorção em água contendo glicerol é titulado com solução diluída de nitrato de mercúrio na presença do indicador misto difenilcarbazona e azul-de-bromofenol. No entanto, após reuniões com os laboratórios de Química da UEMA e da UFMA, verificou-se a ausência do nitrato de mercúrio e do azul-de-bromofenol em seus estoques.

Destaca-se que o reagente Nitrato de mercúrio é um composto que só pode ser comercializado mediante a apresentação de uma

solicitação de compra por meio da Universidade e com o aval da Polícia Federal. Geralmente, por conta da burocracia envolvida no processo há uma demora para aquisição do reagente. Nesse sentido, o autor, juntamente com o orientador tiveram que buscar outras referências para obtenção dos dados coletados.

Com base nas pesquisas bibliográficas a respeito do tema, como os trabalhos realizados em Salvador/BA por Vilasboas (2013) e em Macéio/AL por Alves (2007), optou-se em utilizar o método volumétrico de Mohr para determinação do teor de cloretos solúveis em água.

Em seguida, uma equipe da CONSPEQ foi montada para verificar nos laboratórios da UFMA quais reagente estariam disponíveis e quais poderiam ser disponibilizados. Após vistoria, conclui-se que havia reagentes suficientes para utilização do método de Mohr, no entanto, a CONSPEQ sugeriu que a análise fosse feita pelo laboratório de análises ambientais Cernitas, devido a experiência do laboratório nesse tipo de análise.

O método de Mohr utiliza outros reagentes para obtenção do mesmo resultado proposto pela ABNT NBR 6211:2001. Nesse sentido, a padronização é realizada sendo o titulante o nitrato de prata (AgNO_3) com solução padrão de cloreto de sódio (NaCl) e solução de cromato de potássio (K_2CrO_4) como indicador.

O ensaio requer atenção e uma análise visual, pois a titulação é confirmada quando todos os íons de Ag^+ se depositam sob a forma de AgCl , ocorrendo a precipitação de cromato de prata (Ag_2CrO_4) apresentada com uma coloração característica marrom-avermelhada. O Quadro 7 apresenta as soluções e reagentes utilizados no método de Mohr.

Quadro 7 – Soluções e Reagentes utilizados no método de Mohr.

Fórmula	Elemento
AgNO_3	Nitrato de prata
NaOH	Hidróxido de sódio
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
NaCl	Cloreto de sódio
K_2CrO_4	Cromato de potássio

Fonte: Autor (2022).

As amostras foram tituladas em faixa de pH compreendida entre 7 e 10. Para isso separou-se um volume das amostras para verificação do pH, utilizando o papel indicado de pH foi possível verificar e controlar, quando necessário, o intervalo desejado, adicionado solução de hidróxido de sódio (NaOH) para elevar o pH ou solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) quando o objetivo era diminuir. A execução do método pode ser observada nas Figuras 36 e 37.

Figura 36 - Adição do indicador Cromato de Potássio à amostra.



Fonte: Autor (2022).

Figura 37 - Determinação do teor de cloreto pelo método de Mohr.



Fonte: Autor (2022).

Em seguida determinou-se, por meio dos dados obtidos no ensaio, a massa de cloreto por unidade de área e por unidade de tempo. A partir disso, foi proposto, de acordo com o trabalho de Vilasboas (2013) e Campos (2016), um mapa com as classes de agressividade da região analisada.

4.5 Inspeção em postes de concreto armado

A etapa de inspeção para identificação de manifestações patológicas, relacionadas a corrosão nos postes em concreto armado, foi realizada por toda a área de estudo durante o mês de outubro de 2022.

A escolha de avaliar postes de concreto armado se deu, devido a essas estruturas serem, geralmente, fabricadas em locais com controle tecnológico. Ademais, são estruturas de fácil acesso e com requisitos normativos bem definidos pela ABNT NBR 8451- Parte 1: requisitos.

Destaca-se que a inspeção foi realizada em sua grande maioria em postes do tipo duplo T, ou seja, em postes projetados para instalação de cabos de média tensão, utilizados para distribuição de energia elétricas. Diante disso, postes com seção circular, geralmente utilizados para iluminação nas avenidas principais, não foram inspecionados.

4.5.1 Parâmetros coletados

Em seguida são apresentados os dados que foram considerados e identificados durante toda a etapa de inspeção dos postes em concreto da região de estudo.

4.5.1.1 Ano

Todos os postes analisados possuíam uma identificação gravada diretamente no concreto, conforme prescrição normativa. O objetivo desse dado era verificar a sua correlação com a distância para o mar, ou seja, verificando se havia uma tendência maior de corrosão nos postes próximos a praia, mesmo estes apresentando pouca idade.

4.5.1.2 Estado

Nesse requisito, buscou-se avaliar exclusivamente evidências que comprovassem sinais de corrosão nos postes analisados. Desse modo, destaca-se que não foram utilizados ensaios destrutivos e não destrutivos, apenas uma análise visual com auxílio de um Fissurômetro.

Dessa forma, durante a inspeção tinha-se como objetivo identificar manifestações patológicas características da corrosão. Assim, seguindo o que propõem Helene, Bolina e Tutikian (2019), buscou-se fissuras e trincas na direção vertical, ou seja, na direção paralela as armaduras, além de deslocamentos e armaduras expostas ao ambiente. Por fim, classificou-se as estruturas em três categorias, são elas: Sem corrosão, Fissuras e Trincas/Armadura exposta.

4.5.1.3 Localização

Em todos os pontos de inspeção foram coletados dados de latitude e longitude, que posteriormente foram inseridos no programa Google Earth Pro, visando a montagem de um mapa contendo todos os pontos analisados.

Após a coleta dos dados em campo, fez-se a inserção dos mesmos no programa computacional Google Earth Pro, por meio de suas respectivas localizações. Em seguida, separou-se os dados referentes ao ano, em intervalos de (2018 a 2022), (2013 a 2017), (2003 a 2012), (1993 a 2002) e (1975 a 1992). A divisão em intervalos de tempo foi feita com o objetivo de avaliar estruturas semelhantes em ambientes diferentes de agressividade ambiental, verificando se a uma correlação das zonas de classificação ambiental propostas nessa pesquisa com a frequência de sinais de corrosão nos postes em concreto armado.

5 ANÁLISE EXPERIMENTAL DA AGRESSIVIDADE AMBIENTAL DO AR ATMOSFÉRICO NA PORÇÃO NORTE DA CIDADE DE SÃO LUÍS - MA

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos das análises feitas na porção norte de São Luís - MA, referentes à caracterização climatológica, à concentração de cloretos no ar atmosférico, assim como a correlação do teor de íons cloro encontrados com o surgimento de manifestações patológicas, relacionadas à corrosão, nos postes em concreto armado da região de estudo.

5.1 Características Climatológicas

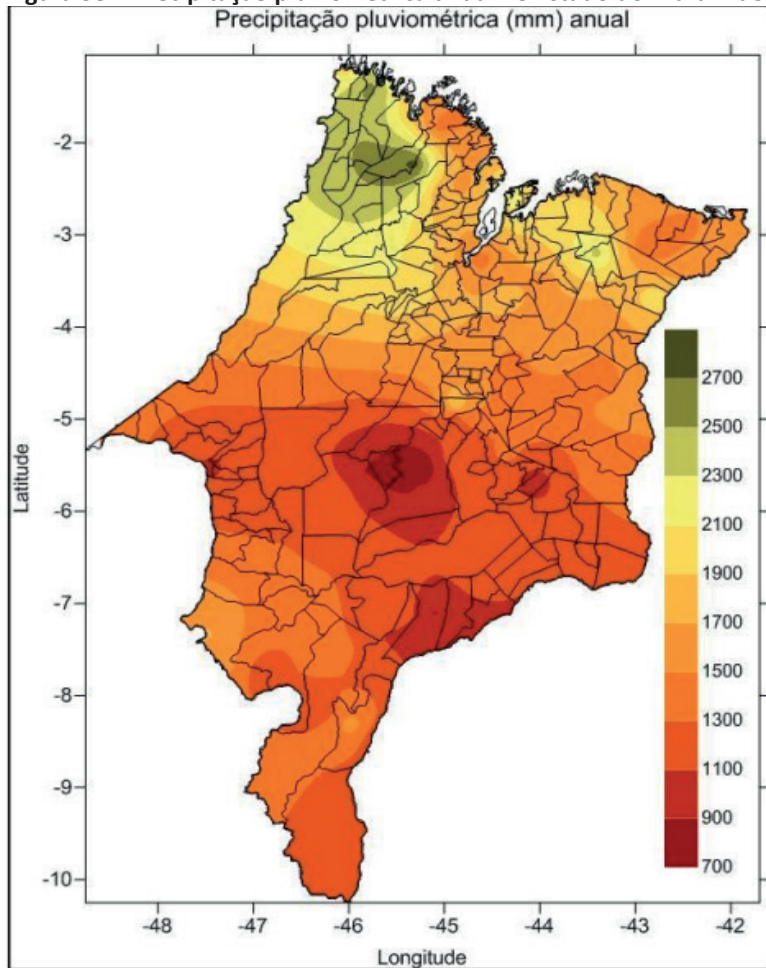
Conforme apresentado na seção 3.5, temos a consciência que os fatores climatológicos de uma região influenciam de maneira preponderante na formação e transporte do aerossol marinho e conseqüentemente, na concentração de cloretos. Desse modo, nessa seção será realizada a análise dos fatores climatológicos durante o período de desenvolvimento do ensaio de vela úmida.

5.1.1 Precipitação Pluviométrica

De acordo com o relatório de Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão do Núcleo Geoambiental (NUGEO) da UEMA, o Estado do Maranhão possui uma média acumulada anual de 1600 mm, tendo as regiões norte e noroestes como áreas com os maiores totais anuais de chuvas, ficando acima da média.

Dentre as cidades localizadas nessa região, destaca-se a capital maranhense, onde o acúmulo anual de chuvas pode chegar a 2700 mm. O NUGEO (2016) destaca que os primeiros seis meses como o período mais chuvosos, em destaque para os meses de fevereiro, março e abril, enquanto o período mais seco, ou de estiagem, ocorre nos últimos seis meses do ano, tendo de julho até setembro os índices mais baixos de chuvas. A Figura abaixo demonstra a precipitação pluviométrica anual no Estado do Maranhão.

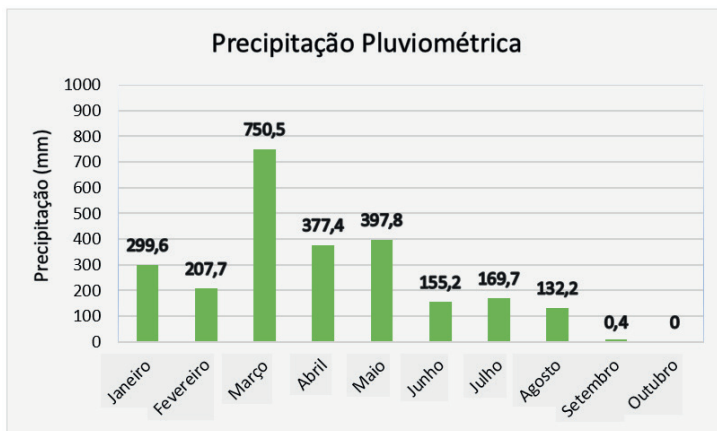
Figura 38 – Precipitação pluviométrica anual no Estado do Maranhão.



Fonte: Núcleo Geoambiental (UEMA/NUGEO, 2010).

Com base nos dados apresentados pelo NUGEO (2016), pode-se confirmar a tendência de queda nos índices pluviométricos ao longo dos meses. No gráfico a seguir apresenta-se os valores de precipitação pluviométrica de janeiro a outubro de 2022.

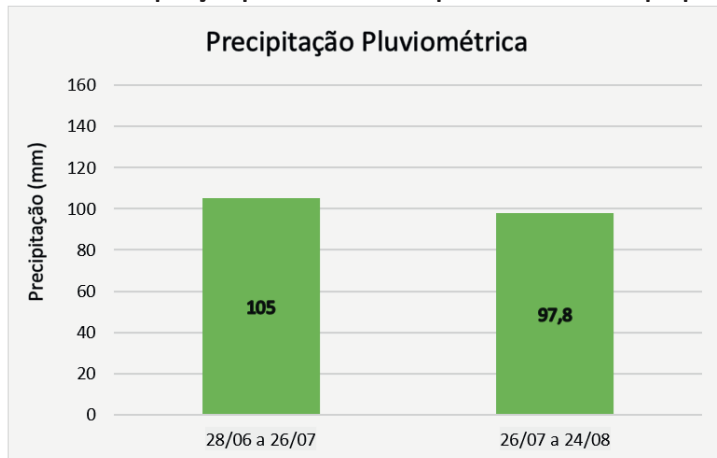
Gráfico 2 – Precipitação Pluviométrica em São Luís - de Janeiro a Outubro (2022).



Fonte: Núcleo Geoambiental (UEMA/NUGEO, 2022).

Tendo em vista que a pesquisa foi realizada entre os períodos de 28/06 a 26/07 e 26/07 a 24/08, destaca-se os períodos de realização do ensaio de vela úmida, de acordo com o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Precipitação pluviométrica no período do Estudo proposto.

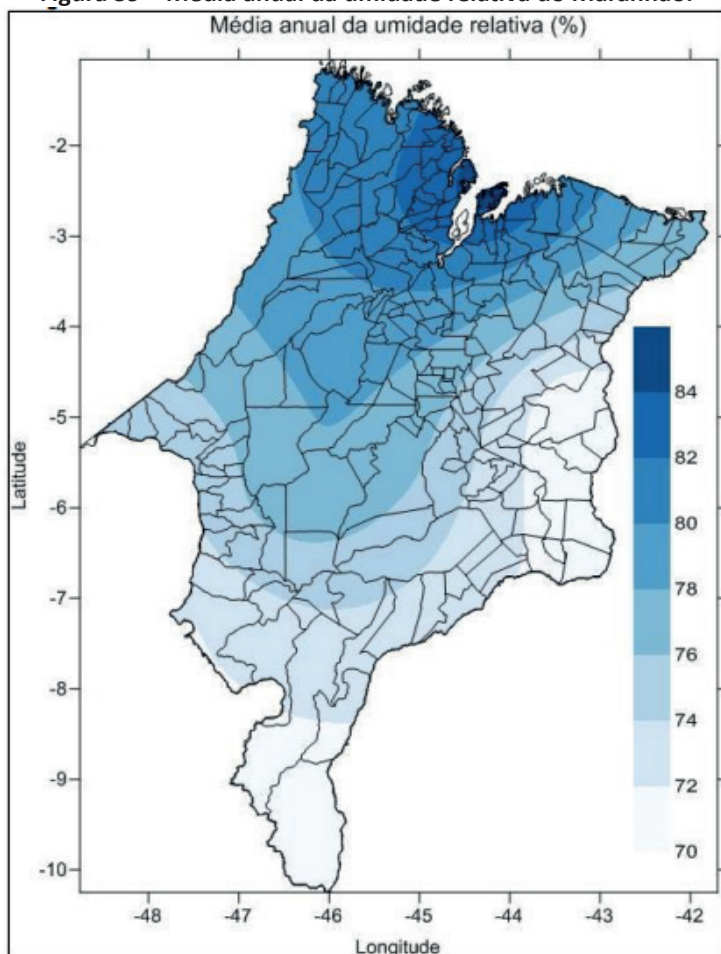


Fonte: INMET (2022).

5.1.2 Umidade Relativa

De acordo com dados do NUGEO (2016), o Maranhão possui uma média anual da umidade relativa do ar de aproximadamente 80%, tendo os meses janeiro a maio como os mais úmidos, com quase 85%. Dentre todo Estado, o município de São Luís é uma das cidades com os maiores índices com valores acima de 80%. Tal fato ocorre devido forte influência oceânica sobre o clima da cidade.

Figura 39 – Média anual da umidade relativa do Maranhão.

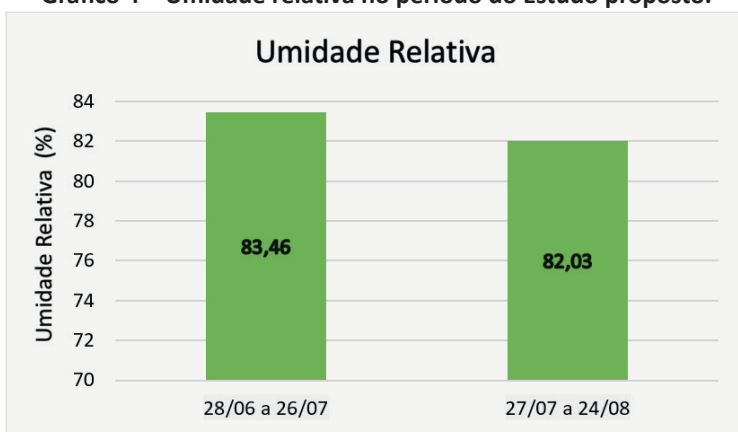


Fonte: Núcleo Geoambiental (UEMA/NUGEO, 2010).

A umidade relativa ideal para o processo de carbonatação é estudada por alguns autores. Silva (2007) afirma que a taxa ideal para que ocorra o processo seria entre 50% e 75%, seguindo uma linha semelhante, Meira (2017) propõe uma taxa de umidade ideal entre 50% e 80%.

Pôde-se verificar, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET), que durante todo o desenvolvimento da pesquisa os valores estiveram acima de 80%, ou seja, em um ambiente favorável para o processo da corrosão.

Gráfico 4 – Umidade relativa no período do Estudo proposto.



Fonte: INMET (2022).

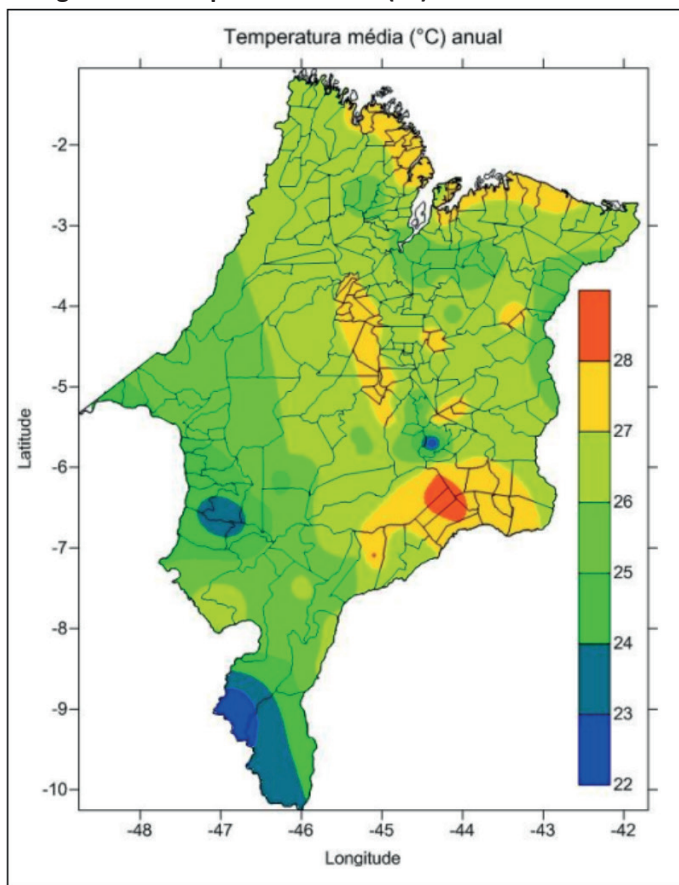
A verificação dessa variável é justificada por conta da sua direta relação com o processo de transporte de cloretos no concreto. Nesse sentido, segundo Pontes (2006), essa relação acelera o processo de corrosão, pois o concreto tende a absorver com facilidade a umidade do meio e perdê-la com mais lentidão.

5.1.3 Temperatura

Segundo o relatório do NUGEO, o Estado do Maranhão possui uma temperatura média anual do ar de 26,5°C. O fator temperatura tem forte correlação com os índices de chuva, por conta disso, o mesmo relatório destaca que as temperaturas mais elevadas são observadas

nos meses de setembro, outubro e novembro, enquanto, o período de janeiro a abril apresenta temperaturas menores.

Figura 40 – Temperatura média (°C) anual do Maranhão.

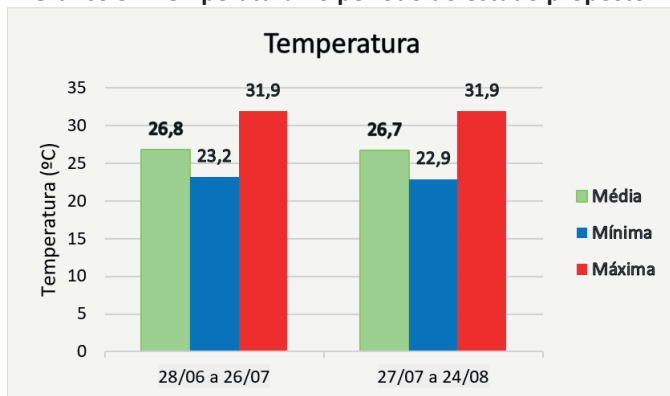


Fonte: Núcleo Geoambiental (UEMA/NUGEO, 2010).

Estudar essa variável é importante, pois de acordo com Vitali (2013) a velocidade de transporte de cloretos no concreto é agilizada mediante altas temperaturas, pois à medida que há um aumento da temperatura, ocorre um aumento do teor de íons cloreto livres na água dos poros.

Os dados referentes as temperaturas, mínima, média e máxima foram obtidos pelo INMET e serão apresentados mediante o gráfico

Gráfico 5 – Temperatura no período do estudo proposto.



Fonte: INMET (2022).

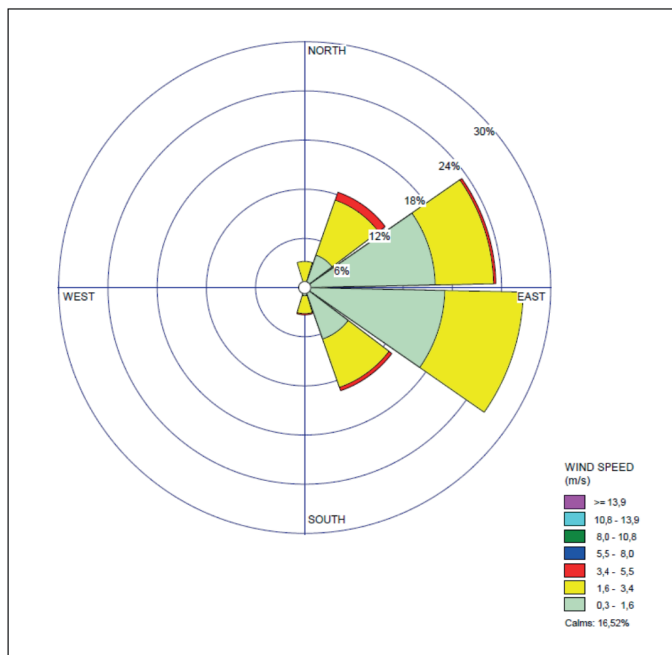
5.1.4 Direção e velocidade dos ventos

A seguir serão apresentados os resultados, mediante análise dos dados disponibilizados no site INMET, relacionados à direção predominante e velocidade média do vento para o período de implementação do ensaio de vela úmida.

Após a coleta dos dados iniciou-se a análises dos resultados. Para essa etapa foi preciso o auxílio do software freeware WRPLOT (v.8.0), desenvolvido pela empresa Lakes Environmental. Por meio do programa foi possível identificar a direção predominante dos ventos, bem como a produção de um histograma com as classes de velocidade.

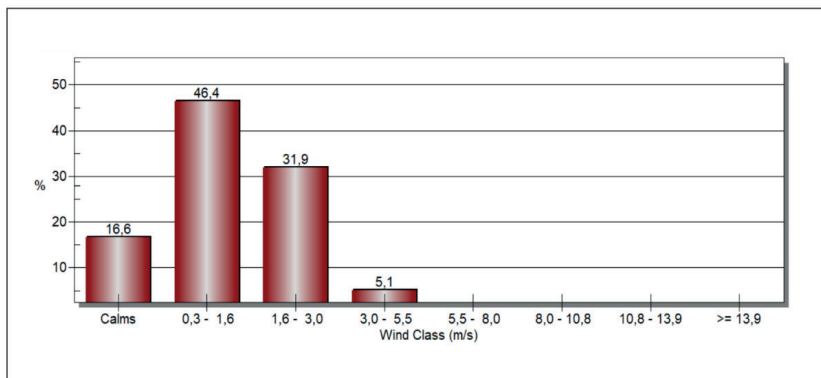
Nota-se, conforme as Figuras 41 e 42 que no primeiro mês de análise as direções predominantes foram de ventos oriundo de lés-nordeste e lés-sudeste, que nesse caso são ventos vindos do continente. Além disso, com base na Figura 42, pode-se notar que neste período prevaleceu ventos com velocidade de 0,3-1,6 m/s (46,4%).

Figura 41 – Direção predominante dos ventos no período da 1ª análise.



Fonte: INMET (2022).

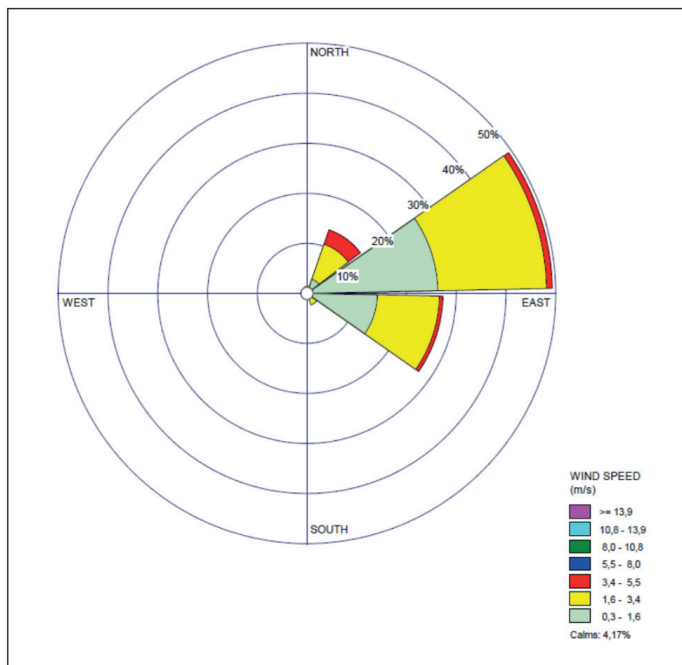
Figura 42 - Classes de velocidade do vento (m/s) referentes ao período da 1ª análise.



Fonte: INMET (2022).

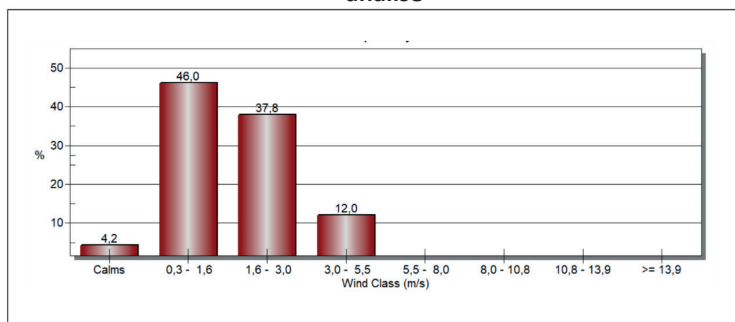
Em relação aos dados do período da 2ª análise, verificou-se que os ventos foram em sua maioria oriundo do nordeste, em específico na direção lés-nordeste, ou seja, possuem mais influência do mar, tendo a tendência de conterem maior concentração de cloretos. Ademais, com base na Figura 44 pode-se notar que neste período prevaleceu ventos com velocidade de 0,3-1,6 m/s (46,4%) e 1,6-3,0 m/s (37,8%).

Figura 43 – Direção predominante dos ventos no período da 2ª análise.



Fonte: INMET (2022).

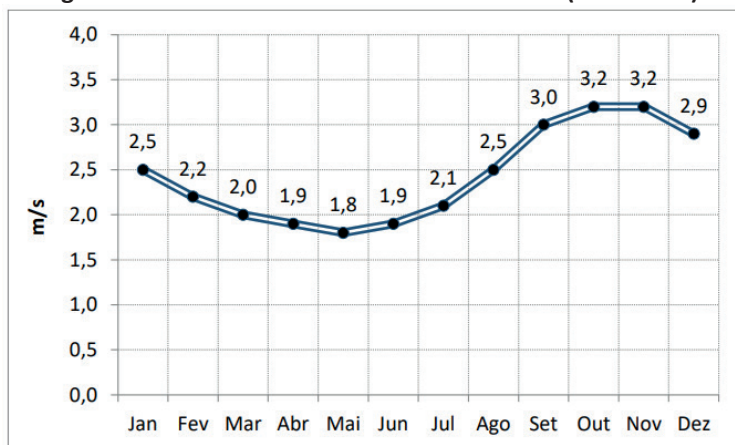
Figura 44 - Classes de velocidade do vento (m/s) referentes ao período da 2ª análise



Fonte: INMET (2022).

Outro ponto a se destacar é a velocidade média dos ventos encontrada no período de desenvolvimento da pesquisa. Durante a primeira análise a velocidade média do vento foi de aproximadamente 1,24 m/s, enquanto para a segunda análise foi de 1,68 m/s. Mediante, a Figura 45, percebemos que apesar dos meses escolhidos para implementação do estudo não apresentarem, historicamente, elevados índices de velocidade dos ventos, os dados encontrados se encontram abaixo do esperado.

Figura 45 – Intensidade dos ventos em São Luís (1981-2010).



Fonte: INMET/BDMEP (2010).

A variável vento é uma das que exercem maior influência na concentração de cloretos, pois é diretamente responsável pela formação e transporte dos íons cloro presentes na névoa salina (CAMPOS, 2016).

Conforme observamos na seção 3.4.3, a velocidade crítica, ou seja, aquele que tende a proporcionar maiores condições de agressividade as estruturas, geralmente é definida como um valor superior a 3 m/s, valor que foi superado somente 5,1% na primeira análise e 12% na segunda. Como consequência pode ter ocorrido uma diminuição do teor de cloretos no intervalo de tempo do desenvolvimento do estudo.

5.2 Deposição de Íons Cloreto no ar atmosférico pelo método da vela úmida

O teor de íons cloreto das amostras desta pesquisa foi determinado por meio do Método de Mohr, por meio de parceria com o laboratório Cernitas. Os resultados obtidos foram em mg/l, porém a NBR 6211:2001 apresenta os valores em mg/m².d. Nesse sentido, foi preciso fazer a conversão dos resultados para essa unidade.

Quadro 8 – Teor de cloretos em mg/L (1ª Análise).

Período (28/06 a 26/07/2022)			
Estação A	Estação B	Estação C	Estação D
137,48 mg/L	88,36 mg/L	62,04 mg/L	54,52 mg/L

Fonte: Autor (2022).

Quadro 9 – Teor de cloretos em mg/L (2ª Análise).

Período (27/07 a 24/08/2022)			
Estação A	Estação B	Estação C	Estação D
355,32 mg/L	130,4 mg/L	86,48 mg/L	64,32 mg/L

Fonte: Autor (2022).

Para transformar os resultados em mg/m².d foi utilizada a equação abaixo, com base na NBR 6211:2001.

$$\text{Cloretos (mg/m}^2\cdot\text{d)} = \text{Cloretos (mg/L)} \times \text{VT} / (\text{S} \times \text{t}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

- VT = Volume total da amostra após a diluição, em litros;
- S = Área de exposição da gaze, em metros quadrados;
- t = Tempo de exposição da amostra, em dias.

- VT = 350 ml (1ª análise) e 400 ml (2ª análise).
- S = 0,009817 m².
- t = 28 dias.

Diante disso, substituindo os valores na equação temos os resultados dos teores de cloreto em mg/m².d.

Quadro 10 – Teor de cloretos em mg/m².d (1ª Análise).

Período (28/06 a 26/07/2022)			
Estação A	Estação B	Estação C	Estação D
200,15 mg/m ² .d	128,64 mg/m ² .d	90,32 mg/m ² .d	79,37mg/m ² .d

Fonte: Autor (2022).

Quadro 11 – Teor de cloretos em mg/m².d (2ª Análise).

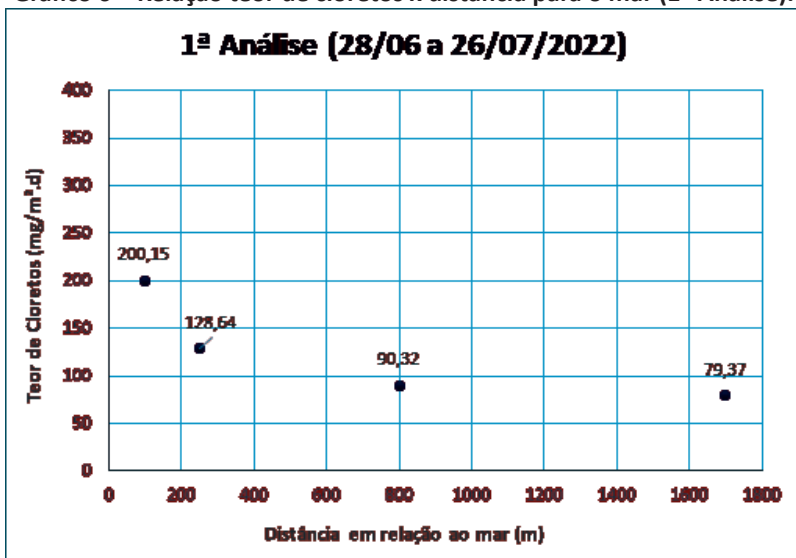
Período (27/07 a 24/08/2022)			
Estação A	Estação B	Estação C	Estação D
452,40 mg/m ² .d	166,5 mg/m ² .d	110,46 mg/m ² .d	81,89 mg/m ² .d

Fonte: Autor (2022).

Nota-se que os resultados tiveram uma pequena variação na segunda coletada de dados. O único ponto que sofre grande variação foi a Estação A da primeira análise, tal fato foi justificado com a premissa de que a amostra sofreu com a contaminação de alguma substância, pois o laboratório Cernitas descreveu que teve dificuldade com a titulação da amostra.

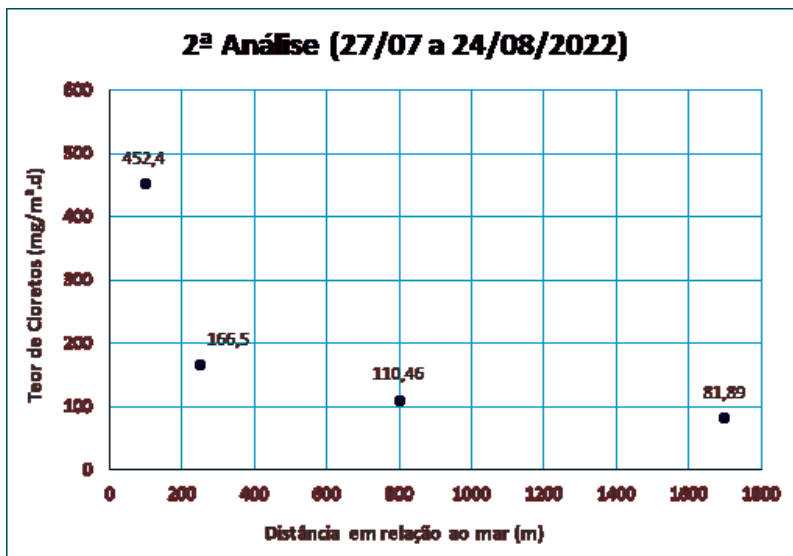
Apesar desse fator, observa-se nas duas análises o decaimento do teor de cloretos à medida que ocorre o afastamento do mar. Com base no gráfico X, podemos atestar, conforme os estudos de Campos (2016), Portella (2013), Meira e Padaratz (2002), Pontes (2006), que há um decréscimo considerável do teor de cloretos a partir dos 200m de distância para o mar.

Gráfico 6 – Relação teor de cloretos x distância para o mar (1ª Análise).



Fonte: Autor (2022).

Gráfico 7 – Relação teor de cloretos x distância para o mar (2ª Análise).



Fonte: Autor (2022).

Os dados demonstrados evidenciam a influência das variáveis climatológicas nos resultados da pesquisa, pois conforme vimos anteriormente, no período da segunda análise houve os maiores índices de velocidade do vento, sendo estes oriundos da direção nordeste. Ademais, o mesmo período apresentou índices de intensidade pluviométrica um pouco inferiores e umidade relativa acima de 80%.

Em seguida, busca-se comparar os dados apresentados com os estudos realizados por outros pesquisadores, tanto no Brasil, em especial São Luís, quanto em outras regiões do mundo.

5.3 Comparação com outros estudos

Inicialmente, foi feita uma busca por referências que tivessem realizado o ensaio de vela úmida na cidade de São Luís - MA. Assim, verificou-se uma série de estudos realizado por Sica (2006), onde ele classificou a intensidade da corrosão atmosférica da ilha de São Luís, conforme os períodos de estiagem e período chuvoso.

A pesquisa feita por Sica (2006) não demonstra os valores encontrados mensalmente, apenas os valores no período de seis meses, dificultando a comparação dos resultados. O Quadro 12 apresenta os valores máximo e mínimos do teor médio de cloretos registrados

pelas Estações de Corrosão Atmosférica - ECAs (Praia do Meio – Orla, Renascença e Centro Urbano) para os períodos de estiagem e chuva, segundo Sica (2006).

Quadro 12 - Taxa de deposição média de cloretos (mg Cl-/m².dia) em São Luís - MA.

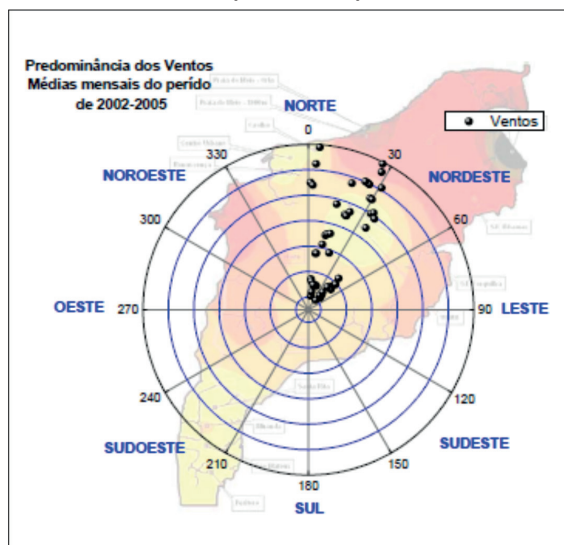
ECA	Média	Período de Estiagem	Período de Chuvas
Praia do Meio Orla	376,36 ± 284,54	554,91 ± 281,46	197,82 ± 149,65
Renascença	35,46 ± 27,06	56,36 ± 23,3	14,55 ± 4,05
Centro Urbano	16,66 ± 10,95	23,15 ± 13,15	10,17 ± 0,64

Fonte: Sica (2006).

Mediante esses resultados, verificou-se que a o maior valor encontrado no trabalho de Sica (2006) ocorreu no período de estiagem (Julho a Dezembro), tendo sua máxima concentração 554,91 mg/m².dia. Em comparação com os dados encontrado nesta pesquisa, temos a máxima de 452,40 mg/m².d para Estação A. Nessa perspectiva, percebe-se que as duas estações mais próximas do mar obtiveram os índices mais altos relacionados a concentração de cloretos.

Uma concentração de cloretos mais elevada na praia do meio, a priori guarda coerência pelas referências estudadas, a pois a região sofre com influência direta de ventos que adentram ilha oriundos do mar (direção nordeste), além de ser uma região com menos obstáculos que a Estação A.

Figura 46 – Predominância da direção dos ventos em São Luís - MA (2002-2005).



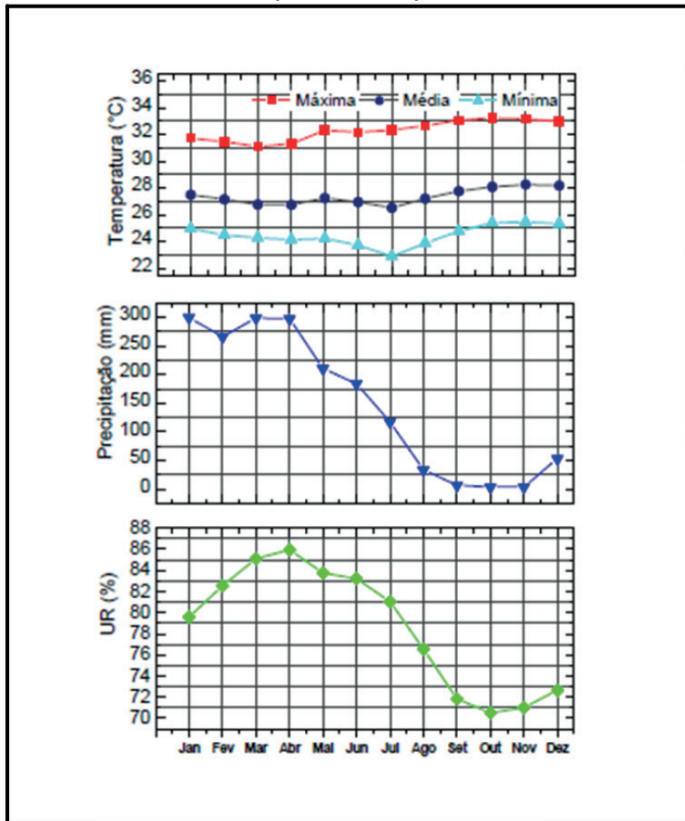
Fonte: Sica (2006).

Em relação a região do Renascença e Centro Urbano não há informações a respeito de suas localizações exatas, sendo, portanto, inviável verificar a influência da distância em relação ao mar para os resultados obtidos por Sica (2005). A estação do Renascença estudada por Sica (2006) indicou uma máxima de 56,36 mg/m².dia. Enquanto, as duas estações inseridas nessa região apresentadas nesse estudo (Estação C e D) apresentaram valores superiores aos encontrados por Sica (2006).

Além disso, buscou-se fazer uma análise dos fatores climatológicos do período de estudo realizado por Sica (2006). Dessa forma, foram analisados dados relativos a curvas de precipitação acumulada, temperatura e umidade relativa nos períodos de 2002-2005, conforme a Figura 47. Esses dados são essenciais para verificar a influências desses fatores na quantidade de íons cloreto presentes na atmosfera da ilha de São Luís – MA no período em questão.

Ademais, os dados referentes a velocidade do vento não foram coletados e expostos mensalmente por Sica (2006), dificultando, portanto, a avaliação da influência dessa variável na análise de seus resultados.

Figura 47 - Médias de temperatura, precipitação e umidade relativa (2002 a 2005).



Fonte: Sica (2006).

Com base na Figura 47, pode-se verificar a divisão em duas estações, conforme já mencionado anteriormente. Os seis primeiros meses do ano (janeiro a junho) apresenta elevada média de precipitação e umidade relativa, enquanto as temperaturas são mais amenas comparadas ao restante do ano.

Os valores de temperatura foram semelhantes ao estudo feito por Sica (2006). Apenas o mês de agosto apresentou temperatura máxima inferior a pesquisa de Sica (2006), os outros se mantiveram próximos.

Verificou-se que os valores de Umidade relativa ficaram bem próximos, tanto no trabalho de Sica (2006) quanto no estudo proposto,

sempre apresentando valores maiores que 80%. Além disso, o único valor que foi reduzido foi no mês de agosto com 75%, enquanto neste ano se manteve na faixa de 80%.

Fazendo a comparação com dados obtidos nessa pesquisa, verificou-se que os valores para a precipitação de 28/06 a 26/07/2022 foram um pouco maiores no período de Sica (2006).

Com base na comparação dos fatores climatológicos dois fatos chamam atenção, a direção predominante dos ventos e os índices pluviométricos. O primeiro, conforme mencionado anteriormente, por ter predominância da direção nordeste sofre mais com a influência do mar, do que do continente, ou seja, tende a apresentar maiores índices de cloretos. Em relação aos índices pluviométrico, as referências utilizadas nesta pesquisa, demonstram que a valores elevados de precipitação tende a diminuir a concentração superficial de cloretos, devido ao processo de lavagem (FERREIRA, 2022).

Fica evidente, portanto, a necessidade de mais estações para análises detalhadas do mesmo período do ano, além de ampliar no número de estações próximas a orla marinha, espaçadas de forma a verificar a influência da distância em relação ao mar para um mapeamento mais preciso. Ademais, vale ressaltar que Sica (2006), indiretamente, buscou comprovar a influência da distância para o mar alocando uma ECA a 1000 metros da orla da Praia do meio, onde essa estação apresentou uma concentração de 6 vezes menor de íons cloretos comparados com a ECA na orla da Praia do Meio.

5.4 Comparação com outros estudos do Brasil

Para comparar os resultados obtidos nesta pesquisa com outros trabalhos pelo Brasil, levou-se em consideração, inicialmente, os ensaios que foram realizados em uma faixa de 60 a 100 metros em relação a distância para o mar. Nesse sentido, buscou-se comparar as maiores concentrações de cloretos para a faixa considerada, visando verificar em qual posição São Luís - MA.

Ademais, os dados analisados são referentes aos estudos realizados nos últimos anos no Brasil, conforme a Quadro 13.

Quadro 13 – Estudos realizados no Brasil referentes a íons cloro.

Cidade	Referência	Período de Estudo
Maceió - AL	Alves (2007)	Out/2006 e Nov/2006
Vitória - ES	Borba Jr (2011)	Nov/2007 e Fev/2008
Fortaleza - CE	Campos (2016)	Out/2015 à Out/2016
Florianópolis - SC	Garcia (2008)	Nov/2006 à Nov/2007
João Pessoa - PB	Meira e Padaratz (2002)	Nov/2001 à Mar/2002
Recife - PE	Pontes (2006)	Ago/2000 à Jan/2001
São Franc. do Sul – SC	Vitali (2013)	Jan/2011 à Mai/2012
Salvador - BA	Villasboas (2013)	Out/2010 à Nov/2011

Fonte: Autor (2022).

Na análise dos comparativos das médias de concentração de íons cloro também foram utilizados os dados de Sica (2006) para fazer a comparação dos dados referentes a distância de 0-60 m. Fazendo o comparativo dos resultados de Sica (2006) com os resultados das outras cidades, percebe-se que a média de concentração de íons cloro de São Luís se encontra na penúltima posição em relação aos estudos analisados no Brasil, conforme o Quadro 14 em última posição se comparado com estudo de outros países (Quadro 15).

Quadro 14 - Taxa de deposição média de cloretos em regiões do Brasil para faixa de 0 a 60 metros de distância para o mar.

Cidade	Referência	Taxas de deposição média de cloretos (mg Cl-/m2.dia)
Fortaleza - CE (Praia do Futuro)	Campos (2016)	1498,77
Salvador - BA	Vilasboas (2013)	1150,29
Florianópolis - SC	Garcia (2008)	1096,00
Maceió - AL	Alves (2007)	740,46
São Franc. do Sul - SC	Vitali (2013)	590,77
Recife - PE	Pontes (2006)	554,40
João Pessoa - PB	Meira e Padaratz (2002)	540,74
Vitória - ES	Borba Jr (2011)	513,59
São Luís - MA	Sica (2006)	373,45
Fortaleza - CE (Praia de Iracema)	Campos (2016)	195,63

Fonte: Autor (2022).

Quadro 15 – Comparação com a média de outros países.

País	Referência	Taxas de deposição média de cloretos (mg Cl-/m2.dia)
Nigéria	Ambler and Bain (1995)	800,00
Cuba	Castañeda et al (2012)	700,00
França	Despiau et al (1991)	450,00
México	Castañeda et al (2012)	450,00
Brasil	Sica (2006)	330,36
Brasil	Santos Filho (2022)	326,27

Fonte: Autor (2022).

Por fim, analisou-se os valores máximos de íons cloro encontrados pelos estudos citados anteriormente, para zonas de 60 a 100m de distância para o mar. Nessa comparação foi utilizado o maior valor de concentração de cloretos encontrado nessa pesquisa. Os dados da pesquisa de Sica (2006) não foram inseridos, pois em seu estudo não há especificação da distância em relação ao mar. Assim, temos:

Quadro 16 - Taxa de deposição máxima de cloretos em regiões do Brasil na faixa de 60 a 100 m de distância para o mar.

Cidade	Referência	Taxa máxima de deposição de cloretos (mg Cl-/m².dia)
Fortaleza - CE (Praia do Futuro)	Campos (2016)	5285,00
Salvador - BA	Vilasboas (2013)	1351,22
São Franc. do Sul - SC	Vitali (2013)	1235,80
Fortaleza - CE (Praia de Iracema)	Campos (2016)	632,91
Recife - PE	Pontes (2006)	469,41
São Luís - MA	Santos Filho (2022)	452,40
Maceió - AL	Alves (2007)	377,4
Florianópolis - SC	Garcia (2008)	213,3
João Pessoa - PB	Meira e Padaratz (2002)	Não divulgado
Vitória - ES	Borba Jr (2011)	69,91

Fonte: Autor (2022).

Nesta comparação, nota-se que São Luís se encontra na 6ª posição. Dentre as concentrações apresentadas destacam-se os valores encontrados para a Praia do Futuro em Fortaleza/CE. Nesse sentido, buscou-se comparar os dados da pesquisa de Campos (2016), com os valores encontrados neste estudo.

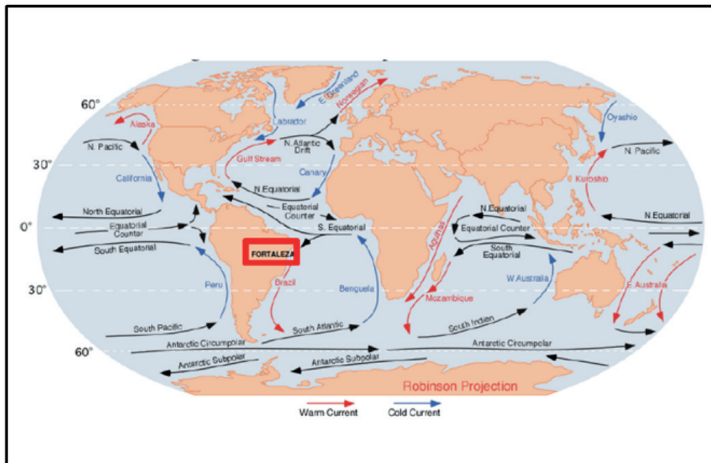
A cidade de Fortaleza, segundo dados da Marine Science, possui uma posição geográfica que corrobora para que ela apresente valores superiores às demais regiões, principalmente na região da Praia do Futuro em função das correntes superficiais oceânicas e da salinidade superficial do oceano de aproximadamente 36% à 37% (uma das maiores do mundo).

Enquanto isso, Sá (2014) em seus estudos destaca que a

salinidade da Baía de São Marcos possui uma média de 25%. Tal ator ainda afirma que o valor é justificado por conta da influência do aporte de águas fluviais que desaguam na baía de São Marcos.

Além disso, de acordo com Campos (2016), os resultados da praia do futuro foram elevados por conta da corrente oceânica que adentrava a cidade de Fortaleza/Ce de forma frontal e especificamente pela região da praia do Futuro.

Figura 48 - Correntes superficiais oceânicas.



Fonte: Alexandre (2008).

Outro ponto a se observar é em relação a velocidade dos ventos, fazendo uma comparação com os resultados obtidos no período Julho, temos que para o estudo proposto neste trabalho os índices de velocidade média foi de 1,68m/s. Enquanto isso, na pesquisa feita por Campos (2016), na região da praia do Futuro, esses ventos chegaram a uma velocidade média de 3,9 m/s, demonstrando a influência dessa variável nos resultados apresentados.

Os valores relacionados a precipitação também foram divergentes. Para o mês de Julho de 2022, a precipitação pluviométrica em São Luís/MA foi de 97,8mm, enquanto em Fortaleza, segundo os estudos de Campos (2016), esse índice foi de 25,95mm. Em relação a temperatura e umidade, os valores encontrados nas duas pesquisas foram próximos. O quadro abaixo apresenta uma comparação dos fatores climatológicos referentes as duas pesquisas citadas.

Quadro 17 - Comparação das características climatológica do estudo proposto com o de Campos (2016).

Estudo	Precipitação média mensal	Direção dos Ventos	Velocidade média do Vento	Umidade relativa	Temperatura média mensal	Salinidade superficial oceânica
Santos Filho (2022)	97,8mm	E/NE	1,68 m/s	82,03%	26,7º	25%
Campos (2016)	25,9mm	SE/E	3,90 m/s	70,00%	27,0º	36%

Fonte: Autor (2022).

Nesse sentido, diante do exposto, demonstra-se que as variáveis velocidade e direção do vento, precipitação pluviométrica e a diferença de concentração de sal nos mares das cidades de São Luís/MA e Fortaleza/CE são indicativos da disparidade entre os valores de concentração de cloretos.

5.5 Mapa de Agressividade ambiental

Conforme mencionado na seção 1, a NBR 6118:2014 apresenta as diretrizes para consideração das classes de agressividade ambiental no projeto estrutural. A norma classifica as classes em Fraca, Moderada, Forte e Muitos Forte, conforme o quadro abaixo.

Quadro 18 – Classes de Agressividade Ambiental.

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

Fonte: Adaptado da NBR 6118:2014 (2022).

É evidente, ao analisar o quadro, que a norma apresenta uma classificação subjetiva, justamente por não possuir uma classificação baseada na concentração de agentes agressivos, como por exemplos os cloretos. Nessa perspectiva, a norma deixa a critério do projetista estrutural fazer a análise do ambiente em que a edificação será inserida, tendo ainda a liberdade de estabelecer uma classe mais agressiva ou menos, dependendo de sua interpretação.

Nesse sentido, buscou-se propor uma classe de agressividade ambiental para as regiões de estudo analisadas, conforme propõe os estudos de Villasboas (2013) e Campos (2016). Esse tipo de classificação faz uma correlação entre a NBR 14643:20021 e a NBR 6118:2018, esta primeira estabelece, por meio de categorias de corrosividade, uma classificação da atmosfera. Essa classificação ocorre por meio da caracterização da atmosfera ou por medidas de taxa de corrosão de metais e ligas, tendo entres eles teores de Cloreto.

Desse modo, a norma apresenta uma classificação da contaminação da atmosfera por íons cloreto, de acordo com o quadro abaixo.

Quadro 19 – Classificação de contaminação por Cloretos.

Teor de deposição de Cl ⁻ (mg/(m ² .d))	Classificação de contaminação da atmosfera por Cl ⁻
B ≤ 3	B0
3 < B ≤ 60	B1
60 < B ≤ 300	B2
300 < B ≤ 1500	B3
Notas ¹ A determinação do teor de cloreto para esta norma está baseada no método da vela úmida 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 os objetivos desta norma a taxa de deposição de cloreto é expressa como média anual. Os resultados de medidas de curto prazo são muito variáveis e a dependência de efeitos climáticos é muito forte. ⁴ Qualquer taxa de deposição de cloreto da categoria B0 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.	

Fonte: NBR 14643 (ABNT, 2001).

Vilasboas (2013), por sua vez, propõe uma correlação entre a classe de agressividade da NBR 6118:2014 e a Tabela da NBR 14643 que classifica diversos tipos de ambientes em termos de contaminação de cloreto. Dessa forma, Vilasboas (2013) definiu:

- Classe IV (Muito Forte): Locais com concentração superior a 1500 mg/m².d.
- Classe III (Forte): Locais com concentrações no intervalo de 300 < B3 ≤ 1500 mg/m².d.
- Classe II (Moderada): Locais com concentrações entre 60 < B2 < 300 mg/m².d
- Classe I (Fraca): Locais com concentrações menores que 60 mg/m².d

Quadro 20 - Classificação das Classes de Agressividade em função da concentração de Cloretos.

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

Fonte: Adaptada de Vilasboas (2013).

Com base na metodologia de Vilasboas (2013) foi possível propor uma classificação para os 4 ambientes analisados em termos de concentração de cloretos, agressividade e risco de deterioração da Estrutura, levando em consideração os valores encontrados nas amostras das estações A, B, C e D. Devido ao pouco tempo de análise, apenas dois meses, foi utilizado o maior valor encontrado de íons cloro em mg/m².d de cada estação para a classificação.

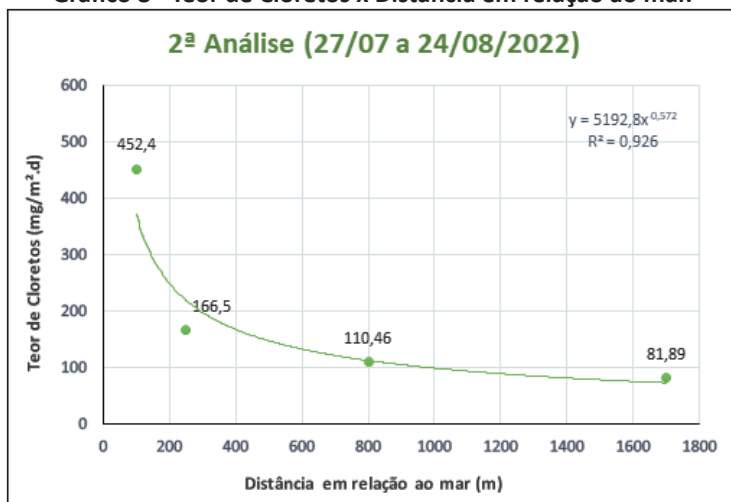
Quadro 21 – Classes de agressividade propostas para as Estações.

Classes de agressividade propostas para as Estações				
Estação	Distância para o mar (m)	Teor de cloretos (mg/m ² .d)	Risco de Deterioração	Classe de agressividade
A	100	452,40	Grande	III – Forte
B	250	166,50	Pequeno	II – Moderada
C	800	110,46	Pequeno	II – Moderada
D	1700	81,89	Pequeno	II – Moderada

Fonte: Autor (2022).

Ao analisar o trabalho de Campos (2016) e Albuquerque (2016), pode-se verificar que grande parte dos pontos que estavam a uma distância do mar equivalente, foram classificadas com classes de agressividade semelhantes, mesmo os pontos estando distantes entre si a aproximadamente 2500 metros. Nesse sentido, verifica-se a predominância da direção em relação ao mar na definição das classes de agressividade. Assim, definiu-se as classes de agressividade de acordo com a equação do gráfico 8, que relaciona a distância entre o mar e a concentração de cloretos. Por tanto, utilizou-se a equação extraída da relação potencial com coeficiente de determinação igual a $R^2=0,926$, ou seja, 92,6% da variabilidade de cloretos é explicada pela regressão, para definir as classes de agressividade das regiões de estudo.

Gráfico 8 - Teor de Cloretos x Distância em relação ao mar.



Fonte: Autor (2022).

Figura 49 – Proposta de classificação da agressividade do ar atmosférico para as regiões estudadas.



Fonte: Autor (2022).

5.6 Corrosão em estruturas de concreto próximas a área de estudo

Visando buscar uma correlação entre a agressividade do ar atmosférico nas regiões de estudo e o impacto deste nas estruturas de concreto, fez-se a análise de aproximadamente 400 poste em concreto armado em toda área analisada.

Nessa perspectiva, os dados abaixo são referentes aos postes com idade entre 6 e 30 anos. O mapa sinaliza em vermelho as estruturas que apresentam armaduras expostas ou fissuração elevada e/ou trincas, enquanto em verde destaca-se os postes onde não foram identificados sinais de corrosão.

Figura 50 - Postes com idade entre (6-30) anos.



Fonte: Autor (2022).

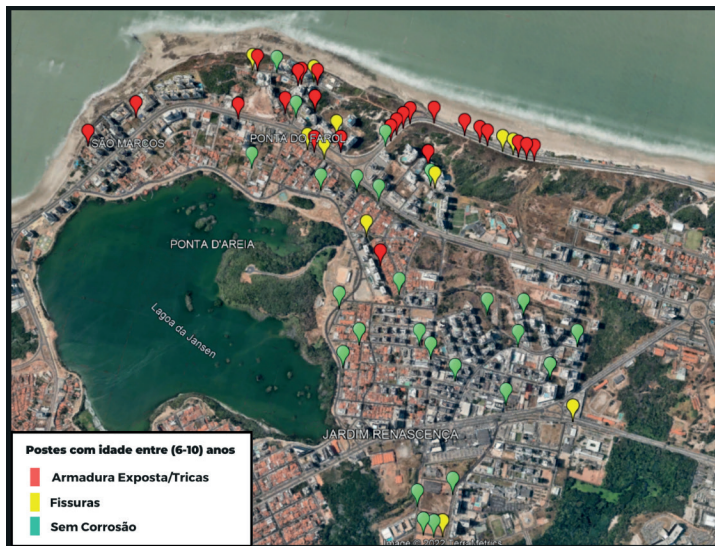
As Figuras 51 e 52 representam os dados referentes as faixas de (6-20) anos e (6-30) anos, respectivamente:

Figura 51 - Postes com idade entre (6-20) anos.



Fonte: Autor (2022).

Figura 52 - Postes com idade entre (6-10) anos.



Fonte: Autor (2022).

Durante a inspeção dos postes foram identificadas estruturas com idades entre 31-48 anos, no entanto, estes dados não foram considerados na amostra. Pois, nesse caso essas estruturas já estão em idades próximas ou superior à sua vida útil de 35 anos, conforme especificado pela NBR 8451 – Parte 1: Requisitos. Além disso, grande parte desses postes se encontravam na área do jardim renascença, não tendo uma distribuição proporcional pela área de estudo. Ademais, postes com idades de até 5 anos também não foram considerados, pois estes se concentravam nas regiões próximas a costa. Porém, vale ressaltar que a única região onde postes nessa faixa etária apresentaram fissuras foi na zona de classe III.

Podemos verificar que à medida que há um distanciamento em relação ao mar, a ocorrência de corrosão ou fissuras diminui nos postes. Em contrapartida, estruturas próximas a região considerada classe III apresentam, em sua grande maioria, corrosão ou sintomas associados ao fenômeno.

Tal premissa é possível de ser observada com mais detalhe na terceira análise, demonstrada pela Figura 52. Nessa figura podemos verificar que mesmo os postes contendo pouca idade, entre 6-10 anos, nota-se que estes já sofrem com ataques de corrosão ou com sinais de sua chegada. Outrossim, destaca-se que, em grande maioria, os postes localizados mais distantes da praia quase não apresentaram sinais de corrosão.

Além disso, percebemos que as regiões próximas a Estação B possuem uma alta concentração de postes em situação de corrosão ou fissuras características desse mecanismo de degradação. Por isso, mesmo o teor de cloretos para essa região ter sido considerada classe II, segundo a classificação imposta por Vilasboas (2013), deve-se ter atenção em relação a essa região, pois a estação se encontra em uma zona cercada de barreira naturais (dunas) de até 40 metros de altitude e prédios que podem ter tido influência em sua concentração. Assim, agindo a favor da segurança projetista podem considerar, mediante os dados apresentados nessa pesquisa, a classe III para essa região.

Vale ressaltar que durante a inspeção dos postes não foram considerados no estudo sinais de corrosão relacionados a machas marrom na superfície do concreto. Ademais, desconsiderou-se, também, focos

de corrosão identificadas na parte inferior, principalmente em áreas próximas a condomínios ou paradas. Pois, tal fenômeno normalmente está associado a urina de pessoas e animais, o que acelera a degradação da estrutura, conforme a figura abaixo:

Figura 53 - Corrosão na parte inferior do poste.



Fonte: Autor (2022).

Em seguida são demonstradas exemplo para cada situação encontrada na inspeção dos postes, apresentado quais características foram consideradas para definição das estruturas em situação de: Armadura exposta/trincas e Fissuras.

Figura 54 – Poste em situação de armadura exposta.



Fonte: Autor (2022).

Figura 55 – Poste apresentando trincas elevadas.



Fonte: Autor (2022).

Figura 56 – Poste apresentando Fissuras.



Fonte: Autor (2022).

Vale relembrar que a escolha dos postes de concreto armado se deu pressupondo que estes elementos são fabricados em locais com um controle tecnológico maior que as estruturais usais. Por esse motivo, esperava-se que essas estruturais apresentassem maior resistência as ações do meio ambiente justamente pôr em condições ideais respeitarem os parâmetros de projeto referente a durabilidade, como por exemplo, cobrimento mínimo.

No entanto, durante a avaliação verificou-se que alguns postes não possuíam um cobrimento mínimo adequado para a região onde estava sendo instalados. Levando em consideração os dados encontrados nessa pesquisa, os elementos próximos a orla deveriam, de acordo com o quadro 4, ter um cobrimento mínimo de 4cm.

A Figura 56 demonstra, por meio da inspeção feita, um poste com sinais de corrosão com apenas 2cm de cobrimento nominal. Fato esse curioso, pois mesmo sem a divulgação prévia dos dados dessa pesquisa, de forma que pudesse servir como base para determinação da classe de agressividade da região, o valor encontrado é menor que o apresentado no quadro 4 para classe de agressividade I (2,5cm).

Figura 57 – Cobrimento mínimo insuficiente.



Fonte: Autor (2022).

Evidencia-se, portanto, como o cobrimento age de forma a proteger as armaduras, sendo imprescindível como um fator de garantia da durabilidade e nunca deve ser negligenciado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da pesquisa ficou clara a influência das variáveis que podem interferir na taxa de deposição média de cloretos encontrados, como: velocidade, intensidade e direção dos ventos, distância da amostra em relação ao mar, precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa. Todos esses fatores foram analisados de forma individual buscando compreender de forma coerente os resultados das amostras.

Mediante a comparação da máxima concentração de cloretos para uma faixa de 60 a 100 metros de distância do mar, verificou-se, que São Luís ocupou a 6ª posição entre 9 estudos de cidades brasileiras analisadas, enquanto para as análises referentes a outros países, ocupou as duas últimas posições entre 4 países analisados. Além disso, quando a análise foi feita utilizando a média dos teores de íons cloro para uma faixa de 0-60m, com base nos dados de Sica (2006), São Luís ficou na penúltima posição entre 9 estudos verificados.

Visando entender esse fenômeno, comparou-se os resultados dessa pesquisa com o valor máximo de íons cloreto encontrado por Campos (2016) para a cidade de Fortaleza/CE. Diante disso, notou-se diferenças consideráveis em relação as variáveis velocidade e direção dos ventos, índices de precipitação e salinidade das águas. Notou-se que São Luís para o mesmo mês de análise em Fortaleza, apresentou valores menores de velocidade dos ventos e salinidade, além de maior precipitação. Ou seja, índices que tendem a diminuir a concentração de cloretos, influenciando diretamente nos resultados.

A análise dos dados comparativos deste estudo com o de outras cidades do Brasil demonstrou a necessidade de se verificar o teor de cloretos em outros pontos de São Luís – MA e em um período maior, seguindo uma metodologia científica em linha com as pesquisas comparadas neste trabalho. Tal premissa é confirmada com base nos estudos feitos por Campos (2016), tendo em vista que na cidade de Fortaleza - CE foram encontrados resultados divergentes, mesmo em regiões próximas a orla. Pode-se verificar que a Praia do Futuro obteve uma taxa de deposição média de cloretos quase 8,5 vezes maior que a Praia de Iracema, ambas localizadas na mesma cidade. Em relação a

comparação com os dados de Sica (2006), nota-se que a região da Praia do Meio apresentou valores superiores aos encontrados nessa pesquisa. Infelizmente, Sica (2006) não detalha em qual mês ocorreu a maior taxa de deposição, tendo divulgado somente dados referentes ao intervalo de meses, dificultando uma análise mais precisa.

Além disso, constatou-se nessa pesquisa, com base no teor máximo de cloretos encontrado e seguindo a metodologia de Vilasboas (2013), que a área de estudo analisada está predominantemente em zona de Classe II, tendo próxima a orla, zonas de Classe III.

Outrossim, mediante a análise dos sinais de corrosão nos postes em concreto armado, foi possível notar a influência do ambiente de inserção da estrutura. Pois, postes com idades semelhantes, porém em regiões diferentes, apresentaram níveis de integridade estrutural diferente. Com base na apresentação dos mapas contendo a localização dos postes, verificou-se que os postes que obtiveram sinais de corrosão se concentravam preponderantemente nas regiões próximas a orla.

É evidente, portanto, que os dados apresentados nessa pesquisa podem servir de base para parâmetros construtivos na região de estudo, visando garantir vida útil e durabilidade as estruturas. Entretanto, evidencia-se a necessidade de se alocar mais pontos, de forma a criar uma malha, abrangendo uma área de estudo maior, além de aumenta os meses de análise dos resultados. Dessa forma, é possível ter mais precisão em relação a definição da classe de agressividade.

6.1 Sugestão para trabalhos futuros

- Fazer o levantamento da concentração de íons cloro em outros pontos de São Luís, principalmente durante período de estiagem;
- Determinar o teor de cloretos no interior de corpos de prova de concreto pelo método da ABNT NBR 14832:2002, correlacionando com a distância em relação ao mar.
- Estimar a vida útil de projeto (VUP) das estruturas, mediante o teor de íons cloro encontrados na atmosfera da região em estudo, comparando os resultados com as normas vigentes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....	18
Figura 2 – Lei de Sitter.....	26
Figura 3 – Zonas de Agressividade marinha.....	29
Figura 4 – Modelo de vida útil de Tuutti.....	38
Figura 5 – Exemplo de Trinca paralela à armadura em pilar.....	40
Figura 6 – Exemplo de deslocamento da armadura em pilar.....	40
Figura 7 - Prédios da Orla de São Luís - MA.....	43
Figura 8 – Estações de coleta de dados.....	44
Figura 9 - Representação vela úmida.....	46
Figura 10 - Suporte para Vela Úmida.....	47
Figura 11 - Fabricação e Instalação de Suporte para Vela Úmida.....	48
Figura 12 - Ensaio de Vela úmida: (A) Materiais; (B) Vela úmida.....	49
Figura 13 - Dupla Camada de Gaze Cirúrgica: (A) Separação por amostra; (B) Comprimento de 1,20m	50
Figura 14 - Cilindro de PVC: (A) Gaze cirúrgica sendo enrolada; (B) Vela pronta para ser fixada no frasco coletor.....	51
Figura 15 - Materiais utilizados para fazer a solução de água glicerinada.....	52
Figura 16 - Preparo Água Glicerinada: (A) Glicerina; (B) Água desmineralizada; (B) Ácido Octanóico.....	52
Figura 17 - Água Glicerinada pronta para uso.....	53
Figura 18 - Água Glicerinada: (A) Volume adicionado de 200ml; (B) Adição no frasco coletor.....	54
Figura 19 - Vela úmidas prontas para serem inseridas no ambiente de estudo.....	54

Figura 20 - Estação A.....	56
Figura 21 - Estação B.....	57
Figura 22 - Estação C.....	58
Figura 23 - Estação D.....	59
Figura 24 - Distância entre o topo da Vela úmida e a cobertura	60
Figura 25 - Retirada dos Fios de Plástico (Fitolho).....	61
Figura 26 - Velas úmidas protegidas com plástico para transporte do material.....	61
Figura 27 - Velas úmidas acomodadas no Isopor para transporte.....	62
Figura 28 – Retirada do cilindro de PVC.....	62
Figura 29 – Gaze Cirúrgica exposta ao ambiente de molho.....	63
Figura 30 - Armazenamento da amostra exposta ao ambiente.....	64
Figura 31 - Recipientes contendo amostras e água de lavagem.....	64
Figura 32 - Processo de agitação da Gaze Cirúrgica.....	65
Figura 33 - Gaze Cirúrgica sendo torcida para retirada de íons cloreto..	66
Figura 34 - Adição de água de lavagem na amostra.....	66
Figura 35 - Amostras prontas para serem enviadas ao laboratório	67
Figura 36 - Adição do indicador Cromato de Potássio à amostra.....	69
Figura 37 - Determinação do teor de cloreto pelo método de Mohr....	70
Figura 38 – Precipitação pluviométrica anual no Estado do Maranhão...	74
Figura 39 – Média anual da umidade relativa do Maranhão.....	76
Figura 40 – Temperatura média (°C) anual do Maranhão.....	78
Figura 41 – Direção predominante dos ventos no período da 1ª análise..	80
Figura 42 - Classes de velocidade do vento (m/s) referentes ao período da 1ª análise.....	80

Figura 43 – Direção predominante dos ventos no período da 2ª análise...	81
Figura 44 - Classes de velocidade do vento (m/s) referentes ao período da 2ª análise.....	82
Figura 45 – Intensidade dos ventos em São Luís (1981-2010).....	82
Figura 46 – Predominância da direção dos ventos em São Luís - MA (2002-2005).....	88
Figura 47 - Médias de temperatura, precipitação e umidade relativa (2002 a 2005).....	89
Figura 48 - Correntes superficiais oceânicas.....	95
Figura 49 – Proposta de classificação da agressividade do ar atmosférico para as regiões estudadas.....	100
Figura 50 - Postes com idade entre (6-30) anos.....	101
Figura 51 - Postes com idade entre (6-20) anos.....	102
Figura 52 - Postes com idade entre (6-10) anos.....	102
Figura 53 - Corrosão na parte inferior do poste.....	104
Figura 54 – Poste em situação de armadura exposta.....	105
Figura 55 – Poste apresentando trincas elevadas.....	106
Figura 56 – Poste apresentando Fissuras.....	106
Figura 57 – Cobrimento mínimo insuficiente.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Gastos relacionados a construções em países desenvolvidos...	13
Tabela 2 – Limites máximos, porcentagem, dos teores de cloretos e sulfatos.....	17
Tabela 3 – Valores mínimos para Vida Útil de Projeto (VUP).....	24
Tabela 4 - Quantificação da VUP segundo a Norma BS 7543.....	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores de velocidade crítica.....	32
Quadro 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA).....	33
Quadro 3 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....	34
Quadro 4 – Classes de Agressividade Ambiental (CAA).....	35
Quadro 5 – Coordenadas e Altitude das Estações.....	44
Quadro 6 – Volume inicial e Final das amostras após 28 dias.....	65
Quadro 7 – Soluções e Reagentes utilizados no método de Mohr.....	68
Quadro 8 – Teor de cloretos em mg/L (1ª Análise).....	83
Quadro 9 – Teor de cloretos em mg/L (2ª Análise).....	83
Quadro 10 – Teor de cloretos em mg/m ² .d (1ª Análise).....	84
Quadro 11 – Teor de cloretos em mg/m ² .d (2ª Análise).....	84
Quadro 12 - Taxa de deposição média de cloretos (mg Cl-/m ² .dia) em São Luís - MA.....	87
Quadro 13 – Estudos realizados no Brasil referentes a íons cloro.....	91
Quadro 14 - Taxa de deposição média de cloretos em regiões do Brasil.....	92
Quadro 15 – Comparação com a média de outros países.....	93
Quadro 16 - Taxa de deposição máxima de cloretos em regiões do Brasil.....	94
Quadro 17 - Comparação das características climatológica do estudo proposto com o de Campos (2016).....	96
Quadro 18 – Classes de Agressividade Ambiental.....	96
Quadro 19 – Classificação de contaminação por cloretos.....	97
Quadro 20 - Classificação das Classes de Agressividade em função da concentração de Cloretos.....	98
Quadro 21 – Classes de agressividade propostas para as Estações.....	99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Etapas com maior frequência de manifestações patológicas...27

Gráfico 2 – Precipitação Pluviométrica de São Luís de Janeiro a Outubro (2022).....75

Gráfico 3 - Precipitação pluviométrica no período do Estudo proposto.....75

Gráfico 4 – Umidade relativa no período do Estudo proposto.....77

Gráfico 5 – Temperatura no período do estudo proposto.....79

Gráfico 6 – Relação teor de cloretos x distância para o mar (1ª Análise)...85

Gráfico 7 – Relação teor de cloretos x distância para o mar (2ª Análise)...86

Gráfico 8 - Teor de Cloretos x Distância em relação ao mar.....100

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI - Aliança Cooperativa Internacional

CAA – Classe de Agressividade Ambiental

CEUMA – Centro Universitário do Maranhão

ECA – Estação de Corrosão Atmosférica

INMET – Instituto Nacional da Meteorologia

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NUGEO – Núcleo Geoambiental

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

UFMA – Universidade Federal do Maranhão

VU – Vida Útil

VUP - Vida Útil de Projeto

REFERÊNCIAS

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

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

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

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

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

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

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

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

_____. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 8451: Postes de concreto armado para redes de distribuição de energia elétrica – Especificação**. Rio de Janeiro, 2022.

ALVES, A. M. C. **Contribuição à análise da perspectiva de vida útil de estruturas em concreto em face ao teor de cloreto registrado em Maceió - AL**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL.

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

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

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

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

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

BATTAGIN, A.F. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em < https://abcp.org.br/basico_sobre_cimento/historia.shtml > . Acesso em: 20 set. 2021.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: Novos Materiais para Construção Civil**. v.1. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, p. 409.

BERTOLINI, L.; ELSENER, B.; PEDEFERRI, P.; POLDER, R. B. **Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair**. 2ª Edição, Weinheim: Ed. Wiley-VCD, 2004.

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

BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado, eu te amo, para arquitetos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006, p. 34.

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

BS 7543 (1992). British Standards Institution. **Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components**: British Standards Institution: London, United Kingdom.

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

CAMPOS, Ana Mara da Rocha. **Estudo da agressividade do ar atmosférico de Fortaleza/CE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

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

CARVALHO, R.C. ; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado – Segundo a NBR 6118:2003**. São Carlos, EdUFSCar, 2a . Ed., 2004, 374p.

COLE, I. S.; GANTHER, W. D.; PATERSON, D. A.; FURMAN, S. A.; LAU, D. Holistic model for atmospheric corrosion. Part 2 - Experimental measurement of deposition of marine salts in a number of long range studies. **Journal Corrosion Engineering, Science and Technology**.

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

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

DOTTO, J. M. R. Ataque por íons de cloreto custa R\$ 800 milhões por ano ao Brasil. Entrevista concedida a Altair Santos, 01 de agosto de 2012. Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/ataques-por-ions-de-cloreto-custa-r-800-ilhoespor-ano-ao-brasil/> Acesso em 10.03.2022.

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

FERREIRA, Pablo Ramon Rodrigues. **Modelagem probabilística para previsão do tempo de iniciação da corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado expostas em zonas de atmosfera marinha.** Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2022.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados.** 2a ed. São Paulo: Pini, 2012.

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

GENTIL, V. **Corrosão.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GUSTAFSSON, M. E. R.; FRANZÉN, L. G. Dry deposition and concentration of marine aerosols in a coastal area, SW Sweden. **Atmospheric Environment.** V. 30, N. 6, p. 977- 989, 1996.

HELENE, Paulo; BOLINA, Fabricio, Longhi; TUTIKIAN, Bernardo, Fonseca. **Patologia de Estruturas.** Ed.: Oficina de Texto, 2019.

HELENE, Paulo. ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland**. In: **ISAIA, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007.

HELENE, P. R. L. **Análise da resistência à compressão do concreto em estruturas de acabadas com vistas à revisão da segurança estrutural**. Revista Alconpat, v. 1, n. 1, p. 64-89, enero-abril de 2011.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Órgão governamental com informações sobre o tempo e o clima no Brasil. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acessado em: entre agosto de 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241: Performance standards in building – principles for their preparation and factors to be considered**. 1984.

ISAIA, Geraldo Cechella. **O concreto da era clássica à contemporânea**. In: **ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 1, p. 1-41.

KAEFER, L.F. **A Evolução do Concreto Armado**, 1998. Disponível em: <<https://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2021.

KNECHTEL, Maria do Rosário. **Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada**. Curitiba: Intersaberes, 2014.

LEITE, Carolina Gaspar. **Alterações na ventilação urbana frente ao processo de verticalização de avenidas litorâneas: o caso da Avenida Litorânea de São Luís/MA**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP. São Paulo, 2008.

LIN, G.; LIU, Y.; XIANG, Z. Numerical modeling for predicting service life of reinforced concrete structures exposed to chloride environments. **Cemente and Concrete Composites**. V 32 (8), p. 571-579, 2010.

The Geographic World. SÃO LUÍS MARANHÃO - DRONE. Youtube, 22 de março de 2020. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=1AWvQ0mpvhs>>. Acesso em: 12 de junho de 2022.

MACGREGOR, J. G. **Reinforced concrete — mechanics & design**. New Jersey: PrenticeHall, 1992.

MCCORMAC, J.C; NELSON, J.K. **Design of reinforced concrete – ACI 318-05 Code Edition**. 7ª ed., John Wiley & Sons, 2006.

MEDEIROS, Marcelo H. F. ; ANDRADE, J. J. O. ; HELENE, Paulo . **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: Geraldo Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011.

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

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. Revisores e coordenadores: N. P. Hasparyk; P. Helene; V. A. Paulon. Ibracon: São Paulo, 2008. 3ª Ed. 674p.

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção / Gibson Rocha Meira**. – João Pessoa: IFPB, 2017.

MEIRA, Gibson Rocha; PADARATZ, Ivo José. Efeito do distanciamento em relação ao mar na agressividade por cloretos. In: REUNIÃO ANUAL DO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 2002, Belo Horizonte. **Anais**. São Paulo: Ibracon, 2002.

MEIRA, G. R.; ANDRADE, C.; ALONSO, C.; PADARATZ, I. J.; BORBA Jr., J. C. Modelling sea-salt transport and deposition in marine atmosphere zone - A tool for corrosion studies. **Corrosion Science**. V 50 (9), p. 2724-2731, 2008.

MORCILLO, M. et al. Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site. **Corrosion Science**,

v. 42, p. 91-104, 2000. Disponível em:<<http://144.206.159.178/FT/251/9769/188074.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução: Ruy A. Cremonimi. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NUCLEO GEOAMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. **Laboratório de Meteorologia**. Disponível em: http://www.nugeo.uema.br/?page_id=81. Acesso em: 13 mar. 2022.

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

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

PETRUCCI, E. G. R. – **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. rev. por Vladimir Antonio Paulon – São Paulo: Globo, 1998.

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

RIBEIRO, D. et al. **Corrosão em Estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

RIPPER, Thomaz; SOUZA, Vicente Custódio Moreira de. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2007.

RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

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

SÁ, Joyse de Mesquita Lindoso de. **Avaliação do Monitoramento de Águas Costeiras na Baía de São Marcos em São Luís, Maranhão**. 2014. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2014.

SICA, Y. C. **Mapeamento da corrosividade atmosférica de São Luís - MA e a correlação das variáveis ambientais que influenciaram na degradação dos materiais metálicos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SILVA, Valdirene. **Ação da Carbonatação em Vigas de Concreto Armado em Serviço, Construídas em Escala Natural e Redizida**. 2007. 281. Tese (Doutorado) Curso de Engenharia de Estruturas, Univ. de São Paulo, São Paulo, São Paulo.

SITTER, W. R. **Costs for service life optimization. The “Law of fives”**. In: **DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES – CEB-RILEM INTERNATIONAL WORKSHOP**. Proceedings. Copenhagen, p. 18-20. Workshop Report by Steen Rostam. Copenhagen, 1984.

SWAMMY, R.N.; HAMADA, H.; LAIW, J. C. **A critical evaluation of chloride penetration into concrete in marine environment**. *in*: proceedings of the international conference on corrosion and corrosion protection of steel in concrete (edited by swamy, 1994: sheffield – uk). proceedings. sheffield: sheffield academic press, 1994. p. 404-419.

TORRES, A. S. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise**. Tese (Doutorado em Engenharia na modalidade Acadêmico) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

UEDA, T.; TAKEWAKA, K. Performance-based Standard Specifications

for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan. **Structural Engineering International**, v. 4, p. 359-366, 2007. VASCONCELOS, A.C. **O concreto no Brasil – Recordes, Realizações, História**. São Paulo, Ed. Pini, 2a ed., v.1, 1985, 277p.

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

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

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

PATROCINADORES DA PESQUISA

The logo for 'eng sette' features the word 'eng' in white lowercase letters above 'sette' in white lowercase letters. To the right of the text is a stylized graphic element consisting of two overlapping L-shaped brackets, one in white and one in a light teal color.

eng
sette

The logo for 'ENG SETTE PRO' features a stylized graphic element on the left consisting of two overlapping L-shaped brackets, one in white and one in blue. To the right of the graphic, the words 'ENG', 'SETTE', and 'PRO' are stacked vertically in a bold, sans-serif font. 'ENG' and 'SETTE' are in dark blue, and 'PRO' is in a lighter blue.

ENG
SETTE
PRO

Acesse: www.engsette.com.br