



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FLÁVIA FEDERICO ALBUQUERQUE

**ATUALIZAÇÃO DO MAPA DE AGRESSIVIDADE
AMBIENTAL DE SALVADOR – BA COM DADOS DE
DEPOSIÇÃO DE CLORETOS**

Salvador

2016

FLÁVIA FEDERICO ALBUQUERQUE

**ATUALIZAÇÃO DO MAPA DE AGRESSIVIDADE
AMBIENTAL DE SALVADOR-BA COM DADOS DE
DEPOSIÇÃO DE CLORETOS**

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Lemos Machado

Salvador

2016

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as dádivas da vida.

A minha família, pelo suporte e amor incondicional que sempre me dedicaram.

A minha mãe Giselda e meu pai Ricardo, por todo o carinho e incentivo e por sempre me apoiarem em minha vida acadêmica.

A minhas avós e irmãs, pela companhia e cumplicidade.

Ao professor Sandro Lemos Machado, pela inigualável orientação, dedicação, estímulo e entusiasmo empreendidos, pelos conhecimentos e experiências transmitidos e, principalmente, pelas cobranças e correções necessárias, me incentivando sempre a seguir em frente.

Ao professor Marcílio Vilasboas, pelos esclarecimentos e disponibilidade oferecidos e pelo excelente trabalho e dedicação ao longo dos anos que resultaram em diversas publicações, que serviram de base e inspiração para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao corpo docente da UFBA, pelo qual tenho muita admiração, agradeço por darem o melhor de si para a formação dos alunos e por todos os ensinamentos. Em especial, agradeço aos professores que despertaram o meu interesse pelas estruturas de concreto, professora Tatiana e professor Antônio Sérgio, pelos conhecimentos transmitidos, de muita valia para este trabalho e para a minha formação como engenheira.

Aos chefes e colegas de trabalho dos estágios pelos quais passei, que muito me ensinaram e incentivaram a crescer.

Finalmente, a todos aqueles que, direta e indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.

RESUMO

As estruturas de concreto armado, quando inseridas em zonas de atmosfera marinha, sofrem com processos corrosivos que afetam sua durabilidade, causados, em grande parte das vezes, pelos íons cloretos. Um dos principais parâmetros analisados na concepção dos projetos estruturais a fim de minimizar estes processos é a definição da classe de agressividade ambiental, estipulada a partir dos parâmetros da NBR 6118 (ABNT, 2014). Há, no entanto, dificuldades por parte dos projetistas em se definir a extensão dos ambientes agressivos em zonas costeiras, motivo pelo qual diversos estudos foram realizados com o intuito de se estudar as taxas de deposição de cloretos e sua relação com a distância ao mar nestas regiões, como é o caso do estudo de Marcílio Vilasboas (2013). Com o propósito de facilitar a identificação das classes de agressividade ambiental encontradas nos bairros da cidade de Salvador – Bahia, este trabalho realizou a incorporação de duas novas variáveis (altura e existência de construções vizinhas) ao modelo utilizado por Vilasboas (2013) para calcular a taxa de deposição de cloretos na capital baiana, possibilitando a verificação da influência destas variáveis nos resultados e a atualização do mapa de agressividade ambiental de Salvador a partir de dados experimentais.

Palavras-chave: Agressividade ambiental. Corrosão. Concreto armado. Deposição de cloretos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Distribuição de falhas na Espanha por tipo de elemento estrutural (em %)	15
Figura 2.2 – Distribuição de falhas estruturais no Brasil por etapa construtiva (em %).....	16
Figura 2.3 – Causas de defeitos em edificações e tipologia dos erros de projeto	16
Figura 2.4 – Deterioração progressiva devido à corrosão das armaduras.....	17
Figura 2.5 – Influência do teor de umidade sobre o risco de corrosão do concreto	22
Figura 2.6 – Representação esquemática dos pontos de instalação do aparato da vela úmida e localização das estações climatológicas do aeroporto e do bairro de Ondina.....	25
Figura 2.7 – Relação entre as deposições de cloretos real e calculada com a eq. 2.1, e a distância corrigida em relação ao mar	27
Figura 2.8 – Correlação entre os valores de deposição de cloretos ($\text{mg}/(\text{m}^2.\text{dia})$) calculados com a equação 2.1 e os valores reais obtidos experimentalmente	27
Figura 3.1 – Representação esquemática da nova variável, ângulo θ	32
Figura 3.2 – Relação entre o erro relativo e o ângulo θ (rad)	34
Figura 3.3 – Relação entre o erro relativo e a altitude H (m)	34
Figura 3.4 – Uso e Ocupação do solo de Salvador – Bahia.....	38
Figura 4.1 – Relação entre as deposições de cloretos real e calculadas com as eq. 2.1 e 4.1, e a distância corrigida em relação ao mar	47
Figura 4.2 – Correlação entre os valores de deposição de cloretos ($\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$) calculados com a equação 4.1 e os valores reais obtidos experimentalmente	48
Figura 4.3 – Relação entre as deposições de cloretos real e calculadas com as eq. 2.1 e 4.2, e a distância corrigida em relação ao mar	48
Figura 4.4 – Correlação entre os valores de deposição de cloretos ($\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$) calculados com a equação 4.2 e os valores reais obtidos experimentalmente	49
Figura 4.5 – Relação entre as deposições de cloretos real e calculadas com as eq. 2.1 e 4.3, e a distância corrigida em relação ao mar	51
Figura 4.6 – Correlação entre os valores de deposição de cloretos ($\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$) calculados com a equação 4.3 e os valores reais obtidos experimentalmente	51
Figura 4.7 – Perfil vertical da velocidade do vento	53
Figura 4.8 – Linhas de fluxo do vento atuando em uma edificação em diferentes sentidos.....	55
Figura 4.9 – Classificação dos bairros de Salvador com base nos resultados de deposição de cloretos em $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{dia})$ obtidos a partir da equação 4.3	64

Figura 4.10 – Classificação de agressividade ambiental dos bairros de Salvador de acordo com os resultados obtidos na tabela 4.3	65
Figura 4.11 – Mapa de Salvador, caracterizado por zonas e suas classes de agressividade	66
Figura 4.12 – Classificação das diferentes zonas de agressividade ambiental de Salvador de acordo com os resultados obtidos por Vilasboas e Machado (2010)	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)	12
Tabela 2.2 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	13
Tabela 2.3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.....	13
Tabela 2.4 – Localização dos pontos de medida de deposição do íon cloreto em Salvador	23
Tabela 2.5 – Resumo dos dados climatológicos. Estações situadas em Ondina e no aeroporto (agosto/2010 a janeiro/2012)	26
Tabela 2.6 – Classificação de contaminação por Cl ⁻	28
Tabela 2.7 – Resumo da deposição de cloretos nas estações E1 - E10 e valores calculados com a equação 2.1 proposta por Vilasboas (2013).....	30
Tabela 2.8 – Resumo da deposição de cloretos nas estações E11 – E20 e valores calculados com a equação 2.1 proposta por Vilasboas (2013).....	31
Tabela 3.1 – Resultado da nova variável, ângulo θ , por estação de monitoramento	33
Tabela 3.2 – Resumo da deposição média de cloretos no litoral nordestino	36
Tabela 3.3 – Características de ocupação por categoria de ocupação do solo	39
Tabela 3.4 – Dados dos bairros de Salvador para cálculo de deposição de Cl ⁻	40
Tabela 4.1 – Resumo da deposição de cloretos nas estações E1 – E20, valores calculados com a equação 4.3 ..	50
Tabela 4.2 – Classificação do terreno quanto à rugosidade.....	54
Tabela 4.3 – Resultados encontrados por Costa (2001) e calculados com a equação 4.3.....	56
Tabela 4.4 – Resultados de deposição de cloretos em mg/(m ² .dia) nos bairros de Salvador.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivos	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Aspectos normativos	11
2.2	Aspectos que influenciam na durabilidade das estruturas de concreto.....	14
2.2.1	Propriedades do concreto	17
2.2.2	Propriedades do meio ambiente	20
2.3	Estudos anteriores.....	23
3	METODOLOGIA	32
3.1	Metodologia utilizada para verificar e analisar os dados existentes e melhorar sua significância	32
3.2	Metodologia utilizada para atualizar o mapa de agressividade ambiental anterior e verificar os seus resultados.....	37
4	RESULTADOS E ANÁLISES	47
4.1	Modelagem da taxa de deposição de cloretos	47
4.2	Análise da contribuição do ângulo teta (θ) e da rugosidade do terreno	52
4.3	Análise da contribuição da altitude (H)	57
4.4	Apresentação dos resultados de deposição de cloretos por bairro	58
4.5	Apresentação dos mapas	63
4.5.1	Mapa de deposição de cloretos	64
4.5.2	Mapa de agressividade ambiental	64
4.5.3	Comparação com os mapas apresentados anteriormente	66
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
6	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

O cenário da construção civil atual demonstra diversos problemas relacionados com a agressividade ambiental dos meios onde se constrói. Salvador, por ser uma cidade litorânea, de clima quente e úmido durante a maior parte do ano, apresenta um ambiente bastante agressivo para o concreto armado. Assim sendo, é comum encontrar nesta cidade estruturas que sofrem danos por processos corrosivos que atingem o aço utilizado em sua composição, o que compromete severamente a resistência e durabilidade destas estruturas.

O estudo das classes de agressividade ambiental encontradas na zona urbana de Salvador visa a identificar as regiões nas quais o concreto armado é mais propício a sofrer corrosão precoce, a fim de criar parâmetros que diminuam a probabilidade de ocorrência de patologias.

A conservação de uma estrutura é de extrema importância para garantir a sua vida útil de projeto, devendo-se construí-la de acordo com critérios adequados aos esforços e condições às quais ela estará sujeita. Uma estrutura subdimensionada poderá se deteriorar muito mais rapidamente e necessitará de excessivos e custosos cuidados com manutenção para que tenha a mesma durabilidade de uma estrutura bem dimensionada, além de representar maior risco aos parâmetros de segurança da construção. Os gastos para recuperar e reabilitar uma estrutura danificada em fase de operação serão sempre superiores ao que poderia ser gasto na fase de projeto para torná-la mais durável, sendo superiores também ao que poderia ser gasto com manutenção preventiva antes de sua deterioração.

No âmbito da construção civil verificam-se problemas que muitas vezes são deixados de lado pelas construtoras, sem as devidas correções devido aos prazos apertados no cronograma, mesmo sabendo que em um futuro próximo causarão danos à estrutura. Entretanto, é necessário que o estudo do problema de reforço e manutenção de estruturas seja visto com maior importância pelo engenheiro, sendo justificado pelas seguintes razões:

- Fortes repercussões nas mídias para o setor da construção civil, pois as obras se encontram expostas aos olhares de todos, usuários ou passantes, de forma que seus erros muitas vezes não podem ser escondidos;
- Grande volume de negócios: o mercado de restauração e conservação de estruturas está cada vez mais em alta. Na medida em que as edificações se tornam mais velhas, surgem com maior frequência patologias e falhas a serem corrigidas e considerando a

retração da construção civil pela qual passa o país atualmente vê-se a manutenção de estruturas como um grande mercado;

- Legislação atual e futura, sendo cada vez mais visado o alto desempenho – inclusive estrutural – das edificações, inferindo maiores responsabilidades sociais e legais aos projetistas e executores;
- Aprender com os erros cometidos anteriormente, para evitar que sejam repetidos e continuem afetando negativamente os resultados atuais.

Segundo Cánovas (1988), os concretos compactos e realizados com cimento adequado nada têm a temer diante das ações corrosivas de tipo químico devidas aos sulfatos e cloretos da água do mar. Dentre os parâmetros que melhor protegem o concreto armado frente a ambientes agressivos destacam-se: o aumento do recobrimento de proteção das armaduras, o aumento da classe de resistência do concreto, em função de seu f_{ck} e a diminuição da porosidade do concreto, sendo este último relacionado ao aumento de resistência e durabilidade das estruturas. Outra ação que pode ser utilizada para controlar a corrosão das armaduras é a proteção catódica, adequada para preservar estruturas em condições adversas de exposição, porém esta técnica ainda é pouco aplicada no Brasil.

Apesar das normas brasileiras definirem os requisitos de projeto e parâmetros construtivos a serem seguidos em cada classe de agressividade ambiental, ainda é muito difícil definir corretamente qual é a agressividade do ambiente no qual o concreto estará inserido. Em uma cidade como Salvador, dividida entre parte alta e baixa, com influência de respingos de maré em regiões marítimas e outras regiões inseridas dentro de uma baía protegida pelos obstáculos que a contornam, torna-se especialmente complexa a determinação da classe de agressividade a qual está sujeita cada estrutura.

Estudos realizados por Vilasboas (2004) possibilitaram a realização de um mapa que classificava diferentes zonas de agressividade ambiental de Salvador-BA, apresentado por Vilasboas e Machado (2010). Este mapa, porém, foi baseado em dados empíricos e práticos, sem considerar dados teóricos ou experimentais. Os estudos de Vilasboas (2013) trazem novas contribuições que permitem atualizar e validar o mapa existente, a partir de dados experimentais de deposição de cloretos em diversos pontos da cidade, o que impulsionou a realização do presente trabalho.

1.1 Objetivos

O atual trabalho tem como principal objetivo incorporar duas novas variáveis (altura e existência de construções vizinhas) ao modelo utilizado por Vilasboas (2013) para calcular a taxa de deposição de cloretos em Salvador-BA e atualizar o mapa de agressividade ambiental de Salvador a partir de dados experimentais, verificando a veracidade e confiabilidade do mapa anterior com base em resultados de deposição de cloretos em estruturas, obtidos em diversos pontos da cidade de Salvador por Vilasboas (2013).

Estas duas ferramentas constituem formas fáceis e rápidas de identificar as diferentes áreas de Salvador para que em cada nova construção ou reforma que venha a utilizar o concreto armado possa-se buscar um referencial adequado para sua classe de agressividade ambiental. Desta forma, espera-se auxiliar para que as estruturas sejam projetadas dentro dos limites corretos a fim de garantir a sua estanqueidade frente ao ataque de cloretos e sua durabilidade em longo prazo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos normativos

Segundo a norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014), todas as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade, durante sua construção e em serviço, classificados quanto a: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. Para tal se faz necessário atender aos requisitos de qualidade de projeto, adotando uma solução adequada, verificando corretamente as condições impostas ao projeto e documentando de forma clara e consistente as informações necessárias para sua execução.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) cita ainda no seu item 6, referente às diretrizes para a durabilidade das estruturas de concreto, que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil. Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

A fim de garantir a qualidade do concreto armado é necessário, portanto, assegurar as condições de suas armaduras. Dentre os mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura do concreto a norma cita a despassivação por ação de cloretos. Este fenômeno consiste na ruptura local da camada de passivação (de proteção das armaduras pela formação de um ambiente altamente alcalino), causada por elevado teor de íon-cloro. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável o uso de um concreto de baixa porosidade e de cimento composto com adição de escória ou material pozolânico.

Para medir o risco de deterioração das estruturas, foram definidas Classes de Agressividade Ambiental (CAA) relacionadas às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na tabela 2.1 (NBR 6118, 2014).

Tabela 2.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

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 ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	
^a	Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).		
^b	Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.		
^c	Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.		

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

É importante destacar que o responsável pelo projeto estrutural, não deverá obrigatoriamente utilizar a classificação conforme a tabela 2.1, podendo considerar classificação mais agressiva, de posse de dados relativos ao ambiente em que será construída a estrutura, quando julgar adequado. Em casos como o da cidade de Salvador, zona urbana, porém localizada na costa marítima, é interessante diferenciar as áreas que podem ser submetidas a uma agressividade forte ou muito forte.

No que se refere à durabilidade das armaduras, os principais critérios de projeto a serem definidos são com relação à qualidade e espessura do concreto de cobrimento. A fim de assegurar a qualidade do concreto existem dois fatores fundamentais: a relação água-cimento e a classe do concreto – definida pela sua resistência característica à compressão, conforme a NBR 8953 (ABNT, 2011).

A NBR 6118 (ABNT, 2014), traz em seu item 7.4.2, relativo à qualidade do concreto de cobrimento, que ensaios comprobatórios de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se que sejam adotados os requisitos mínimos expressos na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – 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).

Por fim, consta também na referida norma, que a espessura de cobrimento nominal (com tolerância de execução de 10 mm) será dada em função da Classe de Agressividade Ambiental definida em projeto, de acordo com a tabela 2.3, a depender do elemento estrutural em questão. Para garantir o cobrimento mínimo (c_{\min}), o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal (c_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc). Assim, as dimensões das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimentos nominais, estabelecidos na tabela 2.3, para $\Delta c = 10$ mm.

Tabela 2.3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		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 Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para 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, respeitado 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: NBR 6118 (ABNT, 2014).

A determinação correta de todos estes parâmetros é essencial para a execução adequada das estruturas de concreto armado, com o intuito de assegurar sua durabilidade. Percebe-se que a agressividade ambiental é fator decisivo para diversos critérios de projeto, sendo recomendável ao projetista buscar o máximo de informações possíveis que validem a escolha realizada para a edificação em estudo.

2.2 Aspectos que influenciam na durabilidade das estruturas de concreto

Segundo Ribeiro *et al.* (2014) a evolução da construção civil, com o aperfeiçoamento dos sistemas construtivos e dos métodos de cálculo, apresentou duas faces diferentes de uma mesma moeda: ao passo que permitiu maior produtividade e menores custos, de acordo com as premissas capitalistas que se impunham, também foi responsável pelo aumento da esbelteza das estruturas, com redução do cobrimento das armaduras e aumento substancial das tensões de trabalho, o que contribuiu decisivamente para uma menor durabilidade das edificações.

A norma NBR 15575 Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) define durabilidade como a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas, sendo comumente utilizado como termo qualitativo para expressar a condição em que a edificação ou seus sistemas mantêm seu desempenho requerido durante a vida útil. Existem diversos processos de deterioração do concreto que influenciam na sua durabilidade. A seguir são listados os principais, divididos em físicos, químicos ou físico-químicos.

Processos físicos:

- Desgaste superficial (abrasão, erosão, cavitação);
- Cristalização de sais nos poros;
- Ação de congelamento;
- Ação de fogo;
- Fissuração por deformação.

Processos químicos ou físico-químicos:

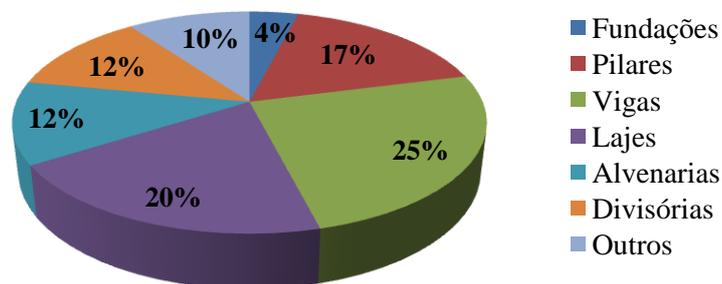
- Lixiviação;
- Expansão (ação de sulfatos, reação álcali-agregado, corrosão de armaduras).

A agressividade ambiental é o fator principal para determinação dos riscos de corrosão de armaduras. O processo corrosivo gera tensões de tração internas que podem levar à fissuração e desagregação de parte da estrutura de concreto, devido ao aumento de volume do metal e por conta de produtos da corrosão, como a ferrugem. A durabilidade das estruturas em concreto armado é, portanto, altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura.

Vê-se que o cobrimento constitui-se em um fator de grande importância por proteger as armaduras da agressividade ambiental, e deve ser indicado e executado com criterioso cuidado. O valor mínimo de cobrimento nominal deve ser determinado segundo os parâmetros das tabelas apresentadas nos aspectos normativos.

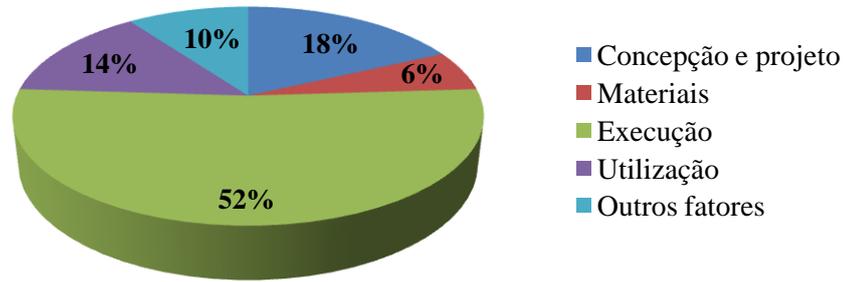
Outro critério que pode influenciar na durabilidade das estruturas de concreto é o tipo de elemento em que estão inseridas, como pode ser verificado na figura 2.1. Historicamente, verifica-se que os elementos que mais sofrem com danos de corrosão são as vigas e lajes, por possuírem menor robustez, maior superfície específica e normalmente estarem mais expostos ao ambiente externo (GEHO, 1992). Os pilares costumam ser projetados embutidos em outras partes da construção, como alvenarias e vedações, o que os torna mais protegidos. Quanto às fundações, na maioria dos casos sofrerão menos com a corrosão por não estarem em contato direto com a atmosfera e por terem normalmente maiores cobrimentos, quando executadas de acordo com a normativa vigente, exceto para fundações em contato com água marítima, como palafitas, marinas e píeres.

Figura 2.1 – Distribuição de falhas na Espanha por tipo de elemento estrutural (em %)

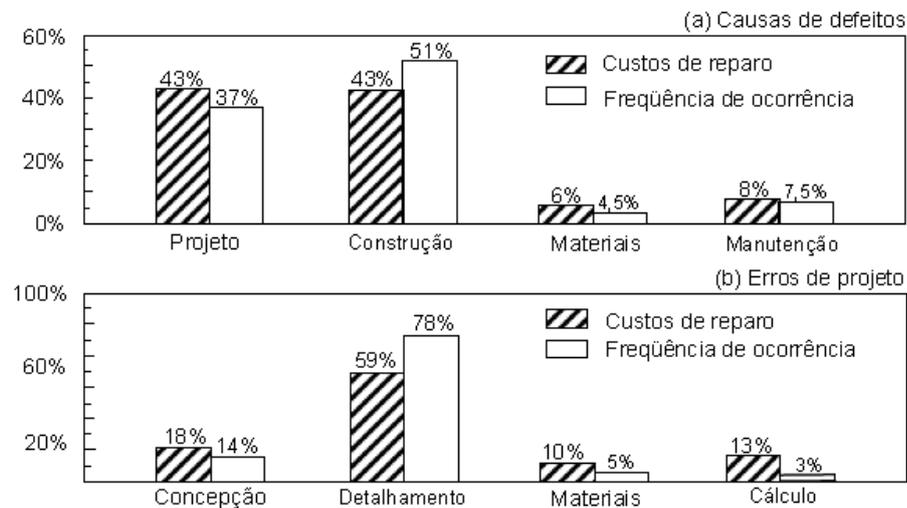


Fonte: Adaptado de GEHO (1992).

Atualmente verifica-se um alto índice de casuística das falhas em estruturas de concreto armado devido a falhas de concepção e projeto, ficando atrás, no Brasil, somente das falhas por execução, conforme pode ser verificado nas figuras 2.2 e 2.3.

Figura 2.2 – Distribuição de falhas estruturais no Brasil por etapa construtiva (em %)

Fonte: Adaptado de Ripper (2002).

Figura 2.3 – Causas de defeitos em edificações e tipologia dos erros de projeto

Fonte: Clímaco *apud* Vilasboas (2004).

Dentre as falhas ocorridas na etapa de execução as principais causas apontadas são:

- Velocidade de construção;
- Complexidade das construções;
- Escassa formação da mão de obra, ou mesmo dos responsáveis técnicos.

A corrosão de armaduras constitui-se em uma falha na etapa de uso e manutenção de uma estrutura, porém muitas vezes é acelerada por falhas de concepção do projeto, falhas na escolha dos materiais – como, por exemplo, a utilização de concreto de menor resistência que o necessário – ou falhas na etapa construtiva, principalmente no que diz respeito ao recobrimento das armaduras. A seguir serão detalhados os principais aspectos que influenciam na durabilidade do concreto, com maior foco na proteção das armaduras, separados por propriedades inerentes ao concreto e presentes no meio ambiente.

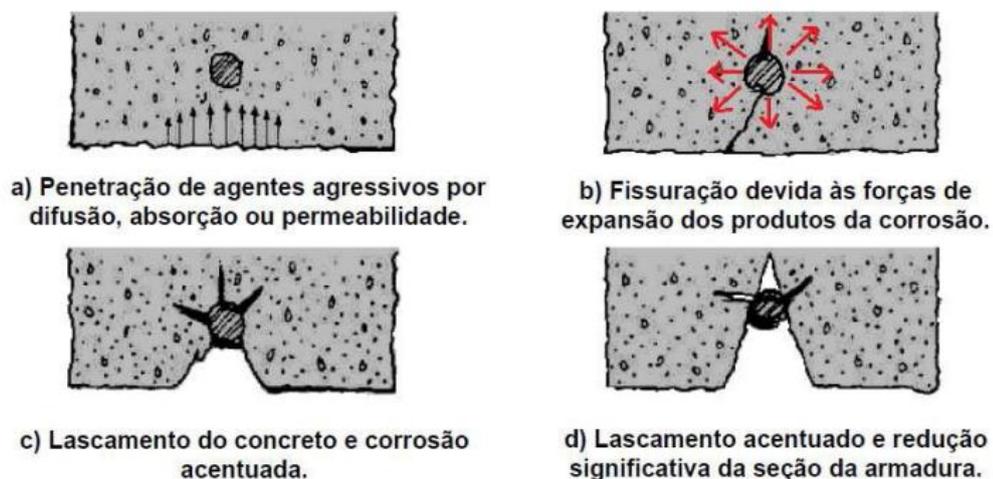
2.2.1 Propriedades do concreto

Segundo Mehta e Monteiro (1994) o objetivo principal das construções de hoje em dia deve mudar de resistência para durabilidade. Os autores afirmam ainda que a impermeabilidade do concreto deve ser a primeira linha do sistema de defesa contra qualquer processo físico-químico de deterioração.

A quantidade de água no concreto e a sua relação com a quantidade de ligante representam o elemento básico que irá reger as principais características como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, além de sua resistência mecânica, que, em resumo, são os indicadores de qualidade do material, passo primeiro para a classificação de uma estrutura como durável ou não (RIPPER e SOUZA, 1998).

No caso específico da corrosão de armaduras, destacam-se dentre as propriedades listadas acima a porosidade e a permeabilidade. Os processos corrosivos estão relacionados às ações químicas e físicas que atuam sobre as estruturas de concreto. Como consequência deste processo, há normalmente uma fissuração da camada de cobertura em torno das ferragens, motivada pelo efeito expansivo da formação dos compostos ferrosos oxidados. Em vista disso, é perceptível que a corrosão das armaduras é uma patologia grave, conforme salientado por Costa (2001), principalmente do ponto de vista das consequências quanto ao comprometimento estrutural e quanto ao custo da correção do problema.

Figura 2.4 – Deterioração progressiva devido à corrosão das armaduras



Fonte: Shaffer & Caironi *apud* Helene (1986).

Ao sofrer corrosão as armaduras aumentam de volume, sofrem dilatações que prejudicam também o concreto que as envolve, por gerar esforços de tração não considerados no cálculo das estruturas. As deformações e o conseqüente colapso das estruturas se produzem por falta

de seção da armadura devido ao efeito da corrosão, que diminui a seção útil ou resistente das ferragens, conforme pode ser verificado na figura 2.4.

A permeabilidade, a sucção matricial interna do concreto, o coeficiente de difusão do cloreto e suas reações com as partículas do cimento além das condições ambientais do entorno, são parâmetros que influenciam o tempo necessário para que o cloreto atinja a armadura do concreto, criando as condições necessárias para a sua despassivação. Por outro lado, a permeabilidade do concreto é vinculada a outras propriedades como a sua porosidade e as propriedades da zona de transição entre a pasta e os agregados.

Segundo Ripper e Souza (1998), é de fácil entendimento que quanto mais permissivo um concreto for ao transporte interno de água, gases e de outros agente agressivos, maior será a probabilidade da sua degradação, bem como da do aço que deveria proteger. Também não deve ser difícil concluir que, nestes casos, a degradação dependerá, diretamente, de dois fatores: porosidade do concreto e condições ambientais da superfície. Como, em geral, não se poderá lidar com a melhoria das condições ambientais, a única saída, neste sentido, para se evitar a degradação dos concretos, é a redução, ao menor nível possível, da sua porosidade.

O concreto possui um caráter de proteção da armadura, por constituir-se normalmente em um material denso e inerte. Além disso, o cimento, principal aglomerante presente no concreto, é um excelente agente protetor para as armaduras, pois, em reação com outros componentes, cria uma película protetora de caráter passivo ao redor do aço devido ao seu alto índice alcalino, inibindo a corrosão. Entretanto, existem alguns fatores que influenciam positivamente na proteção que este concreto é capaz de fornecer às armaduras:

Critérios de Projeto:

- Cobrimentos adequados (projeto);
- Baixa relação água-cimento;
- Menor porosidade;
- Granulometria adequada do agregado;
- Consumo de cimento apropriado;
- Classe de resistência do concreto.

Critérios de execução:

- Mistura adequada.

- Inspeções preliminares das formas: isentas de detritos, de preferência úmidas, porém sem água empoçada no fundo, escoradas adequadamente.
- Inspeções preliminares das armaduras: isentas de ferrugem, lama ou argamassa e posicionadas corretamente, com os devidos espaçadores.
- Boa compactação/adensamento: deve-se tomar cuidado para que não haja segregação dos materiais e não se devem vibrar as armaduras para não comprometer a aderência.
- Cura por período suficiente.
- Retirada das formas e escoramento: de acordo com plano de desforma previamente estabelecido, de maneira a não comprometer a segurança em serviço, nem conduzir a deformações inaceitáveis.

Os critérios de execução são em sua maioria direcionados para evitar a geração de poros no concreto, conferindo-o a menor porosidade possível, além de melhorar a hidratação do cimento do concreto. É importante destacar que, ainda que a baixa oxidação das armaduras cause certo aumento da aderência com o concreto, é recomendada sempre a utilização de armaduras intactas, sem vestígios de oxidação, para minimizar os riscos com sua corrosão excessiva.

Segundo Cascudo (1997) nenhum outro contaminante está tão extensivamente documentado na literatura como causador de corrosão dos metais no concreto como está o cloreto. Quanto maior o índice de deposição de cloretos no concreto armado, maior é a chance de que os íons cloreto penetrem na estrutura do concreto e atinjam o aço das armaduras.

Os cloretos tem o poder de destruir a película passivante sobre as armaduras, provocando a corrosão por pite. Na corrosão localizada por pite, não se verifica perda significativa de material como ocorre na corrosão uniforme. Entretanto, ocorrem danos intensos à armadura, uma vez que os pites constituem-se em cavidades caracterizadas por baixa relação entre os seus diâmetros e comprimentos. Por este motivo, há concentração de tensões de tração e estas são ampliadas significativamente quando aplicadas, acarretando diminuição da resistência mecânica do material (VILASBOAS, 2004).

O modelo de corrosão proposto por Tuutti *apud* Cascudo (1997) subdivide o processo em iniciação e propagação: A iniciação corresponde ao período de tempo que vai desde a execução da estrutura até a ação do agente agressivo em atravessar o concreto de cobrimento, alcançar a armadura e despassivá-la; a propagação, por sua vez, consiste no desenvolvimento

da corrosão até que se alcance um grau inaceitável do processo. O período de iniciação se dá a partir do momento em que a película passiva de proteção do aço é perdida, devido a duas condições principais:

- Presença de íons cloreto: Os cloretos podem advir do meio externo atingindo as armaduras por difusão, ou podem ser adicionados involuntariamente ao concreto a partir da utilização de aditivos aceleradores de endurecimento e de pega a base de cloreto de cálcio (CaCl_2), ou de água de amassamento e/ou agregados contaminados.
- Diminuição da alcalinidade do concreto: pode se dar devido principalmente às reações de carbonatação ou mesmo devido à penetração de substâncias ácidas no concreto. Em casos especiais, a queda na alcalinidade pode ser oriunda da lixiviação do concreto, em que a solução alcalina intersticial é lavada pelo ataque das águas (CASCUDO, 1997).

Uma vez despassivada a armadura, se desencadeia o período de propagação devido à vulnerabilidade do concreto frente ao processo corrosivo. Existem, no entanto, elementos básicos necessários para que se inicie a propagação, sendo eles: eletrólito, diferença de potencial e oxigênio, podendo existir agentes agressivos, como os íons cloretos (Cl^-), que contribuem sensivelmente para acelerar a corrosão, uma vez que aumentam a condutividade elétrica do eletrólito.

2.2.2 Propriedades do meio ambiente

A maioria dos processos de deterioração do concreto é desencadeada ou ao menos acelerada por propriedades do meio ambiente. Dessa forma, a influência das intempéries sobre a durabilidade do concreto é significativa, devendo-se avaliar o meio no qual o concreto estará inserido para verificar quais os maiores riscos a que ele estará sujeito, tanto na etapa de construção quanto em operação.

O meio ambiente que envolve as estruturas de concreto em climas tropicais marinhos, podem apresentar grandes variações de umidade, temperatura, direção do vento, períodos de chuvas/secas e propiciar a deposição de íons cloreto que podem se alojar na estrutura. A atmosfera tropical marinha é geralmente agressiva devido à presença de íons cloreto em suspensão. A situação se agrava quando a névoa salina é intensa e contínua e a umidade relativa é elevada. Nessa situação, a penetração de íons cloreto pode ser muitas vezes maior que numa atmosfera normal (ANDRADE *apud* MOTA *et al.*, 2012). A névoa salina à qual o

autor se refere, também conhecida como spray marinho, é composta por partículas provenientes dos movimentos das ondas que acabam por introduzir sais na atmosfera, como cloretos e sulfatos.

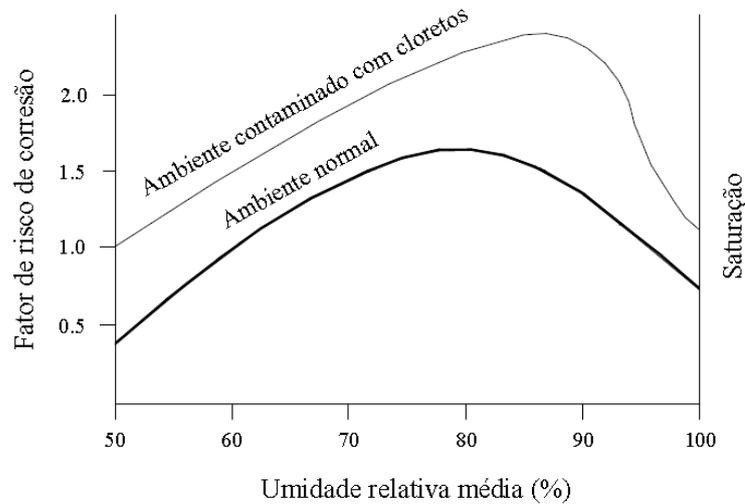
Segundo Helene (1993) *apud* Souza (2005), o ataque dos cloretos em ambiente marítimo, normalmente, é maior na zona de respingos que na zona de névoa e é maior na zona de maré do que em zona submersa. Em regiões litorâneas a preocupação com este tipo de ataque deve ser constante, visto que a proximidade do mar faz com que a atmosfera contenha íons cloretos. Assim, as partículas de água do mar contendo sais dissolvidos, quando em suspensão na atmosfera, são arrastadas pelo vento e podem depositar-se nas estruturas, podendo o cloreto penetrar por absorção ou difusão. Este fenômeno é fortemente influenciado pelo vento, sendo a região da estrutura voltada para a direção predominante de vento a que apresenta teores mais elevados de cloretos.

Brambilla (2009) afirma que a velocidade do vento está relacionada com a influência da dispersão entre os poluentes atmosféricos e o tempo de secagem do eletrólito na superfície do metal. A atmosfera de Salvador, por se tratar de uma atmosfera marinha, contém aerossóis marinhos ou partículas salinas nas quais estão presentes os cloretos, que podem ser arrastadas por muitos quilômetros de distância da orla para o continente, sendo veiculadas pela direção e velocidade dos ventos predominantes.

Sendo a corrosão atmosférica um fenômeno essencialmente eletroquímico, a água existente na atmosfera, sob diferentes formas, constitui um dos fatores mais importantes do processo corrosivo. A água que se deposita sobre a superfície metálica pode ser proveniente de processos de adsorção e de condensação, que são determinados pela umidade relativa do ar (VIANNA *apud* BRAMBILLA, 2009).

Vilasboas (2013), diz que a umidade relativa do ar está diretamente relacionada com o processo de transporte de cloretos no concreto. Como este material possui a característica de absorver a umidade do meio com facilidade e de perdê-la com certa dificuldade, o aumento da umidade relativa do ar acelera a sua corrosão. O autor ainda afirma que a presença de umidade no interior dos poros interfere, por exemplo, na velocidade de corrosão das armaduras, uma vez que este fenômeno é eletroquímico e necessita de água para que os íons possam se movimentar e gerar correntes de corrosão.

Figura 2.5 – Influência do teor de umidade sobre o risco de corrosão do concreto



Fonte: CEB (1993) *apud* Souza (2005).

O comportamento mostrado na figura 2.5 representa a influência da umidade na etapa de propagação da corrosão: nos poros saturados (taxa de umidade no concreto de 100%) o acesso de oxigênio é limitado, e com baixos valores de umidade relativa, o risco de corrosão é minimizado.

Segundo Cascudo (1997), a temperatura tem um papel duplo nos processos de deterioração. Se por um lado seu incremento promove um aumento da velocidade de corrosão e da mobilidade iônica, por outro sua diminuição pode dar lugar a condensações, as quais podem produzir incrementos locais no teor de umidade. Portanto, não se pode avaliar a influência da temperatura isoladamente, principalmente em zonas de climas tropicais onde as variações de temperatura são menores e os climas predominantemente úmidos, onde se torna essencial relacioná-la com a umidade relativa do ar.

Por fim, a poluição atmosférica encontrada em grandes centros urbanos, como é o caso de Salvador, influencia também na deterioração do concreto, podendo ocasionar a ocorrência de patologias e a sua descoloração. A precipitação de chuvas ácidas, a deposição de partículas sólidas e substâncias agressivas presentes na atmosfera, em especial o dióxido de carbono (CO_2), podem desencadear o processo de carbonatação do concreto, resultando na corrosão de suas armaduras. Além disso, a densidade de ocupação do meio urbano pode alterar o regime de ventos pela criação de corredores de vento.

2.3 Estudos anteriores

Para atualizar o mapa de agressividade ambiental de Salvador serão utilizados dados da deposição de cloretos em diferentes estruturas de Salvador, determinados em 20 pontos distintos na cidade. Este trabalho, realizado pelo prof. Marcílio Vilasboas em sua tese de doutorado (VILASBOAS, 2013), consiste em uma experimentação visando a calcular a taxa de deposição de cloretos inorgânicos existentes na atmosfera. Para esta análise, foram escolhidos pontos estratégicos, situados desde a orla até endereços com mais de 10 km de distância até o mar. A tabela 2.4 e a figura 2.6 apresentam a localização dos pontos de medidas das taxas de deposição de cloretos adotados por Vilasboas (2013).

A experimentação foi baseada na NBR 6211 (ABNT, 2001), que por sua vez está fundamentada na norma americana ASTM D512 - 89 (ASTM, 1989). O procedimento brasileiro prescreve o método da vela úmida para a determinação, através de análise química, do teor de cloretos inorgânicos existente na atmosfera que é depositado sobre uma superfície de área conhecida, durante um período de tempo especificado. A norma apresenta um método que se aplica especificamente para determinação do teor de cloretos solúveis em água, como os existentes na atmosfera marinha e na linha de ondas que penetram no continente (VILASBOAS, 2013).

Tabela 2.4 – Localização dos pontos de medida de deposição do íon cloreto em Salvador

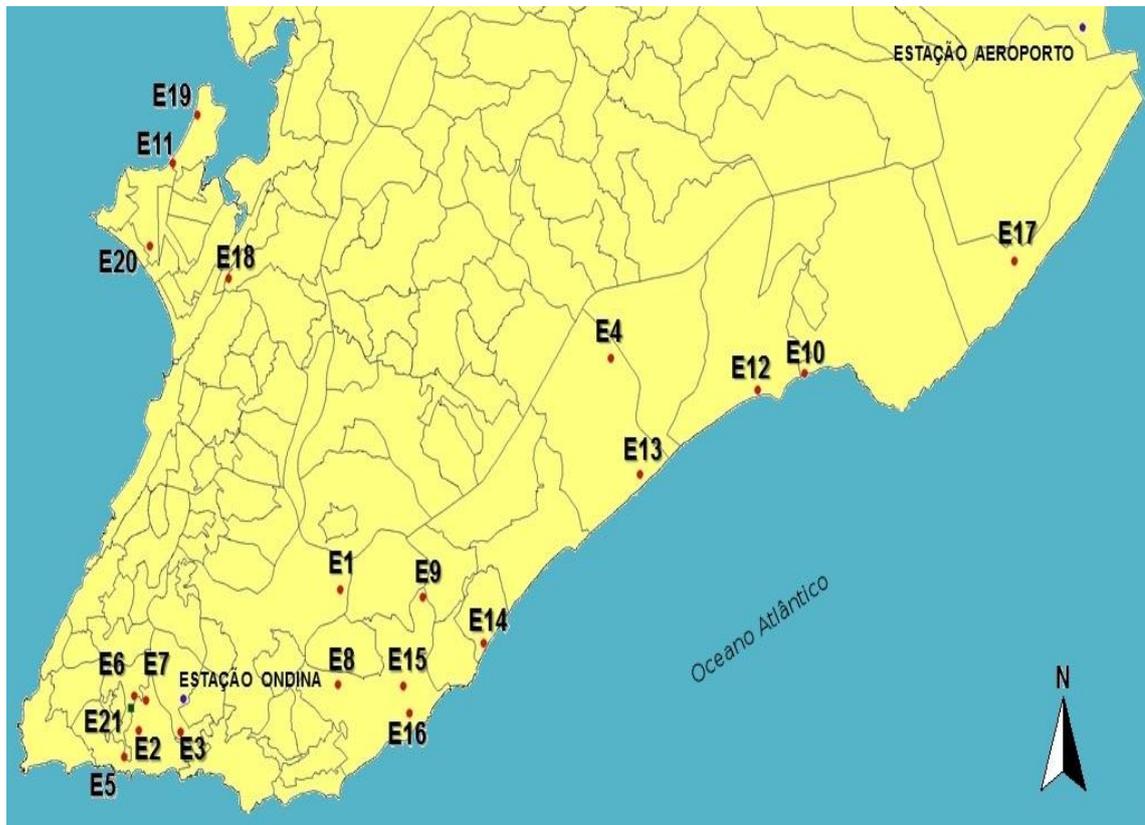
Estação	Coordenadas		Altitude (m)	Distância ao mar (m)	Local de exposição	Endereço	
	S	W				Logradouro	Bairro
E1	12°59'01.17"	38°28'04.92"	20	2848,47	CEPRED	AV. Antônio Carlos Magalhães, nº 122	Caminho das Arvores
E2	13°00'16.83"	38°30'32.53"	16	700	Escola de Medicina Veterinária UFBA	Rua Adhemar de Barros, nº 500	Ondina
E3	13°00'17.80"	38°30'01.77"	55	665,83	UCSAL	Avenida Cardeal da Silva, nº 205	Federação
E4	12°56'57.23"	38°24'46.02"	31	2111,4	UCSAL	Avenida Pinto de Aguiar, nº 2589	Pituaçu
E5	13°00'30.85"	38°30'43.25"	34	262,04	FAPESB	Colina de São Lázaro, nº 203	Federação
E6	12°59'58.26"	38°30'36.09"	71,4	1226,59	Escola Politécnica UFBA	Rua Professor Aristίδes Novis, nº 2	Federação

Tabela 2.4 – Localização dos pontos de medida de deposição do íon cloreto em Salvador (Continuação)

Estação	Coordenadas		Altitude (m)	Distância ao mar (m)	Local de exposição	Endereço	
	S	W				Logradouro	Bairro
E7	13°00'00.58"	38°30'27.54"	14	1187,43	PAF II Petrobras	Rua Adhemar de Barros, nº 500	Ondina
E8	12°59'51.95"	38°28'06.50"	24	1421,23	Petrobras	Av. Antônio Carlos Magalhães, nº1113	Itaigara
E9	12°59'05.06"	38°27'04.03"	14	1531,43	Ed.Civil Business - Petrobras	Av. Professor Magalhães Neto, nº 1838	Caminho da Árvores
E10	12°57'05.20"	38°22'23.92"	6	37,44	Igreja Santo Expedito	Av. Otávio Mangabeira, Quadra B2, Casa 2	Itapuã
E11	12°55'13,89"	38°30'08,17"	7	10506,84	Residência	Rua Visconde de Caravelas, nº26	Ribeira
E12	12°57'14.14"	38°22'58.18"	6	120,75	DECECAP Delegacia	Av. Otávio Mangabeira, nº11735	Itapuã
E13	12°57'59.50"	38°24'24.75"	10	193,11	Colégio Marista Patamares	Rua Manoel Antônio Galvão, nº 655	Pituaçu
E14	12°59'29.59"	38°26'19.13"	4	80	CEPE 2004 Petrobras	Av. Otávio Mangabeira, nº 4099	Armação
E15	12°59'52.66"	38°27'18.37"	15	702,44	Colégio Militar	Rua Território do Amapá, nº455	Pituba
E16	13°00'07.09"	38°27'13.57"	16	267,37	Correios	Av. Paulo VI, nº 190	Pituba
E17	12°56'04,62"	38°19'49,69"	15	457,51	CEPE Petrobras	Rua Missionário Otto Nelson, nº 640	Stella Maris
E18	12°56'15,45"	38°29'27,33"	42	8307,7	Residência	Travessa Antônio Bispo, nº48	Largo do Tanque
E19	12°54'47,89"	38°29'50,17"	6	10533,65	Residência	Av. Beira Mar, nº 445	Ribeira
E20	12°55'58,28"	38°30'24,86"	6	9831,9	SENAI	Av. Dendezeiro do Bonfim, nº 99	Bonfim

Fonte: Vilasboas (2013).

Figura 2.6 – Representação esquemática dos pontos de instalação do aparato da vela úmida e localização das estações climatológicas do aeroporto e do bairro de Ondina



Fonte: Vilasboas (2013).

As características climatológicas do ambiente estudado foram fornecidas pela sede do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada em Brasília no Distrito Federal, e corresponderam às estações climatológicas instaladas no bairro de Ondina (altitude: 51,41 m; latitude: 13°00'S; longitude: 38°30'W) e no aeroporto de Salvador (altitude: 19 m; latitude: 12°54' S; longitude: 38°19' W). Os dados expedidos corresponderam ao período de agosto de 2010 a janeiro de 2012, ocasião em que houve deposição de cloretos nas 20 estações estudadas, e se referiram a: direção predominante e velocidade do vento, precipitação, umidade relativa do ar e temperaturas médias. A tabela 2.5 apresenta um resumo dos dados climatológicos empregados no estudo.

Tabela 2.5 – Resumo dos dados climatológicos. Estações situadas em Ondina e no aeroporto (agosto/2010 a janeiro/2012)

Mês/ano	Direção predominante do vento		Velocidade do vento (m/s)		Precipitação pluviométrica (mm)		Umidade relativa (%)		Temperatura (°C)	
	Ondina	aerop.	Ondina	aerop.	Ondina	aerop.	Ondina	aerop.	Ondina	aerop.
ago./2010	SE	ESE	1,8	4,4	176,3	60,9	83	72	23	24,4
set./2010	SE	ESE	1,7	5,3	55,8	66,9	81	73	23,8	25,2
out./2010	NE	ENE	1,8	4,6	56,7	18,8	83	73	25,6	26,7
nov./2010	NE	ENE	1,8	4,9	27,2	2,1	80	74	26,3	27,2
dez./2010	NE	ENE	1,6	4,6	102,5	54,7	82	74	26,3	27,3
jan./2011	NE	E	1,5	4,1	170,3	70,2	85	73	25,9	27,4
fev./2011	NE	NE	1,5	4,6	46,2	24,2	80	67	27	28,5
mar./2011	NE	NE	1,6	3,9	200,7	35,3	85	75	26,7	28
abr./2011	SE	SE	1,4	3,9	331	51,3	87	72	25,7	27,7
mai./2011	SE	SE	1,5	3,9	304,2	186,3	88	72	24,4	26,3
jun./2011	SE	SE	1,5	3,8	277,7	63,5	88	73	23,4	25,4
jul./2011	SE	SE	1,4	4	57,6	42,3	83	66	23,2	25,3
ago./2011	SE	SE	1,4	4	91,3	37,3	84	67	23,3	25,4
set./2011	SE	SE	1,9	4,8	62	18,5	81	66	23,5	25,3
out./2011	NE	NE	2	5,2	208,5	77,6	86	73	24,8	25,6
nov./2011	NE	NE	2	5	319,2	17,8	85	74	24,9	27,5
dez./2011	NE	NE	1,5	4,6	100,7	28,6	82	74	26	27,9
jan./2012	NE	NE	1,5	4,6	35,7	53,6	80	72	26,4	28,9

Fonte: Vilasboas (2013).

A partir destes estudos, Vilasboas (2013) propôs a equação 2.1 que permite o cálculo estimado da deposição média de cloretos em $\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$ levando em consideração a distância ao mar corrigida em função da direção do vento, em quilômetros, representada pela variável x . Para se corrigir a distância de cada estação ao ambiente marítimo mais próximo, foi

definida a direção Sudeste (SE) como direção predominante do vento na orla Soteropolitana durante o período considerado e então foram realizadas novamente as medidas de distância dos pontos em estudo até o mar na direção definida.

$$T_{x_{Cl}} = 3500 \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{0,0135}{x+1,35 \cdot 10^{-5}}\right)^{0,86}} \right] + 65 \quad (2.1)$$

Conforme observado por Vilasboas (2013) foi possível estabelecer uma correlação muito forte entre a deposição média de cloretos e a distância ao mar, caracterizada por uma relação exponencial negativa entre os dois parâmetros, mostrando a diminuição na concentração desse íon com o afastamento da costa. Assim, a relação entre a deposição média de cloretos e a distância ao mar corrigida, no período de set./2010 a jan./2012 (Figuras 2.7 e 2.8), propicia, como um resultado do ajuste da curva, um coeficiente de determinação $R^2 = 0,8682$, significando que 86,82% da variabilidade em $T_{x_{Cl}}$ é explicada pela regressão.

Figura 2.7 – Relação entre as deposições de cloretos real e calculada com a eq. 2.1, e a distância corrigida em relação ao mar

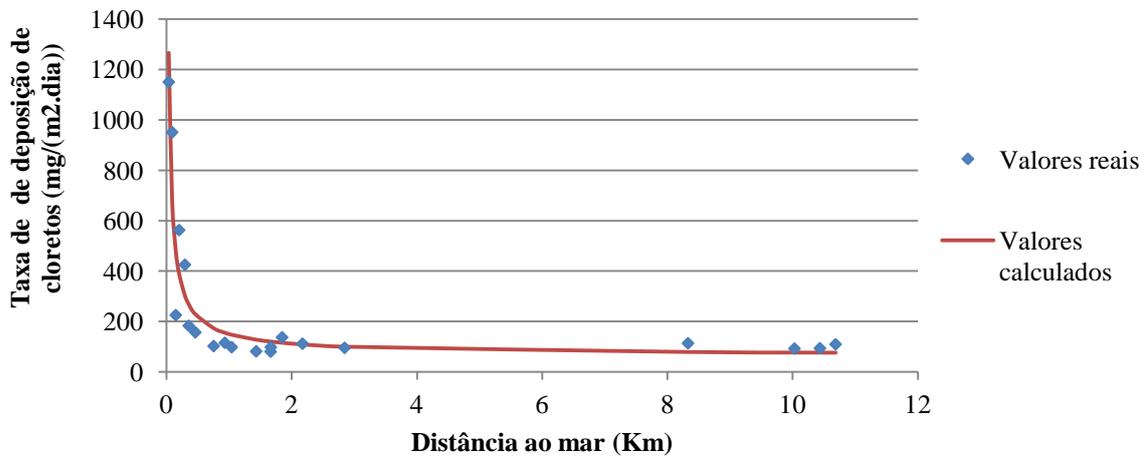
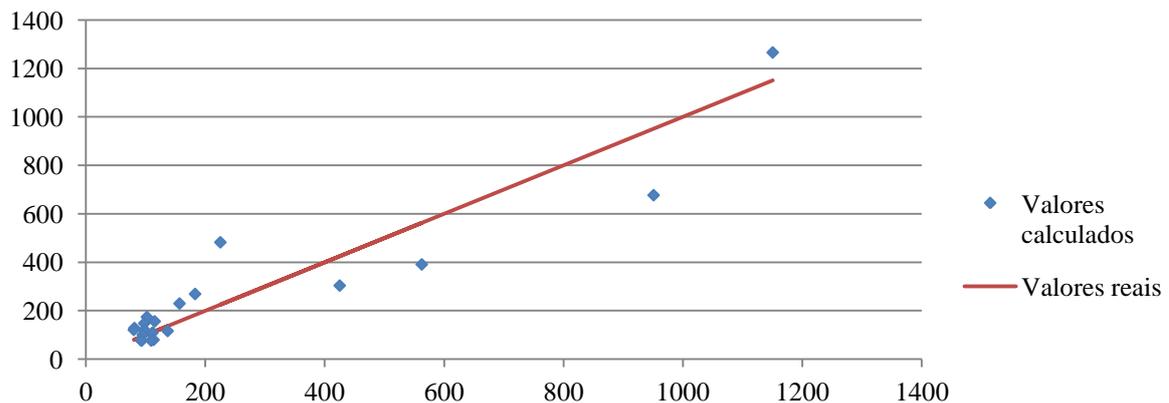


Figura 2.8 – Correlação entre os valores de deposição de cloretos (mg/(m².dia)) calculados com a equação 2.1 e os valores reais obtidos experimentalmente



Todavia, a equação apresentada não leva em consideração fatores como a altitude (cota geométrica de cada estação) e a existência de construções no entorno. O presente trabalho considerou estes fatores como variáveis a serem acrescentadas à equação de forma a melhorar o coeficiente de determinação, R^2 , por considerar que estes fatores poderiam ter influência na distribuição e velocidade dos ventos e conseqüentemente, influenciar o arraste de partículas salinas nas quais estão presentes os cloretos.

Os resultados da determinação do teor de cloretos, no período de setembro de 2010 a janeiro de 2012, em cada estação de monitoramento, são apresentados nas Tabelas 2.7 e 2.8. Com base nos valores obtidos e considerando as prescrições contidas na NBR 14643 (ABNT, 2001) e NBR 6118 (ABNT, 2007), Vilasboas (2013) procedeu à classificação dos diferentes ambientes pesquisados em termos de contaminação de Cl^- (conforme tabela 2.6), agressividade e risco de deterioração da estrutura, cujas avaliações são indicadas também nas tabelas 2.7 e 2.8. Com esse procedimento, o autor constatou que as regiões monitoradas através das estações E_{10} , E_{13} , E_{14} e E_{16} enquadram-se como categoria B_3 , pois possuem atmosferas que apresentam taxas de deposição de cloretos superiores a $300 \text{ mg}/(\text{m}^2.\text{dia})$ e inferiores ou iguais a $1500 \text{ mg}/(\text{m}^2.\text{dia})$; enquanto as demais áreas caracterizam-se como B_2 , em virtude do assentamento dessa substância ser superior a $60 \text{ mg}/(\text{m}^2.\text{dia})$ e não ultrapassar a $300 \text{ mg}/(\text{m}^2.\text{dia})$.

Tabela 2.6 – Classificação de contaminação por Cl^-

Taxa de deposição de $Cl^- \text{ mg}/(\text{m}^2.\text{d})$	Categoria
$B \leq 3$	B_0
$3 < B \leq 60$	B_1
$60 < B \leq 300$	B_2
$300 < B \leq 1500$	B_3
NOTAS 1 A determinação do teor de cloreto para esta Norma 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 B_0 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).

A associação entre a classificação de contaminação por cloretos e a classe de agressividade ambiental, realizada por Vilasboas (2013), não é caracterizada de forma direta pelas respectivas normas que abordam estes conceitos. A tabela 2.1, retirada da NBR 6118 (ABNT, 2014), traz somente uma forma qualitativa de se identificar a classe de agressividade ambiental, deixando à escolha do responsável técnico pelo projeto a possibilidade de considerar classe de agressividade maior (ou menor, no caso da análise de microclimas) para determinado projeto, quando julgar necessário.

A tabela 2.6, retirada da NBR 14643 (ABNT, 2001) apresenta a contaminação de Cl^- , porém o restante da norma não trata a relação deste valor, nem de sua corrosividade, com a classe de agressividade ambiental, sendo que esta relação também não foi encontrada em nenhuma outra normativa pesquisada. Trabalhos técnicos como o da CETESB (1988) *apud* Lima e Morelli (2004) apresentam tabela referente aos tipos de agressividade e valores limites para a avaliação do grau de agressividade do ambiente em função da concentração dos íons presentes na água em contato com as estruturas de concreto (em mg/l). Não sendo aplicável aos estudos de Vilasboas (2013), tendo em vista que eles tratam de concretos não submersos, sujeitos somente aos íons cloretos transportados através do spray marinho.

Analisando que a NBR 14643 (ABNT, 2001) indica que a contaminação excessiva por cloreto, típica de zona de arrebentação e névoa marinha, está fora do escopo da referida norma. Vilasboas (2013) considerou que esta zona seria correspondente à zona de respingos de maré, citada na tabela 2.1 (NBR 6118, ABNT, 2014). Devendo, por conseguinte, a categoria de contaminação por cloretos B_3 , imediatamente inferior, corresponder à classe de agressividade ambiental III, zona marinha, apresentando agressividade forte e risco de deterioração da estrutura grande. De forma análoga, considerou-se a categoria de contaminação por cloretos B_2 , correspondente à classe de agressividade ambiental II, urbana, apresentando agressividade moderada e risco de deterioração da estrutura pequeno, devendo esta relação ser aplicada no contexto do presente trabalho.

Tabela 2.7 – Resumo da deposição de cloretos nas estações E1 - E10 e valores calculados com a equação 2.1 proposta por Vilasboas (2013)

	Período	Estação Distância ao mar (km) Distância ao mar Corrigida (km)	Estações de coleta – distância em relação ao mar										
			E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E ₉	E ₁₀	
			2,848	0,700	0,666	2,111	0,262	1,227	1,187	1,421	1,531	0,037	
			2,845	0,933	1,042	2,173	0,356	1,847	1,667	1,433	1,664	0,037	
Concentração de cloretos mg/(m ² .dia)	Set./out. 10	SE	-	-	-	-	-	114,44	84,20	-	-	-	
	Out./nov. 10	NE	53,75	101,41	-	-	197,81	155,29	83,20	65,44	83,3	1178,84	
	Nov./dez. 10	NE	96,23	121,43	-	-	154,04	170,74	133,20	110,15	86,24	211,25	
	Dez./jan. 11	NE	158,00	168,24	-	-	174,49	111,78	110,42	101,52	96,41	243,05	
	Jan./fev. 11	NE	104,28	158,29	58,59	27,06	202,50	102,79	92,17	111,50	81,63	463,90	
	Fev./mar. 11	NE	153,68	115,66	59,17	-	115,56	158,53	120,19	69,54	96,78	522,38	
	Mar./abr. 11	NE	125,23	59,59	87,84	79,61	85,23	220,42	134,60	114,92	55,86	1163,54	
	Abr./mai. 11	SE	87,28	137,65	127,63	162,04	80,25	207,17	89,93	78,99	64,12	1077,06	
	Mai./jun. 11	SE	101,56	130,00	52,45	38,31	231,18	130,49	116,95	92,55	103,51	1609,98	
	Jun./jul. 11	SE	54,44	106,62	69,94	112,91	314,10	100,35	68,02	52,44	38,83	1993,15	
	Jul./ago. 11	SE	81,28	97,96	144,02	105,23	174,16	84,00	80,01	72,04	89,68	1641,14	
	Ago./set. 11	SE	70,41	112,09	114,69	54,63	96,28	86,61	62,80	52,11	68,41	1696,48	
	Set./out. 11	SE	56,48	73,88	133,56	84,30	368,74	-	-	54,79	97,87	2002,65	
	Out./nov. 11	NE	-	-	96,98	192,57	-	-	-	-	-	-	
	Nov./dez. 11	NE	-	-	87,89	213,6	-	-	-	-	-	-	
	Dez./jan. 12	NE	-	-	141,57	158,04	-	-	-	-	-	-	
		Média Total		95,22	115,24	97,86	111,66	182,86	136,88	97,97	81,33	80,22	1150,29
		Valores calculados com a Equação (E1)		99,95	155,44	147,34	109,01	268,49	115,56	120,18	127,78	120,27	1265,44
	Erro		4,73	40,21	49,48	-2,66	85,62	-21,32	22,20	46,45	40,05	115,16	
Classificação de contaminação da atmosfera por Cl ⁻ (NBR 14643)			B ₂									B ₃	
Agressividade			Moderada									Forte	
Risco de deterioração da estrutura			Pequeno									Grande	

Tabela 2.8 – Resumo da deposição de cloretos nas estações E11 – E20 e valores calculados com a equação 2.1 proposta por Vilasboas (2013)

	Período	Estação Distância ao mar (km) Distância ao mar Corrigida (km)	Estações de coleta – distância em relação ao mar										
			E ₁₁	E ₁₂	E ₁₃	E ₁₄	E ₁₅	E ₁₆	E ₁₇	E ₁₈	E ₁₉	E ₂₀	
			10,507	0,121	0,193	0,080	0,702	0,267	0,458	8,308	10,534	9,832	
			10,437	0,149	0,202	0,092	0,754	0,295	0,461	8,33	10,687	10,031	
Concentração de cloretos mg/(m ² .dia)	Set./out. 10	SE											
	Out./nov. 10	NE		200,24	216,51	1145,54	88,97	179,47	149,94	-	-	-	
	Nov./dez 10	NE	98,30	205,92	346,50	1068,95	125,41	245,11	238,63	98,30	-	-	
	Dez./jan. 11	NE	83,98	244,25	356,07	584,39	149,44	328,42	220,53	152,34	195,31	100,78	
	Jan./fev. 11	NE	116,46	94,80	102,68	863,07	90,71	163,40	96,54	76,27	112,30	45,15	
	Fev./mar. 11	NE	95,76	115,77	475,28	737,82	90,92	139,14	148,87	127,38	153,68	98,26	
	Mar./abr. 11	NE	122,11	123,45	252,75	822,49	111,42	256,81	74,72	95,70	65,56	114,37	
	Abr./mai. 11	SE	98,85	174,06	481,06	-	117,02	798,42	139,47	180,06	89,21	101,82	
	Mai./jun. 11	SE	77,01	576,46	1513,82	896,39	60,52	642,57	142,00	71,67	87,41	82,64	
	Jun./jul. 11	SE	45,05	188,26	570,09	933,68	68,92	424,62	152,19	83,14	68,13	80,25	
	Jul./ago. 11	SE	104,8	206,59	641,03	1072,04	88,41	568,61	86,25	61,00	103,76	91,68	
	Ago./set. 11	SE	30,20	304,17	1054,79	983,70	100,04	958,46	205,67	130,2	92,91	62,54	
	Set./out. 11	SE	192,83	269,05	740,16	1351,22	134,51	395,69	227,48	154,66	160,13	68,81	
	Out./nov. 11	NE	57,70	-	-	-	-	-	-	129,72	26,56	121,38	
	Nov./dez. 11	NE	-	-	-	-	-	-	-	-	157,00	139,36	
	Dez./jan. 12	NE											
		Média Total		93,59	225,25	562,56	950,84	102,19	425,06	156,86	113,37	109,33	92,25
		Valores calculados com a Equação (E1)		76,47	481,81	390,47	676,26	173,34	303,16	229,05	78,92	76,24	76,86
	Erro		-17,12	256,56	-172,10	-274,58	71,15	-121,90	72,19	-34,45	-33,09	-15,39	
Classificação de contaminação da atmosfera por Cl ⁻ (NBR 14643)			B ₂		B ₃		B ₂	B ₃	B ₂				
Agressividade			Moderada		Forte		Moderada	Forte	Moderada				
Risco de deterioração da estrutura			Pequeno		Grande		Pequeno	Grande	Pequeno				

3 METODOLOGIA

3.1 Metodologia utilizada para verificar e analisar os dados existentes e melhorar sua significância

A partir da análise apurada dos dados de deposição de cloreto obtidos em cada estação considerada nos trabalhos de Vilasboas (2013) buscou-se inserir uma nova variável que considerasse as estruturas existentes no entorno, pois estas poderiam bloquear a passagem e recebimento direto do vento proveniente da direção do mar, que carrega consigo os cristais de Sal (spray marinho) que são as fontes de cloretos nas fachadas das estruturas.

Decidiu-se por verificar também se a variável Altitude, identificada por H (em metros), poderia ter influência nos valores da taxa de deposição de cloreto encontrados. A partir destas duas novas variáveis, foram estudadas diversas possibilidades de novas equações, sempre buscando aumentar o valor do coeficiente de determinação, R^2 , apresentado nos estudos realizados por Vilasboas (2013), aproximando-o do valor unitário.

A variável escolhida para mensurar a existência de construções no entorno, identificada por ângulo teta (θ), representa o ângulo formado entre o ponto exato onde foram instaladas as estações e a edificação vizinha mais próxima localizada na direção Sudeste (SE), direção predominante do vento, calculado segundo a equação 3.1 e ilustrado na figura 3.1.

$$\theta = \arctan\left(\frac{\text{altura}}{\text{distância}}\right) \quad (3.1)$$

Figura 3.1 – Representação esquemática da nova variável, ângulo θ

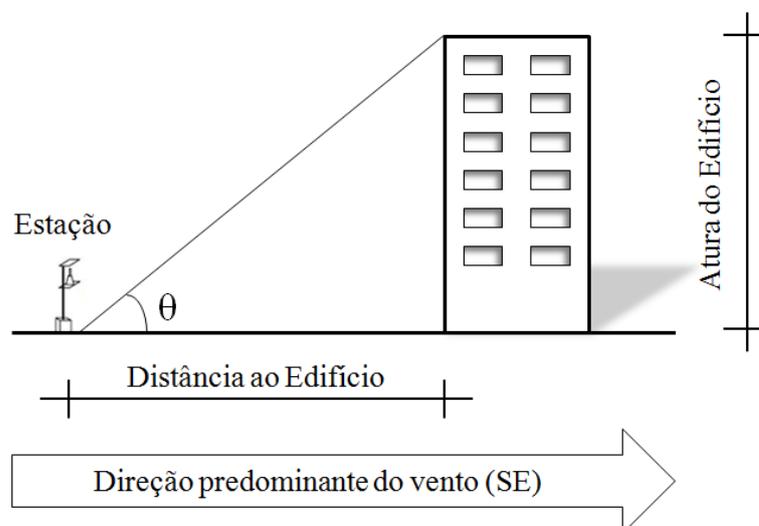
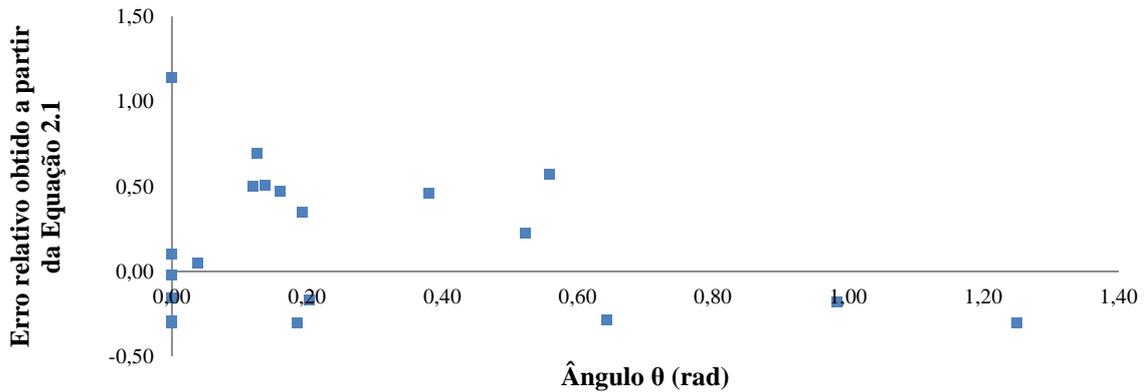


Tabela 3.1 – Resultado da nova variável, ângulo θ , por estação de monitoramento

Estação	Coordenadas		Distância ao Edifício (m)	Altura do Edifício (m)	Nova variável - ângulo θ graus (°)	Nova variável - ângulo θ radianos (rad)
	S	W				
E1	12°59'01.17"	38°28'04.92"	317,00	12,00	2,17	0,04
E2	13°00'16.83"	38°30'32.53"	46,00	9,00	11,07	0,19
E3	13°00'17.80"	38°30'01.77"	29,00	4,00	7,85	0,14
E4	12°56'57.23"	38°24'46.02"	0,00	0,00	0,00	0,00
E5	13°00'30.85"	38°30'43.25"	31,00	5,00	9,16	0,16
E6	12°59'58.26"	38°30'36.09"	0,00	0,00	0,00	0,00
E7	13°00'00.58"	38°30'27.54"	52,00	30,00	29,98	0,52
E8	12°59'51.95"	38°28'06.50"	96,00	60,00	32,01	0,56
E9	12°59'05.06"	38°27'04.03"	100,00	12,00	6,84	0,12
E10	12°57'05.20"	38°22'23.92"	0,00	0,00	0,00	0,00
E11	12°55'13,89"	38°30'08,17"	4,00	6,00	56,31	0,98
E12	12°57'14.14"	38°22'58.18"	0,00	0,00	0,00	0,00
E13	12°57'59.50"	38°24'24.75"	16,00	3,00	10,62	0,19
E14	12°59'29.59"	38°26'19.13"	0,00	0,00	0,00	0,00
E15	12°59'52.66"	38°27'18.37"	71,00	9,00	7,22	0,13
E16	13°00'07.09"	38°27'13.57"	40,00	30,00	36,87	0,64
E17	12°56'04,62"	38°19'49,69"	10,00	4,00	21,80	0,38
E18	12°56'15,45"	38°29'27,33"	0,00	0,00	0,00	0,00
E19	12°54'47,89"	38°29'50,17"	2,00	6,00	71,57	1,25
E20	12°55'58,28"	38°30'24,86"	34,00	7,00	11,63	0,20

Após a identificação do ângulo θ para todas as estações, procedeu-se a verificação da correlação desta variável com a deposição de cloreto, através de um gráfico de dispersão no qual se poderia verificar a relação entre o ângulo e o erro relativo existente entre os valores calculados a partir da equação original, proposta por Vilasboas (2013), e os valores encontrados experimentalmente para as 20 estações.

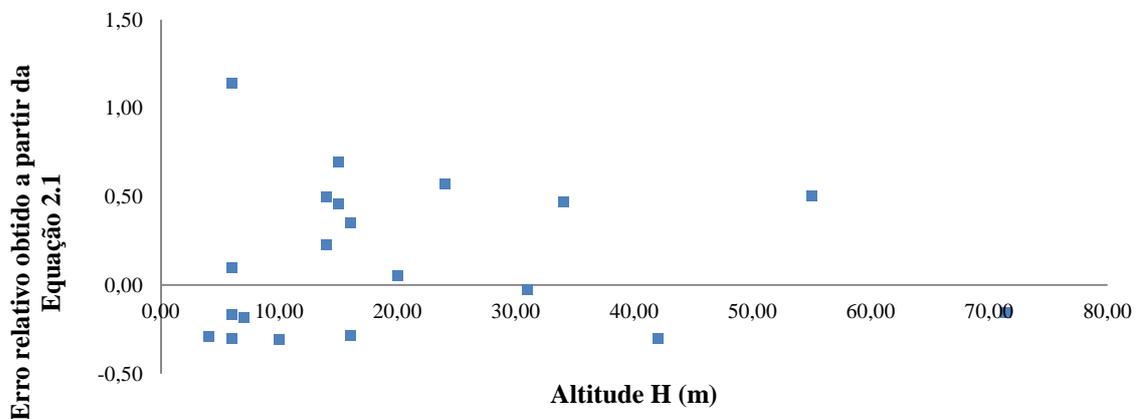
Figura 3.2 – Relação entre o erro relativo e o ângulo θ (rad)



Verificou-se que existia uma correlação fraca que apontava que quanto maior o ângulo, menor seria o erro relativo, ou seja, para ângulos maiores, onde havia edificações do entorno próximas à estação de estudo, os erros relativos tendiam a ser menores.

De forma análoga, buscou-se verificar a relação entre a altitude H e o erro relativo entre os valores calculados e os valores experimentais.

Figura 3.3 – Relação entre o erro relativo e a altitude H (m)



Para o caso da variável H, o gráfico de dispersão não demonstrou correlação entre a variável e o erro relativo obtido pelo uso da equação 2.1.

Inicialmente foram mantidas todas as constantes da equação e somente acrescentado um fator de multiplicação à equação em função de cada uma das novas variáveis na forma apresentada nas equações 3.2 e 3.3.

$$Tx_{cl} = 3500. \left[1 - e^{-\left(\frac{0,0135}{x+1,35 \cdot 10^{-5}}\right)^{0,86}} \right]. (A + b. \theta^c) + 65 \quad (3.2)$$

$$Tx_{Cl} = 3500 \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{0,0135}{x+1,35 \cdot 10^{-5}}\right)^{0,86}} \right] \cdot (A + b \cdot H^c) + 65 \quad (3.3)$$

Para determinar quais deveriam ser os valores de A, b e c, que se tornariam as novas constantes da equação, foi utilizado o suplemento *Solver*, no *Microsoft Office Excel 2007*, ferramenta de análise hipotética que possibilita encontrar um valor ideal (otimizado) para uma determinada equação a partir de método iterativo. Com o *Solver*, é possível encontrar um valor ideal (máximo ou mínimo) para a fórmula presente em uma célula – denominada célula objetivo – definindo restrições, ou limites, nos valores de outras células que compõem a fórmula da célula objetivo – denominadas variáveis de decisão. O *Solver* ajusta os valores nas células de variáveis de decisão de forma a produzir o resultado esperado para a célula de objetivo.

No presente trabalho, foi considerada como célula objetivo a célula de Soma dos quadrados dos erros do ajuste, ou Soma dos quadrados dos erros da regressão, parte do numerador da fração que representa o coeficiente de determinação, R^2 , conforme a equação 3.4. Esta célula deveria ser o menor possível para que R^2 fosse o maior possível. Para isso, foram testadas as constantes A, b e c, descritas acima, como variáveis de decisão, uma a uma, identificando quais valores para estas constantes resultariam em um melhor valor de R^2 (mais próximo de 1,0).

$$R^2 = \frac{\Sigma(y-\bar{y})^2 - \Sigma(y-\hat{y})^2}{\Sigma(y-\bar{y})^2} \quad (3.4)$$

Sendo:

y = valor real, obtido experimentalmente para cada ponto;

\bar{y} = valor médio dentre todos os valores reais;

\hat{y} = valor ajustado, obtido com a fórmula.

Procedeu-se, posteriormente, a modificação das constantes presentes na fórmula original, de forma análoga ao que foi feito para as novas constantes inseridas (A, b e c), relativas ao ângulo e à altitude. A partir do *Solver*, foram testados novos valores para as constantes $1,35 \times 10^{-2}$, $1,35 \times 10^{-5}$ e para o expoente 0,86, mantendo a relação definida na equação original (2.1) de 1000:1 entre as duas primeiras variáveis.

Na sequência, avaliaram-se as constantes $3500 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ e $65 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$, que correspondem, respectivamente, aos valores máximo e mínimo das taxas de deposição de

cloretos obtidos no modelo empregado. Na Tabela 3.2 encontra-se um resumo dos resultados obtidos em experiências similares realizadas no litoral nordestino, em que se empregou o método da vela úmida para realizar o monitoramento da deposição de cloretos.

Tabela 3.2 – Resumo da deposição média de cloretos no litoral nordestino

Nº total de estações	Período	Local			Deposição média de cloretos		Fonte
		Cidade	Estação em relação ao mar		(mg/m ² .dia)		
			mais próxima	mais distante	máxima	mínima	
					distância da estação ao mar (m)		
4	ago/90 a out/91	Fortaleza	Sabiaguaba	RFSA	3502,0	23,6	Albuquerque (2005)
					15,0	1000,0	
9	ago/00 a jan/01	Salvador	Praia do Flamengo	Buraquinho	46,2	1,8	Costa (2001)
					71,6	2645,0	
5	nov/01 a mar/02	João Pessoa	E ₁	E ₅	540,7	6,0	Meira e Padaratz (2002)
					10,0	1100,0	
15	mai/02 a a set/04 e mai/04 a fev/06	São Luís	Praia do Meio	Peritoró	376,0	9,3	Sica (2006)
					25,0	1780,0	
-	jan/02 a dez/02	Aracaju	Praia da Caueira	-	1087,0	-	Joukoski (2003)
					-	-	
5	ago/05 a jan/06	Recife	Boa Viagem (E ₁)	Boa Viagem (E ₄)	554,4	40,8	Pontes (2006)
					7,0	230,0	
25	out/06 a dez/06	Maceió	Jacarecica	Ipioca	1017,9	46,2	Alves (2007)
					20,2	644,8	
7	set/08 a ago/10	Salvador	Amaralina	Centro Industrial	274,0	6,0	Brambilla (2009)
					150,0	7040,0	

Fonte: Vilasboas (2013)

Foi identificado que os valores de máximo e mínimo considerados representam valores referentes a verificações de deposição de cloreto realizadas por vezes em períodos inferiores a um ano, não correspondendo, portanto, a valores de média anual das verificações, conforme preconiza a NBR 14643 (ABNT, 2001). Como o que se deseja encontrar é um valor que possa representar a deposição média ao longo do ano para os diferentes pontos que se desejam analisar na cidade de Salvador, decidiu-se realizar a modificação destas constantes para os valores máximo e mínimo de médias encontrados dentre as estações pesquisadas. O valor

considerado como máximo para a nova equação é de 1150 mg/(m².dia) e o mínimo de 80 mg/(m².dia), conforme valores de médias encontrados nas estações E₁₀ e E₉, respectivamente.

Finalizando, verificou-se que a partir de ambas as variáveis foi possível estabelecer uma equação que melhorava o coeficiente de determinação do ajuste, partindo-se então para o uso de uma equação em que se levasse em consideração conjuntamente os valores de θ e H. Para esta etapa, foram utilizados os novos valores definidos como máximo e mínimo para equação 2.1.

3.2 Metodologia utilizada para atualizar o mapa de agressividade ambiental anterior e verificar os seus resultados

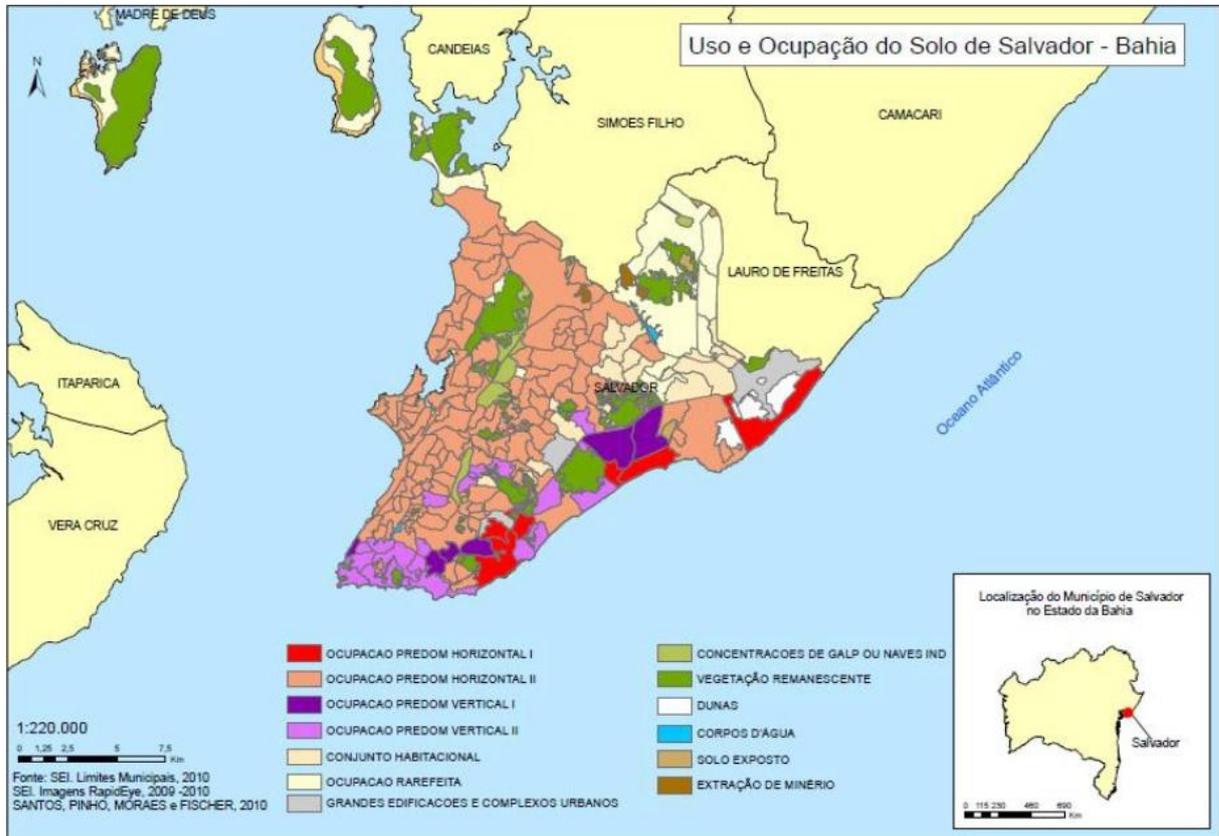
Para a realização do novo mapa de agressividade ambiental de Salvador, a cidade foi dividida em 160 bairros, sendo identificada para cada um deles a taxa de deposição média de cloretos, calculada a partir da implementação das mudanças descritas anteriormente na equação 2.1. Para calcular o valor de deposição de cloretos a partir da equação modificada faz-se necessário: a distância ao mar corrigida de acordo com o vento SE, a altitude média da região e um ângulo teta médio.

O ângulo foi definido a partir de uma altura média das edificações e distância média entre as edificações, a depender da tipologia de ocupação do solo (predominantemente horizontal ou vertical) e do comprometimento do espaço municipal exibido pelo bairro, parâmetros que foram observados nos Cadernos da Cidade (2009), desenvolvidos pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, Habitação e Meio Ambiente – SEDHAM, e consolidados no mapa de uso e ocupação do solo de Salvador proposto por Santana *et al.* (2014), apresentado na figura 3.4.

Os Cadernos da cidade (2009) dividem a tipologia de ocupação do solo do município de Salvador em treze categorias: Concentrações de Galpões ou Naves Industriais, Grandes Edificações e Complexos Urbanos, Conjunto Habitacional Horizontal, Conjunto Habitacional Vertical I, Conjunto Habitacional Vertical II, Ocupação Predominantemente Horizontal I, Ocupação Predominantemente Horizontal II, Ocupação Predominantemente Horizontal III, Ocupação Predominantemente Horizontal IV e Ocupação Predominantemente Horizontal V, Ocupação Predominantemente Vertical I e Ocupação Predominantemente Vertical II e Ocupação Rarefeita.

Todavia, o mapa apresentado por Santana *et al.* (2014) inclui ainda mais cinco categorias: Vegetação Remanescente, Solo Exposto, Dunas, Corpos d'água e Extração de Minério, visando relacionar os resultados às questões socioambientais.

Figura 3.4 – Uso e Ocupação do solo de Salvador – Bahia



Fonte: Santana *et al.* (2014).

O mapa, apresentado na figura 3.4, agrupou algumas categorias, colocando em uma única legenda as Ocupações predominantemente Horizontais II, III, IV e V e em outra legenda as três categorias de conjunto habitacional. Com o auxílio do mapa, porém buscando identificar também os bairros que se adéquam nas categorias que foram agrupadas, realizou-se a classificação dos bairros de Salvador, de forma a identificar qual o valor médio de ângulo teta que deverá ser considerado para cada bairro. Cada categoria apresenta suas respectivas características de ocupação, descritas e exemplificadas por imagens padrão e situações tipo nos Cadernos da Cidade (2009), sendo assim, foi possível determinar as alturas e distâncias médias entre as edificações e em seguida determinar o ângulo θ médio, conforme apresentado na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Características de ocupação por categoria de ocupação do solo

Categoria	Densidade de ocupação	Tipologia predominante	Distância média (m)	Altura média (m)	Ângulo θ médio (graus)
Concentrações de Galpões ou Naves Industriais	Média/alta	Galpões	40,0	9,0	12,68
Grandes Edificações e Complexos Urbanos	Média/alta	Grandes edificações	40,0	12,0	16,70
Conjunto Habitacional Horizontal	Média/alta	Casas com até 2 pav.	10,0	6,0	30,96
Conjunto Habitacional Vertical I	Média/alta	Edifícios com até 4 pav.	20,0	12,0	30,96
Conjunto Habitacional Vertical II	Média/alta	Edifícios com mais de 4 pav.	20,0	24,0	50,19
Ocupação Predominantemente Horizontal I	Baixa/média	Casas com até 2 pav.	20,0	6,0	16,70
Ocupação Predominantemente Horizontal II	Média/alta	Casas com até 2 pav.	10,0	6,0	30,96
Ocupação Predominantemente Horizontal III	Alta	Casas e pequenos Edifícios	8,0	6,0	36,87
Ocupação Predominantemente Horizontal IV	Média/alta	Barracos e casebres	8,0	3,0	20,56
Ocupação Predominantemente Horizontal V	Média/alta	Casas e estabelecimentos comerciais	10,0	6,0	30,96
Ocupação Predominantemente Vertical I	Média/alta	Edifícios com mais de 4 pav.	20,0	24,0	50,19
Ocupação Predominantemente Vertical II	Média/alta	Edifícios com mais de 4 pav.	20,0	24,0	50,19
Ocupação Rarefeita	Baixa	Chácaras	60,0	6,0	5,71

Além do ângulo teta, foi necessário também estipular uma altitude média a ser considerada para cada bairro, sendo identificada a altitude de alguns pontos dentro dos limites do bairro a partir de um mapa topográfico da cidade de Salvador e realizando-se uma média destes valores. Por fim, as distâncias médias do bairro ao mar, e as distâncias corrigidas em função da direção predominante dos ventos (SE), também precisavam ser medidas: para a maioria dos bairros foram utilizados os valores apresentados nos trabalhos de Gomes e Vilasboas (2015) e, para os bairros que não haviam sido estudados no trabalho da autora, realizou-se a verificação das distâncias a partir do programa *Google Earth*. De posse de todos estes valores,

apresentados na tabela 3.4, foi possível realizar o cálculo da taxa de deposição média de íons cloretos em $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ para cada bairro a partir da equação 2.1 modificada.

Para os bairros localizados na costa de Salvador voltados para o oceano Atlântico, que recebem diretamente a contribuição dos ventos da direção Sudeste (predominante), foram realizados dois cálculos: um considerando a menor distância até o mar e ângulo teta igual a zero, e outro considerando a distância média e o ângulo teta médio. Essa verificação se faz necessária para identificar qual condição é mais desfavorável para a deposição de cloretos nos bairros da orla marítima, utilizando-se, nestes casos, o maior valor encontrado para a realização do mapa.

Tabela 3.4 – Dados dos bairros de Salvador para cálculo de deposição de Cl

Nome dos Bairros	Dist. ao mar (Km)	Dist. ao mar corrigida (Km)	Altitude H (m)	Categoria de ocupação do solo	Ângulo θ (graus)
Acupe	1,64	2,78	54	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Aeroporto	2,31	2,31	10	Grandes Edif. e Complexos Urbanos	16,70
Águas Claras	9,27	9,27	87	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Alto da Terezinha	10,84	10,84	55	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Alto das Pombas	0,76	1,25	46	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Alto do Cabrito	9,41	9,41	76	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Alto do Coqueirinho	1,27	1,80	25	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Amaralina	0,04	0,04	11	Ocupação Predom. Horizontal V	0,00
Amaralina	0,16	0,16	11	Ocupação Predom. Horizontal V	30,96
Areia Branca	8,51	8,51	60	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Arenoso	3,96	3,96	51	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Arraial do Retiro	4,17	4,17	66	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Bairro da Paz	2,08	2,94	14	Ocupação Predom. Horizontal IV	20,56
Baixa de Quintas	5,11	7,23	25	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Barbalho	4,72	6,68	57	Ocupação Predom. Horizontal V	30,96
Barra	0,06	0,06	8	Ocupação Predom. Vertical II	0,00
Barra	0,36	0,36	8	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Barreiras	4,34	4,34	73	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Barris	2,56	3,62	68	Ocupação Predom. Horizontal V	30,96
Beiru/Tancredo Neves	4,55	4,79	64	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Boa Viagem	8,56	12,11	9	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Boa Vista de Brotas	3,06	4,85	45	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Boa Vista de São Caetano	8,32	8,32	58	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Boca da Mata	5,43	7,68	55	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Boca do Rio	0,14	0,14	7	Ocupação Predom. Horizontal II	0,00
Boca do Rio	0,45	0,45	7	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96

Tabela 3.4 – Dados dos bairros de Salvador para cálculo de deposição de Cl⁻ (Continuação)

Nome dos Bairros	Dist. ao mar (Km)	Dist. ao mar corrigida (Km)	Altitude H (m)	Categoria de ocupação do solo	Ângulo θ (graus)
Bom Juá	6,65	6,65	22	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Bonfim	9,14	12,93	35	Ocupação Predom. Horizontal V	30,96
Brotas	2,46	3,48	62	Ocupação Predom. Horizontal V	30,96
Cabula	4,48	4,48	50	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Cabula VI	3,11	3,31	44	Conjunto Habitacional Vertical I	30,96
Caixa D'Água	6,41	6,41	55	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cajazeiras II	9,37	9,37	50	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cajazeiras IV	7,87	8,40	48	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cajazeiras V	7,76	8,63	60	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cajazeiras VI	8,15	8,93	71	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cajazeiras VII	8,73	9,71	88	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cajazeiras VIII	6,86	7,55	60	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cajazeiras X	7,51	9,65	65	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cajazeiras XI	8,62	10,49	69	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Calabar	0,37	0,65	35	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Calabetão	6,81	6,81	44	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Calçada	7,28	10,30	7	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Caminho das Árvores	2,18	2,18	13	Ocupação Predom. Horizontal I	16,70
Caminho de Areia	9,47	9,74	8	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Campinas de Pirajá	9,05	9,05	53	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Canabrava	4,61	4,61	23	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Candeal	2,37	3,35	41	Ocupação Predom. Vertical I	50,19
Canela	1,92	1,92	61	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Capelinha	8,19	8,19	54	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cassange	5,54	6,11	79	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Castelo Branco	6,22	6,22	76	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Centro	4,09	5,78	17	Ocupação Predom. Vertical I	50,19
Centro Administrativo da Bahia	2,98	2,98	40	Grandes Edif. e Complexos Urbanos	16,70
Centro Histórico	4,08	6,38	57	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Chapada do Rio Vermelho	0,75	0,96	32	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cidade Nova	5,03	7,11	49	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Comércio	4,05	5,73	15	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Cosme de Farias	3,77	5,33	54	Ocupação Predom. Horizontal III	36,87
Costa Azul	0,16	0,16	6	Ocupação Predom. Vertical II	0,00
Costa Azul	0,50	0,50	6	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Coutos	13,13	13,13	36	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Curuzu	7,41	7,41	28	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Dom Avelar	8,52	8,52	87	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Doron	2,25	2,25	12	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96

Tabela 3.4 – Dados dos bairros de Salvador para cálculo de deposição de Cl^- (Continuação)

Nome dos Bairros	Dist. ao mar (Km)	Dist. ao mar corrigida (Km)	Altitude H (m)	Categoria de ocupação do solo	Ângulo θ (graus)
Engenho Velho da Federação	1,10	1,56	46	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Engenho Velho de Brotas	2,37	3,35	34	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Engomadeira	4,72	4,72	78	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Fazenda Coutos	14,24	14,24	30	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Fazenda Grande do Retiro	7,32	10,35	70	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Fazenda Grande I	7,03	9,05	64	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Fazenda Grande II	5,92	7,91	62	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Fazenda Grande III	5,53	7,24	72	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Fazenda Grande IV	4,51	6,36	35	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Federação	1,55	2,19	50	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Garcia	1,93	2,73	63	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Graça	1,24	1,75	74	Ocupação Predom. Vertical I	50,19
Granjas Rurais Presidente Vargas	7,27	7,63	80	Conc. de Galpões ou Naves Industriais	12,68
IAPI	6,25	8,84	50	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Imbuí	1,32	1,32	11	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Itacarânia	13,00	18,50	30	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Itaigara	2,10	2,10	20	Ocupação Predom. Vertical I	50,19
Itapuã	0,06	0,08	4	Ocupação Predom. Horizontal II	0,00
Itapuã	1,66	1,66	4	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Itinga	4,07	4,07	20	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Jaguaripe I / Fazenda Grande	4,92	5,35	35	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Jardim Armação	0,10	0,10	8	Ocupação Predom. Vertical II	0,00
Jardim Armação	0,47	0,47	8	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Jardim Cajazeiras	7,09	7,09	88	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Jardim das Margaridas	4,14	4,14	21	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Jardim Nova Esperança	5,56	5,56	41	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Jardim Santo Inácio	7,47	7,47	70	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Lapinha	9,61	9,61	53	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Liberdade	6,46	9,14	60	Ocupação Predom. Horizontal III	36,87
Lobato	0,22	8,97	12	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Luiz Anselmo	4,21	5,95	21	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Macaúbas	4,83	6,09	29	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Mangueira	9,48	9,95	6	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Marechal Rondon	8,48	8,48	71	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Mares	7,74	10,95	7	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Massaranduba	9,04	12,78	7	Ocupação Predom. Horizontal III	36,87
Mata Escura	5,74	5,74	68	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Matatu	3,70	5,01	63	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Monte Serrat	8,84	12,50	11	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96

Tabela 3.4 – Dados dos bairros de Salvador para cálculo de deposição de Cl^- (Continuação)

Nome dos Bairros	Dist. ao mar (Km)	Dist. ao mar corrigida (Km)	Altitude H (m)	Categoria de ocupação do solo	Ângulo θ (graus)
Moradas da Lagoa	13,53	15,85	79	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Mussurunga	3,26	4,61	19	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Narandiba	3,37	3,37	22	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Nazaré	3,32	4,70	46	Ocupação Predom. Horizontal V	30,96
Nordeste de Amaralina	0,70	0,70	23	Ocupação Predom. Horizontal III	36,87
Nova Brasília	4,75	4,75	45	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Nova Constituinte	13,01	13,76	26	Ocupação Predom. Horizontal IV	20,56
Nova Esperança	8,08	8,08	73	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Nova Sussuarana	4,58	4,58	47	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Novo Horizonte	3,88	4,02	52	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Novo Marotinho	5,84	5,84	52	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Ondina	0,03	0,03	6	Ocupação Predom. Vertical II	0,00
Ondina	0,55	0,55	6	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Palestina	11,40	11,40	48	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Paripe	16,38	16,38	7	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Patamares	0,15	0,15	4	Ocupação Predom. Horizontal I	0,00
Patamares	1,80	1,80	4	Ocupação Predom. Horizontal I	16,70
Pau da Lima	6,28	6,28	74	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Pau Miúdo	5,79	8,19	25	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Periperi	12,80	12,88	6	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Pernambúes	3,13	3,13	21	Ocupação Predom. Horizontal III	36,87
Pero Vaz	6,52	9,22	70	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Piatã	0,12	0,12	4	Ocupação Predom. Horizontal I	0,00
Piatã	0,85	0,85	4	Ocupação Predom. Horizontal I	16,70
Pirajá	9,02	9,02	90	Conc. de Galpões ou Naves Industriais	12,68
Pituaçu	0,15	0,15	5	Ocupação Predom. Horizontal I	0,00
Pituaçu	1,15	1,15	5	Ocupação Predom. Horizontal I	16,70
Pituba	0,07	0,07	4	Ocupação Predom. Vertical I	50,19
Pituba	0,64	0,64	4	Ocupação Predom. Vertical I	50,19
Plataforma	11,48	11,48	62	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Porto Seco Pirajá	7,83	8,05	83	Conc. de Galpões ou Naves Industriais	12,68
Praia Grande	12,58	12,58	20	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Resgate	3,81	3,81	51	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Retiro	6,06	6,06	15	Conc. de Galpões ou Naves Industriais	12,68
Ribeira	9,67	13,68	5	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Rio Sena	12,06	12,06	78	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Rio Vermelho	0,09	0,09	7	Ocupação Predom. Horizontal V	0,00
Rio Vermelho	0,43	0,43	7	Ocupação Predom. Horizontal V	30,96

Tabela 3.4 – Dados dos bairros de Salvador para cálculo de deposição de Cl^- (Continuação)

Nome dos Bairros	Dist. ao mar (Km)	Dist. ao mar corrigida (Km)	Altitude H (m)	Categoria de ocupação do solo	Ângulo θ (graus)
Roma	8,25	11,67	4	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Saboeiro	2,74	2,74	26	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Santa Cruz	1,17	1,65	18	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Santa Luzia	8,01	8,47	6	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Santa Mônica	5,95	5,95	34	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Santo Agostinho	3,85	5,42	40	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Santo Antônio	4,90	6,93	61	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
São Caetano	7,34	7,34	56	Ocupação Predom. Horizontal III	36,87
São Cristóvão	3,65	3,65	9	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
São Gonçalo	4,77	4,77	42	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
São João do Cabrito	9,22	9,22	7	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
São Marcos	5,09	5,09	56	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
São Rafael	3,31	3,31	33	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
São Tomé	17,15	19,74	10	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Saramandaia	3,42	3,54	17	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Saúde	3,89	5,78	56	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Sete de Abril	6,30	6,30	48	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Stella Maris	0,07	0,07	6	Ocupação Predom. Horizontal I	0,00
Stella Maris	0,37	0,37	6	Ocupação Predom. Horizontal I	16,70
Stiep	1,28	1,28	23	Ocupação Predom. Horizontal I	16,70
Sussuarana	4,65	4,65	49	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Tororó	2,61	3,69	40	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Trobogy	3,51	3,51	19	Conjunto Habitacional Horizontal	30,96
Uruguai	7,68	10,86	7	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Vale das Pedrinhas	0,54	0,63	16	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Vale dos Lagos	3,73	3,73	38	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Valéria	11,19	11,19	88	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Vila Canária	7,24	7,24	83	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Vila Laura	4,43	6,27	47	Ocupação Predom. Vertical II	50,19
Vila Ruy Barbosa/Jadim Cruzeiro	8,24	11,65	6	Ocupação Predom. Horizontal II	30,96
Vitória	1,34	1,90	72	Ocupação Predom. Vertical I	50,19

Após a identificação dos valores de deposição média de íons cloretos, foram realizados dois mapas: um mapa que separava os valores de deposição encontrados por faixas e apresentava cada bairro dentro de uma faixa de deposição e um mapa que apresentava a classe de agressividade ambiental identificada para cada bairro, como forte ou moderada, a partir da classificação de contaminação por Cl⁻.

Os mapas foram realizados no programa QGIS versão 2.8.9, programa gratuito que apresenta um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto. O QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), disponível também na versão em Português, e suporta diversos formatos de vetores, *rasters* e bases de dados.

Para criar os mapas utilizou-se um levantamento geográfico já existente da cidade de Salvador, dividido em bairros, fornecido nas aulas da disciplina Geoprocessamento da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia no corrente ano. Cabe neste ponto esclarecer o fato de que em Salvador não há uma delimitação oficial de bairros e, portanto, considerou-se para a realização deste trabalho a divisão definida no mapa utilizado como base, após verificá-la como uma das mais completas, na qual a cidade estava estratificada em maior número de bairros. O arquivo disponibilizado estava no formato *AutoCad Shape Source* e foi inserido ao programa QGIS como uma camada vetorial de área (formada por polígonos), denominada Bairros, criada sobre o sistema de referência de coordenadas WGS84.

Trabalhando sempre a partir do programa QGIS, foram realizadas algumas modificações à tabela de atributos do mapa original, de forma a incluir duas colunas à tabela: uma com a taxa de deposição de cloretos e outra com a classe de agressividade ambiental, preenchendo-as com os valores obtidos para cada bairro. A partir destas colunas foi possível modificar as propriedades da camada Bairros, condicionando a formatação dos 160 bairros, linhas da tabela de atributos, aos valores encontrados para a deposição de cloretos e classe de agressividade ambiental.

Para a formatação da camada Bairros escolheu-se o estilo graduado, no qual é possível modificar as cores de cada item a partir de determinado número de classes que englobam cada uma um intervalo determinado de valores. Para o primeiro mapa, de classificação dos bairros de Salvador com base nos resultados de deposição de cloretos, a graduação da camada foi repartida em 4 faixas, que englobam intervalos definidos de acordo com o perfil dos resultados encontrados.

Quanto ao mapa de classes de agressividade ambiental, verificando-se que a equação definida encontra somente valores de contaminação de cloretos maiores que $60 \text{ mg}/(\text{m}^2.\text{dia})$, todos os itens do mapa foram identificados como B_2 ou B_3 , conforme tabela 2.6 apresentada no apartado que trata de estudos anteriores. O mapa de agressividade ambiental foi dividido então em somente 2 classes: moderada e forte, correspondentes aos riscos de deterioração da estrutura: pequeno e grande, respectivamente.

Por fim, para gerar os mapas a partir da camada editada no programa, foi necessário realizar um compositor de impressão, no qual se decidiu a escala de apresentação do mapa e foram inseridos componentes essenciais a uma representação cartográfica: a escala (gráfica e numérica), a legenda e a declinação magnética (indicação do Norte).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

São apresentados neste item os resultados e as análises do trabalho efetuado buscando uma melhor modelagem da taxa de deposição de cloreto na cidade do Salvador. Ao final deste item, são apresentados dois mapas, um contendo as classificações da agressividade ambiental dos diversos bairros da cidade e outro que indica os resultados de deposição de cloretos em $\text{mg}/(\text{m}^2.\text{dia})$ por bairro.

4.1 Modelagem da taxa de deposição de cloretos

A equação 4.1 apresenta os melhores valores de A, b e c obtidos quando da inserção da variável ângulo teta (θ), na equação 2.1. Uma análise comparativa destes resultados é apresentada na figura 4.1, enquanto que a figura 4.2 apresenta de forma gráfica a performance obtida com o uso da nova equação.

$$T_{x_{Cl}} = 3500. \left[1 - e^{-\left(\frac{0,1}{x+1,0.10^{-4}}\right)^{3,17}} \right]. (0,32 + 4,93. \theta) + 65 \quad (4.1)$$

Figura 4.1 – Relação entre as deposições de cloretos real e calculadas com as eq. 2.1 e 4.1, e a distância corrigida em relação ao mar

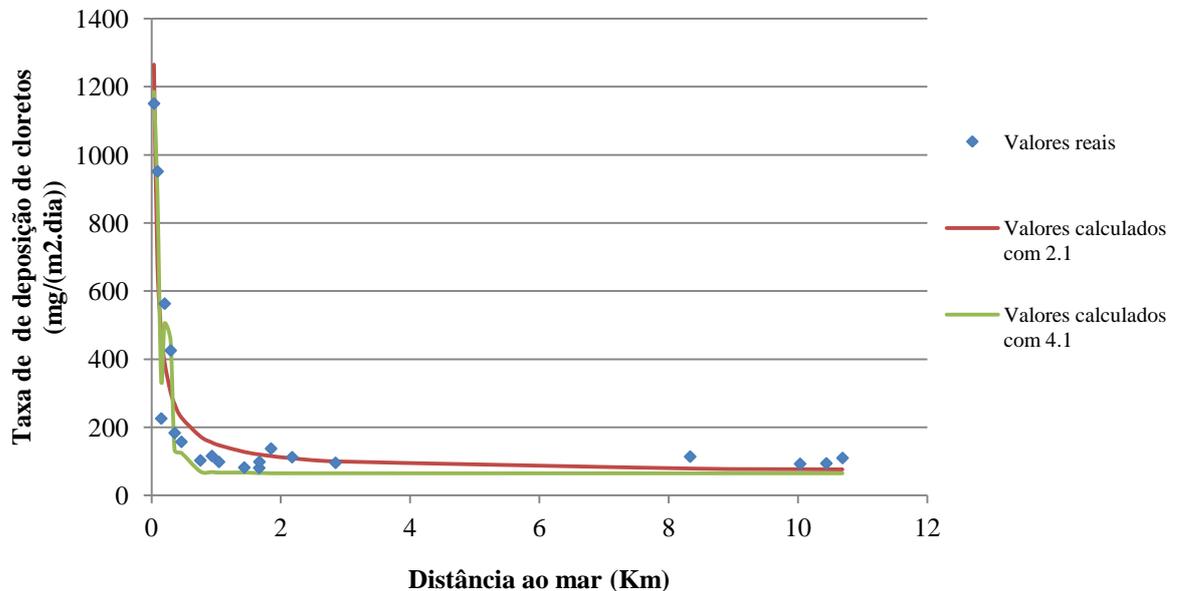
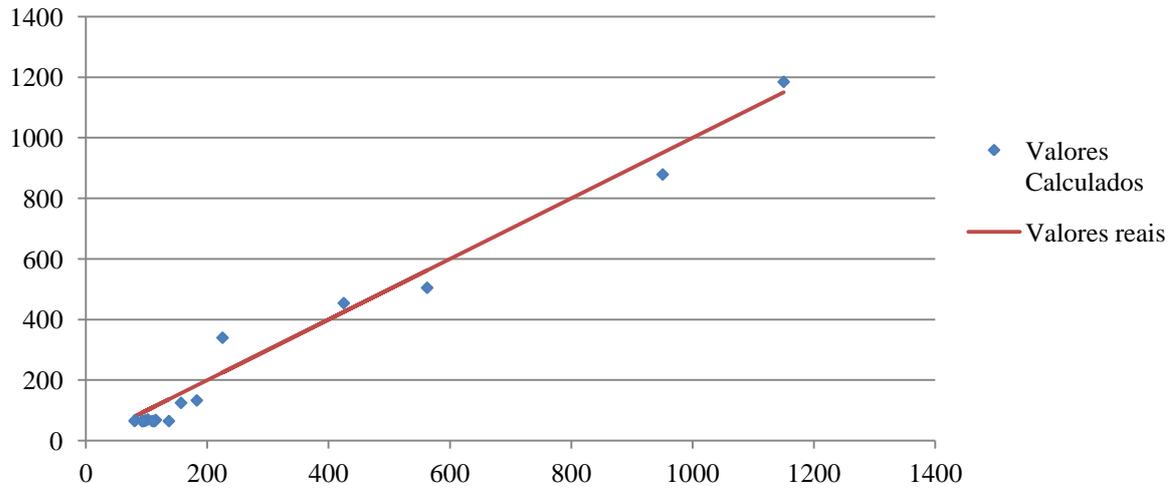


Figura 4.2 – Correlação entre os valores de deposição de cloretos ($\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$) calculados com a equação 4.1 e os valores reais obtidos experimentalmente



Para esta equação (4.1), o valor do coeficiente de determinação cresce para $R^2 = 0,9730$, apresentando uma diferença de $\Delta R^2 = 0,1048$, representando um crescimento de 12,07% do ajuste da curva.

A equação 4.2 apresenta os melhores valores de A, b e c obtidos quando da inserção da variável Altitude (H). As figuras apresentadas na sequência ilustram os resultados obtidos através dos ajustes efetuados.

$$Tx_{Cl} = 3500. \left[1 - e^{-\left(\frac{0,073}{x+7,3 \cdot 10^{-5}}\right)^{1,095}} \right]. (0,28 + H^{-1,45}) + 65 \quad (4.2)$$

Figura 4.3 – Relação entre as deposições de cloretos real e calculadas com as eq. 2.1 e 4.2, e a distância corrigida em relação ao mar

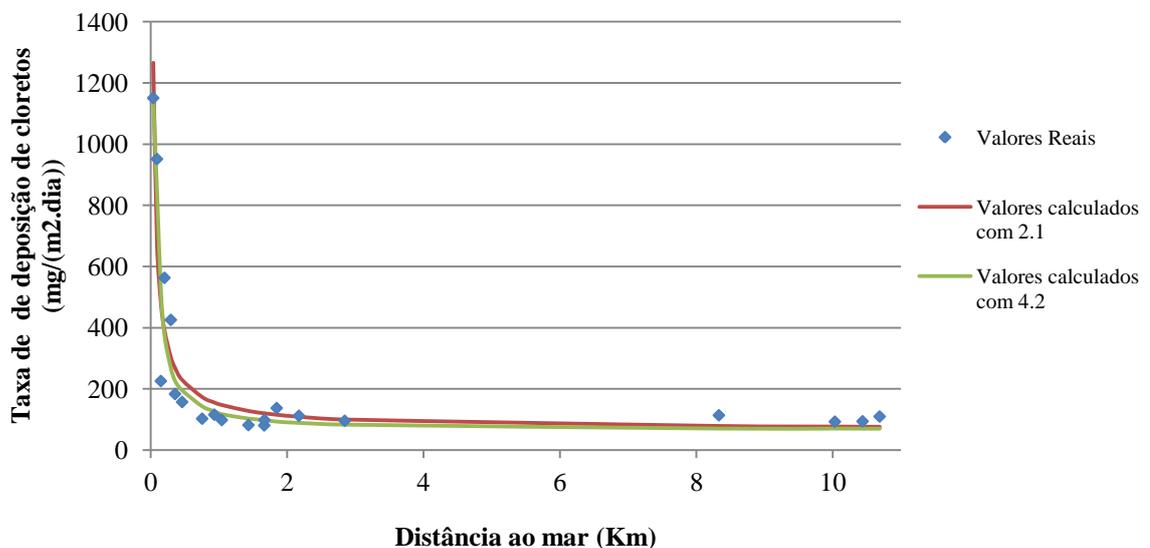
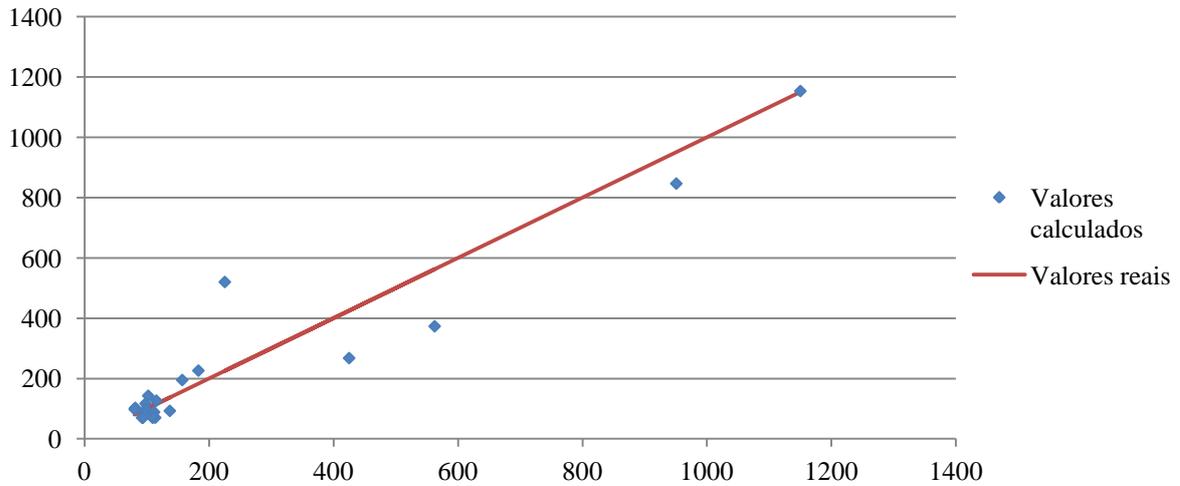


Figura 4.4 – Correlação entre os valores de deposição de cloretos ($\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$) calculados com a equação 4.2 e os valores reais obtidos experimentalmente



Para esta equação (4.2), o valor do coeficiente de determinação cresce para $R^2 = 0,9008$, apresentando uma diferença de $\Delta R^2 = 0,0326$, representando um crescimento de 3,76% do ajuste da curva. A desvantagem deste modelo é que para valores de Altitude (H) menores que 4 m (menor valor experimental do trabalho) os valores das taxas de deposição de cloreto calculadas com a equação crescem exponencialmente, criando pontos fora da curva. Sendo assim, para a divulgação e utilização desta equação é necessário que se determine a restrição de $H \geq 4$ m.

A equação 4.3 ilustra os melhores valores obtidos para as constantes do ajuste quando do uso simultâneo das variáveis θ e H. A tabela 4.1 e as figuras apresentadas na sequência ilustram os resultados obtidos com o modelo e sua performance.

$$Tx_{Cl} = 1150. \left[1 - e^{-\left(\frac{0,1}{x+1,0 \cdot 10^{-4}}\right)^{3,12}} \right]. (1 + 11. \theta^{0,75} - 0,004. H^{1,5}) + 80 \quad (4.3)$$

Tabela 4.1 – Resumo da deposição de cloretos nas estações E1 – E20, valores calculados com a equação 4.3

Estação e seus dados				Concentração de cloretos mg/(m ² .dia)							Contaminação da atmosfera por Cl ⁻ (NBR 14643)	Agressividade ambiental	Risco de deterioração da estrutura
Estação	Distância ao mar corrigida (km)	Altitude (m)	Ângulo θ (rad)	Média Total	Calculada com a Equação 2.1	Calculada com a Equação 4.3	Valor devido à distância	Valor devido ao ângulo teta (θ)	Valor devido à altitude (H)	Erro da Equação 4.3			
E1	2,845	20,00	0,038	95,22	99,95	80,05	80,03	0,03	-0,01	15,17	B ₂	Moderada	Pequeno
E2	0,933	16,00	0,193	115,24	155,44	84,27	81,08	3,47	-0,28	30,96			
E3	1,042	55,00	0,137	97,86	147,34	81,42	80,77	1,90	-1,25	16,45			
E4	2,173	31,00	0,000	111,66	109,01	80,02	80,08	0,00	-0,05	31,64			
E5	0,356	34,00	0,160	182,86	268,49	144,51	101,59	60,04	-17,12	38,35			
E6	1,847	71,40	0,000	136,88	115,56	79,82	80,13	0,00	-0,31	57,07			
E7	1,667	14,00	0,523	97,97	120,18	81,34	80,18	1,20	-0,04	16,64			
E8	1,433	24,00	0,559	81,33	127,78	82,17	80,28	2,02	-0,13	-0,84			
E9	1,664	14,00	0,119	80,22	120,27	80,54	80,18	0,40	-0,04	-0,32			
E10	0,037	6,00	0,000	1150,29	1265,44	1162,39	1230,00	0,00	-67,61	-12,11	B ₃	Forte	Grande
E11	10,437	7,00	0,983	93,59	76,47	80,01	80,00	0,01	0,00	13,58	B ₂	Moderada	Pequeno
E12	0,149	6,00	0,000	225,25	481,81	350,51	367,41	0,00	-16,90	-125,26			
E13	0,202	10,00	0,185	562,56	390,47	562,34	201,17	376,50	-15,33	0,22	B ₃	Forte	Grande
E14	0,092	4,00	0,000	950,84	676,26	887,61	914,30	0,00	-26,70	63,24			
E15	0,754	15,00	0,126	102,19	173,34	86,51	82,10	4,89	-0,49	15,68	B ₂	Moderada	Pequeno
E16	0,295	16,00	0,644	425,06	303,16	414,10	118,64	305,35	-9,89	10,96	B ₃	Forte	Grande
E17	0,461	15,00	0,381	156,86	229,05	139,28	89,72	51,82	-2,26	17,58	B ₂	Moderada	Pequeno
E18	8,330	42,00	0,000	113,37	78,92	80,00	80,00	0,00	0,00	33,37			
E19	10,687	6,00	1,249	109,33	76,24	80,01	80,00	0,01	0,00	29,32			
E20	10,031	6,00	0,203	92,25	76,86	80,00	80,00	0,00	0,00	12,25			

Figura 4.5 – Relação entre as deposições de cloretos real e calculadas com as eq. 2.1 e 4.3, e a distância corrigida em relação ao mar

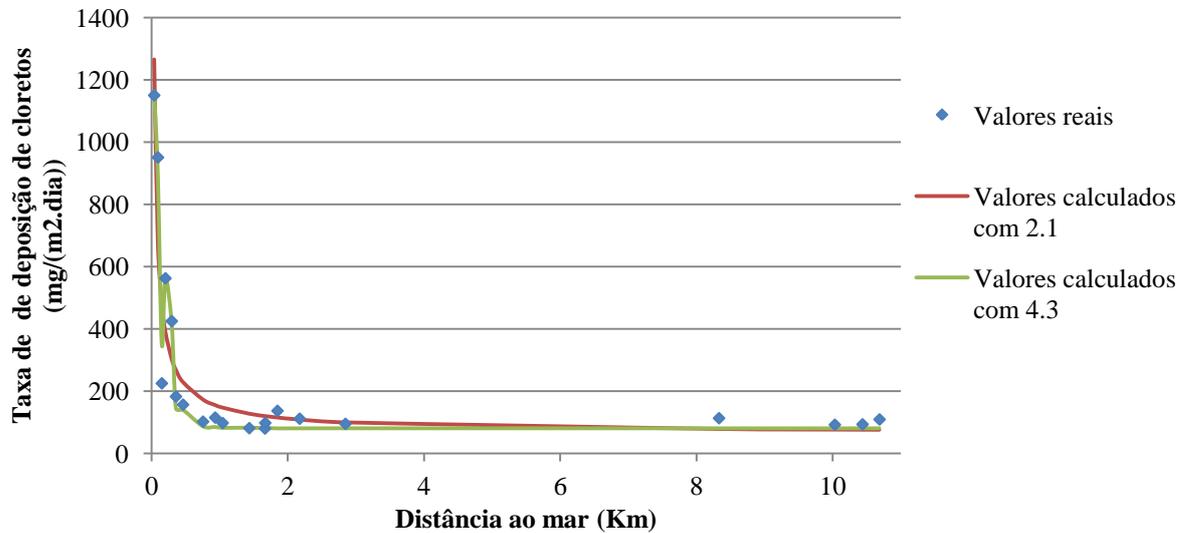
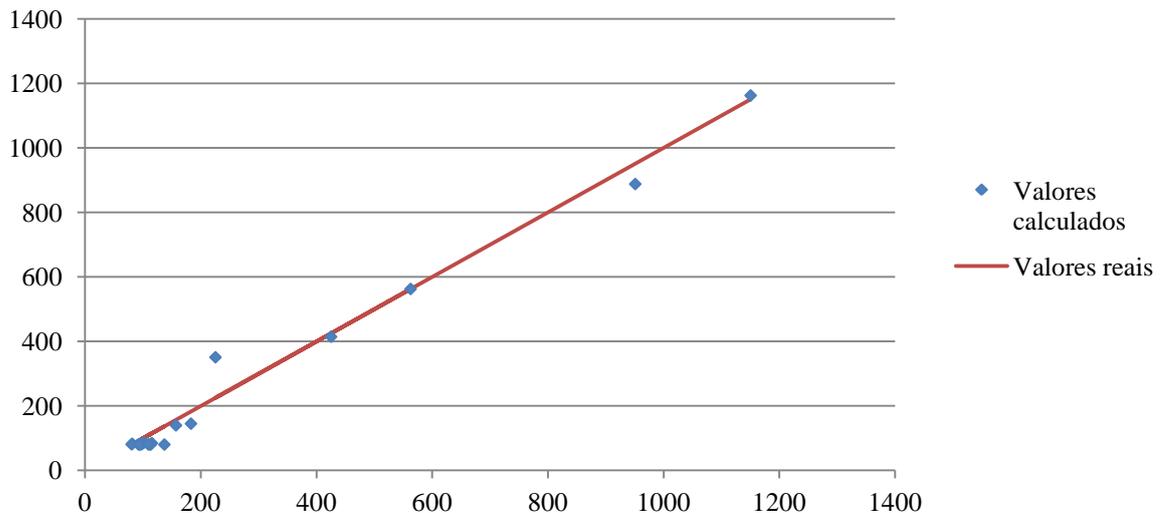


Figura 4.6 – Correlação entre os valores de deposição de cloretos ($\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$) calculados com a equação 4.3 e os valores reais obtidos experimentalmente



Para esta equação (4.3), o valor do coeficiente de determinação cresce para $R^2 = 0,9825$, apresentando uma diferença de $\Delta R^2 = 0,1143$, representando um crescimento de 13,17% do ajuste da curva. Contrário à equação 4.2, a vantagem deste modelo (4.3) é que os valores de altitude (H) não possuem grande influência nos valores das taxas de deposição de cloreto calculadas, dessa forma, pode-se inserir qualquer valor real de H sem a restrição proposta anteriormente de $H \geq 4$ m, ou mesmo desconsiderar os valores de altitude, quando estas não forem conhecidas, pois ao considerar altitude $H = 0$ para todos os pontos a equação mantém um coeficiente de determinação $R^2 = 0,9785$. A consideração análoga, entretanto, não pode

ser aplicada para o ângulo teta, de forma que este deve ser inserido impreterivelmente para a utilização desta equação. Caso não seja conhecido o ângulo, recomenda-se a utilização da equação 2.1, original, ou da equação 4.2, desde que seja conhecida a altitude geográfica do ponto em estudo.

4.2 Análise da contribuição do ângulo teta (θ) e da rugosidade do terreno

É importante salientar que, inicialmente, supunha-se uma correlação negativa entre o ângulo teta e a taxa de deposição de cloretos, contrariamente ao que pôde ser observado da análise dos dados experimentais. Esperava-se que as estruturas impedissem a passagem do vento, diminuíssem sua velocidade e, portanto, reduzissem o valor de deposição de cloretos.

A partir desta incongruência, buscou-se entender como a presença de barreiras ao vento no avanço continental poderia contribuir para o aumento da taxa de CI, procurando-se complementar a revisão bibliográfica realizada até então. Primeiramente, deve-se destacar que com o aumento da distância ao mar em uma cidade densamente ocupada, como é o caso de Salvador, a velocidade característica do vento e, conseqüentemente, a força de arrasto do vento diminuem devido à rugosidade do terreno que aumenta à medida que este encontra mais edificações ao adentrar na cidade. Dessa forma, a capacidade de transporte do spray marinho pelo vento também diminui.

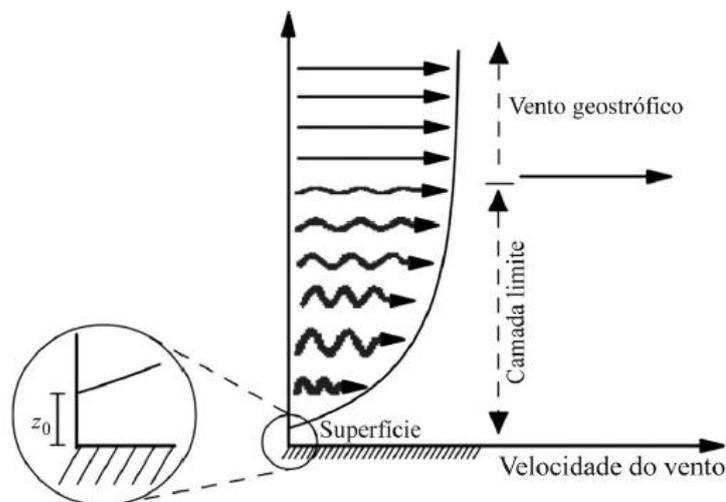
A norma NBR 6123 (1988) considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação para determinar o fator multiplicador que deverá ser aplicado à velocidade básica do vento, de forma a serem obtidos valores maiores ou menores para a velocidade característica e força de arrasto do vento. Entretanto, considerando-se que todas as edificações de uma determinada região com alta densidade de edificações que estiverem sujeitas às mesmas condições de alta rugosidade do terreno terão esta velocidade característica reduzida, a norma não traz muitos aportes quanto à distribuição da velocidade do vento entre as edificações, limitando-se a comparar as regiões de barlavento e sotavento formadas no encontro do vento com uma edificação, sem considerar a presença de múltiplas edificações e os corredores de vento criados.

O relevo e a presença de obstáculos moldam o escoamento do ar sobre a superfície terrestre, bem como geram turbulências no fluxo. A rugosidade da superfície é a propriedade física que descreve a ação da superfície terrestre na redução do momento e na absorção do impacto dos

ventos. Define-se a camada limite atmosférica como a região compreendida entre a superfície e uma altura variável entre 100 e 3000 m de altura e que apresenta um comportamento diferente do restante da atmosfera devido às interações superfície-atmosfera (STULL, 1988 *apud* MARTINS *et al.*, 2008).

Importante fator a se considerar é a presença da força de atrito na superfície de contato entre o solo e o ar. Nesta interface ocorre a formação de uma componente horizontal da força de atrito contra o movimento, diminuindo a velocidade do vento. Com o aumento da altura a força de atrito diminui, tornando-se desprezível a partir da camada limite. A figura 4.7 ilustra o perfil vertical da velocidade do vento desde a superfície até a altura do vento geostrófico (componente horizontal do vento que já não sofre influência do atrito da superfície), representando ainda a camada limite e o comprimento de rugosidade z_0 .

Figura 4.7 – Perfil vertical da velocidade do vento



Fonte: Martins *et al.*, 2008.

O comprimento de rugosidade z_0 , em destaque na figura 4.7, representa a altura para a qual a velocidade do vento é nula, devido à força de atrito com o terreno que se opõe ao movimento do ar. Esta altura varia de acordo com o relevo e obstáculos da superfície, conforme apresentado na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Classificação do terreno quanto à rugosidade

Classes de cobertura do solo	Descrição	z_0 (m)
Água	Áreas representadas por lagoas e represas.	0,0002
Solo exposto	Regiões não ocupadas por edificações e sem qualquer tipo de cobertura vegetal.	0,03
Vegetação rasteira	Vegetação de pequeno porte ou com obstáculos esparsos em altura que podem ser árvores ou construções	0,10
Vegetação arbórea	Áreas com vegetação arbórea significativa, que podem ser remanescentes de florestas.	1,00
Área urbana residencial	Regiões com edificações de até dois pavimentos, tipologia típica de bairros residenciais.	0,33
Área urbana densa de altura média	Áreas compostas por residências unifamiliares e prédios de até 8 pavimentos, com pequeno afastamento entre eles.	0,39
Área urbana de alta densidade	Regiões de densidade elevada que apresentam edificações acima de 10 pavimentos, com pequenos afastamentos entre eles.	3,80

Fonte: Gomes, 2009 *apud* Torres Neto, 2010.

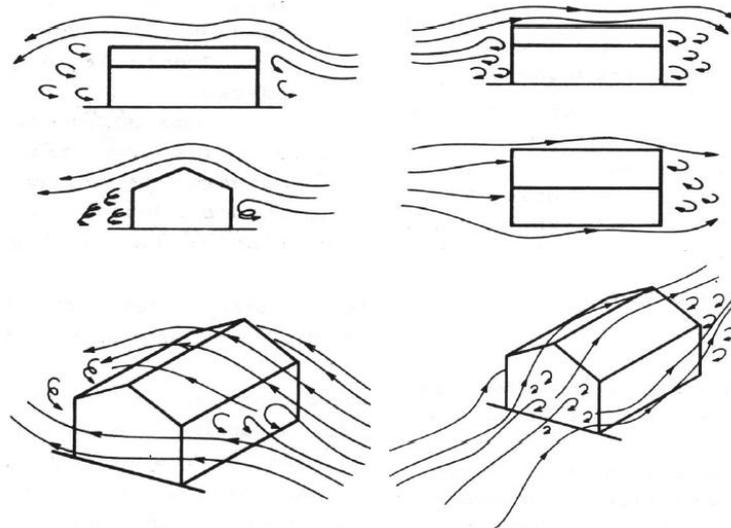
Como se pode verificar na tabela 4.2 e nos estudos de outros autores como Manwell *et al.* (2009), áreas urbanas de alta densidade – como podem ser consideradas algumas regiões de Salvador, a exemplo dos bairros definidos na categoria de Ocupação Predominantemente Vertical II quanto à ocupação do solo – possuem alto comprimento de rugosidade, $z_0 = 3,80$ m. Isso significa que as velocidades do vento serão desprezíveis até esta altura, o que leva a crer que a capacidade de transporte do spray marinho também seria baixa nestas regiões, o que facilitaria a deposição. É importante destacar também que no spray marinho a atmosfera possui uma umidade relativa de 100% ou muito próximo a isto, de forma que a água excedente se encontra na forma de partículas, não encontrando condições favoráveis à sua transformação em vapor de água. Daí, como em qualquer problema de transporte de partículas, a capacidade de transporte do meio é função de sua velocidade, sendo que a ocorrência de baixas velocidades favorece a deposição.

Tendo em conta que as estações de monitoramento foram instaladas a uma altura de 1 m acima do solo, conforme preconiza a NBR 6211 (ABNT, 2001), verificamos que as estações posicionadas em áreas densamente ocupadas poderiam ter seus resultados substancialmente reduzidos devido ao perfil dos ventos presente nestes pontos. Nestes casos, a presença de

edificações na direção predominante do vento que se opusessem à passagem do ar permitiria a criação de zonas favoráveis à deposição de cloretos.

Além destes aspectos, nas regiões adjacentes a edificações presentes na direção dos ventos, principalmente atrás dos obstáculos, verifica-se muita turbulência com a ocorrência de fluxos de ar irregulares, redemoinhos e vórtices. Esta turbulência, associada à diminuição na velocidade do vento, faz com que as regiões encontradas atrás de edificações sejam consideradas propícias à deposição de cloretos, por permitir a decantação das partículas carregadas pelo vento.

Figura 4.8 – Linhas de fluxo do vento atuando em uma edificação em diferentes sentidos



Fonte: UNEMAT – Universidade do Estado de Mato Grosso

Analisando trabalhos realizados anteriormente que tratam da deposição de cloretos em Salvador, como os de Costa (2001) e Brambilla (2009), foi possível verificar que apesar de serem unânimes em definir a relação inversamente proporcional entre a distância ao mar e a deposição de cloretos, por vezes foram encontrados valores maiores de deposição para certas estações de monitoramento que estavam mais distantes do mar, quando comparadas com outras que se encontravam localizadas mais proximamente à costa.

Após verificar as estações monitoradas por Costa (2001) e seus resultados, buscou-se identificar o ângulo teta para cada estação, de forma a calcular os valores esperados utilizando a equação 4.3 como forma de comprovação da teoria proposta. A mesma análise não pôde ser realizada com as estações de Brambilla (2009), por não terem sido fornecidas as coordenadas de localização exata das estações de monitoramento.

Tabela 4.3 – Resultados encontrados por Costa (2001) e calculados com a equação 4.3

Estações	Distância ao mar (Km)	Altitude (m)	Ângulo θ (graus)	Concentração de cloretos (mg/(m ² .dia))	
				Valores encontrados por Costa (2001)	Valores calculados com 4.3
1	0,072	7,70	0,00	46,20	1069,24
2	0,138	7,60	9,21	9,30	1394,90
3	0,143	7,60	26,57	21,10	2338,99
4	0,532	13,50	50,19	4,20	147,08
5	0,788	4,00	28,61	2,90	93,76
6	1,165	7,60	0,69	2,60	80,71
7	2,226	40,90	0,86	4,60	80,03
8	2,645	24,50	9,46	1,80	80,14
9	4,704	37,10	11,31	3,70	80,02

Os valores encontrados por Costa (2001) são significativamente menores que os encontrados por Vilasboas (2013) e, portanto, menores que os calculados com a equação 4.3. Esta diferença pode ser explicada por alguns fatores, um deles é o fato de que os autores se basearam cada um em uma normativa diferente para a realização da amostragem: o primeiro teve como base a ASTM G140 (1996), enquanto o segundo utilizou a NBR 6211 (ABNT, 2001). Outra questão é quanto ao período de exposição ao qual foram expostos os sensores de vela úmida em cada trabalho, Vilasboas (2013) adotou como tempo de exposição do coletor o período de 30 dias, para todas as estações, apresentando a média relativa ao período total de 12 meses e 12 verificações; enquanto Costa (2001) adotou períodos de 7, 14, 21 e 28 dias, que variavam mês a mês, o que totalizou 10 verificações em um período de 5 meses, sendo 4 destas verificações realizadas adotando somente 7 dias de exposição.

Considerando que ambos os resultados poderiam ser comparados pela proporção dos valores obtidos com relação à distância ao mar, observou-se que o uso da equação 4.3 explicaria o valor encontrado na estação 3, maior que o esperado quando comparado com a estação 2, mais próxima ao mar. A presença de edificações no entorno, poderia justificar o fato da estação 3 apresentar valores de deposição de íons cloretos maiores. Entretanto, a mesma lógica não se aplica às estações mais distantes, 7 e 9, que também apresentaram valores maiores que os esperados apesar de não possuírem grandes valores de teta.

Novos estudos se fazem necessários para confirmar a relação apontada experimentalmente. Seria interessante que fosse realizada uma nova série de verificações pelo método da vela úmida na qual se incluíssem pares de estações de monitoramento equidistantes ao mar, sendo

uma protegida pela presença de edificações e outra não, tanto nos pontos de menores distâncias ao litoral soteropolitano, nos quais não houve estação com teta representativo nos estudos avaliados, quanto a médias distâncias, onde a presença do teta foi mais influente no presente trabalho, para validar a teoria proposta.

4.3 Análise da contribuição da altitude (H)

A altitude, variável presente nas equações 4.2 e 4.3, apresentou uma relação inversamente proporcional à taxa de deposição de cloretos, ou seja, pôde-se verificar que quanto maior a altitude, menor deverá ser a deposição de cloretos para um ponto à mesma distância em relação ao mar. Esta relação pode ser explicada pela modificação causada na velocidade e direção do vento ao vencer as barreiras topográficas criadas com a maior altitude, o que dificultaria o arraste das partículas de íons cloreto presentes no spray marinho. É importante salientar que as partículas não se encontram dissolvidas no ar, mas sim presentes no aerossol transportado pelo vento, possuindo certo peso a depender de suas dimensões e estão sujeitas ao processo de decantação e deposição que ocorre, principalmente, pelo efeito gravitacional e pelo choque das partículas com o solo e os obstáculos sobre o mesmo.

Blanchard e Cipriano (1984) também constataram um decréscimo na concentração de sais à medida que a altitude aumenta em relação ao nível do mar, fenômeno que é acentuado nos metros mais próximos da costa. Foi verificado pelos autores que após 30 metros de altitude o decréscimo com a altura continua, porém muito mais lentamente. Isto ocorre devido à presença de partículas maiores e que são influenciadas pelo efeito da gravidade que impedem que alcancem níveis muito elevados em altitude e se depositem mais rápido. As amostras estudadas pelos autores foram obtidas de dentro de aeronaves, voando a 40 m/s, coletando-se partículas de sais marinhos em pequenas lâminas de vidro expostas à atmosfera por um período de 30 segundos, em diferentes alturas e distâncias ao mar.

Segundo Piazzola e Despiau (1997) *apud* Vitali (2013) também foi observado que a concentração do aerossol marinho decresce à medida que a altitude aumenta. A pesquisa destes autores concluiu que existe uma diminuição gradual da concentração de íons cloreto na medida em que se aumenta a altitude. Tal diminuição deve-se ao fato de as maiores partículas de sais voltarem à superfície do oceano ou mesmo ao nível do solo do continente, uma vez que a gravidade é fator atuante nas partículas.

4.4 Apresentação dos resultados de deposição de cloretos por bairro

A tabela 4.4 apresenta os resultados de deposição de cloretos em $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ obtidos a partir da equação 4.3 para cada bairro. Com esses resultados foi possível identificar a classe de contaminação da atmosfera por cloretos, conforme recomendações da NBR 14643 (ABNT, 2001), além de se estabelecer a agressividade ambiental em moderada ou forte e o risco de deterioração da estrutura, que pode ser pequeno ou grande, conforme NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 4.4 – Resultados de deposição de cloretos em $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ nos bairros de Salvador

Nome dos Bairros	Distância ao mar corrigida (Km)	Deposição de cloretos ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	Classe de contaminação por cloretos	Classe de agressividade	Risco de deterioração da estrutura
Acupe	2,78	80	B2	Moderada	Pequeno
Aeroporto	2,31	80	B2	Moderada	Pequeno
Águas Claras	9,27	80	B2	Moderada	Pequeno
Alto da Terezinha	10,84	80	B2	Moderada	Pequeno
Alto das Pombas	1,25	83	B2	Moderada	Pequeno
Alto do Cabrito	9,41	80	B2	Moderada	Pequeno
Alto do Coqueirinho	1,80	81	B2	Moderada	Pequeno
Amaralina ($\theta = 0$)	0,04	1062	B3	Forte	Grande
Amaralina	0,16	1922	>B3	Forte	Grande
Areia Branca	8,51	80	B2	Moderada	Pequeno
Arenoso	3,96	80	B2	Moderada	Pequeno
Arraial do Retiro	4,17	80	B2	Moderada	Pequeno
Bairro da Paz	2,94	80	B2	Moderada	Pequeno
Baixa de Quintas	7,23	80	B2	Moderada	Pequeno
Barbalho	6,68	80	B2	Moderada	Pequeno
Barra ($\theta = 0$)	0,06	1118	B3	Forte	Grande
Barra	0,36	307	B3	Forte	Grande
Barreiras	4,34	80	B2	Moderada	Pequeno
Barris	3,62	80	B2	Moderada	Pequeno
Beiru/Tancredo Neves	4,79	80	B2	Moderada	Pequeno
Boa Viagem	12,11	80	B2	Moderada	Pequeno
Boa Vista de Brotas	4,85	80	B2	Moderada	Pequeno
Boa Vista de São Caetano	8,32	80	B2	Moderada	Pequeno
Boca da Mata	7,68	80	B2	Moderada	Pequeno
Boca do Rio ($\theta = 0$)	0,14	394	B3	Forte	Grande
Boca do Rio	0,45	162	B2	Moderada	Pequeno
Bom Juá	6,65	80	B2	Moderada	Pequeno
Bonfim	12,93	80	B2	Moderada	Pequeno
Brotas	3,48	80	B2	Moderada	Pequeno

Tabela 4.4 – Resultados de deposição de cloretos em mg/(m².dia) nos bairros de Salvador (continuação)

Nome dos Bairros	Distância ao mar corrigida (Km)	Deposição de cloretos (mg/(m ² .d))	Classe de contaminação por cloretos	Classe de agressividade	Risco de deterioração da estrutura
Cabula	4,48	80	B2	Moderada	Pequeno
Cabula VI	3,31	80	B2	Moderada	Pequeno
Caixa D'Água	6,41	80	B2	Moderada	Pequeno
Cajazeiras II	9,37	80	B2	Moderada	Pequeno
Cajazeiras IV	8,40	80	B2	Moderada	Pequeno
Cajazeiras V	8,63	80	B2	Moderada	Pequeno
Cajazeiras VI	8,93	80	B2	Moderada	Pequeno
Cajazeiras VII	9,71	80	B2	Moderada	Pequeno
Cajazeiras VIII	7,55	80	B2	Moderada	Pequeno
Cajazeiras X	9,65	80	B2	Moderada	Pequeno
Cajazeiras XI	10,49	80	B2	Moderada	Pequeno
Calabar	0,65	114	B2	Moderada	Pequeno
Calabetão	6,81	80	B2	Moderada	Pequeno
Calçada	10,30	80	B2	Moderada	Pequeno
Caminho das Árvores	2,18	80	B2	Moderada	Pequeno
Caminho de Areia	9,74	80	B2	Moderada	Pequeno
Campinas de Pirajá	9,05	80	B2	Moderada	Pequeno
Canabrava	4,61	80	B2	Moderada	Pequeno
Candeal	3,35	80	B2	Moderada	Pequeno
Canela	1,92	81	B2	Moderada	Pequeno
Capelinha	8,19	80	B2	Moderada	Pequeno
Cassange	6,11	80	B2	Moderada	Pequeno
Castelo Branco	6,22	80	B2	Moderada	Pequeno
Centro	5,78	80	B2	Moderada	Pequeno
Centro Administrativo da Bahia	2,98	80	B2	Moderada	Pequeno
Centro Histórico	6,38	80	B2	Moderada	Pequeno
Chapada do Rio Vermelho	0,96	87	B2	Moderada	Pequeno
Cidade Nova	7,11	80	B2	Moderada	Pequeno
Comércio	5,73	80	B2	Moderada	Pequeno
Cosme de Farias	5,33	80	B2	Moderada	Pequeno
Costa Azul ($\theta = 0$)	0,16	303	B3	Forte	Grande
Costa Azul	0,50	162	B2	Moderada	Pequeno
Coutos	13,13	80	B2	Moderada	Pequeno
Curuzu	7,41	80	B2	Moderada	Pequeno
Dom Avelar	8,52	80	B2	Moderada	Pequeno
Doron	2,25	81	B2	Moderada	Pequeno
Engenho Velho da Federação	1,56	82	B2	Moderada	Pequeno
Engenho Velho de Brotas	3,35	80	B2	Moderada	Pequeno

Tabela 4.4 – Resultados de deposição de cloretos em mg/(m².dia) nos bairros de Salvador (continuação)

Nome dos Bairros	Distância ao mar corrigida (Km)	Deposição de cloretos (mg/(m ² .d))	Classe de contaminação por cloretos	Classe de agressividade	Risco de deterioração da estrutura
Engomadeira	4,72	80	B2	Moderada	Pequeno
Fazenda Coutos	14,24	80	B2	Moderada	Pequeno
Fazenda Grande do Retiro	10,35	80	B2	Moderada	Pequeno
Fazenda Grande I	9,05	80	B2	Moderada	Pequeno
Fazenda Grande II	7,91	80	B2	Moderada	Pequeno
Fazenda Grande III	7,24	80	B2	Moderada	Pequeno
Fazenda Grande IV	6,36	80	B2	Moderada	Pequeno
Federação	2,19	81	B2	Moderada	Pequeno
Garcia	2,73	80	B2	Moderada	Pequeno
Graça	1,75	81	B2	Moderada	Pequeno
Granjas Rurais Presidente Vargas	7,63	80	B2	Moderada	Pequeno
IAPI	8,84	80	B2	Moderada	Pequeno
Imbuí	1,32	84	B2	Moderada	Pequeno
Itacaranha	18,50	80	B2	Moderada	Pequeno
Itaigara	2,10	81	B2	Moderada	Pequeno
Itapuã ($\theta = 0$)	0,08	982	B3	Forte	Grande
Itapuã	1,66	81	B2	Moderada	Pequeno
Itinga	4,07	80	B2	Moderada	Pequeno
Jaguaripe I / Fazenda Grande	5,35	80	B2	Moderada	Pequeno
Jardim Armação ($\theta = 0$)	0,10	740	B3	Forte	Grande
Jardim Armação	0,47	180	B2	Moderada	Pequeno
Jardim Cajazeiras	7,09	80	B2	Moderada	Pequeno
Jardim das Margaridas	4,14	80	B2	Moderada	Pequeno
Jardim Nova Esperança	5,56	80	B2	Moderada	Pequeno
Jardim Santo Inácio	7,47	80	B2	Moderada	Pequeno
Lapinha	9,61	80	B2	Moderada	Pequeno
Liberdade	9,14	80	B2	Moderada	Pequeno
Lobato	8,97	80	B2	Moderada	Pequeno
Luiz Anselmo	5,95	80	B2	Moderada	Pequeno
Macaúbas	6,09	80	B2	Moderada	Pequeno
Mangueira	9,95	80	B2	Moderada	Pequeno
Marechal Rondon	8,48	80	B2	Moderada	Pequeno
Mares	10,95	80	B2	Moderada	Pequeno
Massaranduba	12,78	80	B2	Moderada	Pequeno
Mata Escura	5,74	80	B2	Moderada	Pequeno
Matatu	5,01	80	B2	Moderada	Pequeno
Monte Serrat	12,50	80	B2	Moderada	Pequeno
Moradas da Lagoa	15,85	80	B2	Moderada	Pequeno

Tabela 4.4 – Resultados de deposição de cloretos em mg/(m².dia) nos bairros de Salvador (continuação)

Nome dos Bairros	Distância ao mar corrigida (Km)	Deposição de cloretos (mg/(m ² .d))	Classe de contaminação por cloretos	Classe de agressividade	Risco de deterioração da estrutura
Mussurunga	4,61	80	B2	Moderada	Pequeno
Narandiba	3,37	80	B2	Moderada	Pequeno
Nazaré	4,70	80	B2	Moderada	Pequeno
Nordeste de Amaralina	0,70	102	B2	Moderada	Pequeno
Nova Brasília	4,75	80	B2	Moderada	Pequeno
Nova Constituinte	13,76	80	B2	Moderada	Pequeno
Nova Esperança	8,08	80	B2	Moderada	Pequeno
Nova Sussuarana	4,58	80	B2	Moderada	Pequeno
Novo Horizonte	4,02	80	B2	Moderada	Pequeno
Novo Marotinho	5,84	80	B2	Moderada	Pequeno
Ondina ($\theta = 0$)	0,03	1162	B3	Forte	Grande
Ondina	0,55	141	B2	Moderada	Pequeno
Palestina	11,40	80	B2	Moderada	Pequeno
Paripe	16,38	80	B2	Moderada	Pequeno
Patamares ($\theta = 0$)	0,15	353	B3	Forte	Grande
Patamares	1,80	81	B2	Moderada	Pequeno
Pau da Lima	6,28	80	B2	Moderada	Pequeno
Pau Miúdo	8,19	80	B2	Moderada	Pequeno
Periperi	12,88	80	B2	Moderada	Pequeno
Pernambués	3,13	80	B2	Moderada	Pequeno
Pero Vaz	9,22	80	B2	Moderada	Pequeno
Piatã ($\theta = 0$)	0,12	560	B3	Forte	Grande
Piatã	0,85	88	B2	Moderada	Pequeno
Pirajá	9,02	80	B2	Moderada	Pequeno
Pituaçu ($\theta = 0$)	0,15	350	B3	Forte	Grande
Pituaçu	1,15	83	B2	Moderada	Pequeno
Pituba ($\theta = 0$)	0,07	1139	B3	Forte	Grande
Pituba	0,64	118	B2	Moderada	Pequeno
Plataforma	11,48	80	B2	Moderada	Pequeno
Porto Seco Pirajá	8,05	80	B2	Moderada	Pequeno
Praia Grande	12,58	80	B2	Moderada	Pequeno
Resgate	3,81	80	B2	Moderada	Pequeno
Retiro	6,06	80	B2	Moderada	Pequeno
Ribeira	13,68	80	B2	Moderada	Pequeno
Rio Sena	12,06	80	B2	Moderada	Pequeno
Rio Vermelho ($\theta = 0$)	0,09	878	B3	Forte	Grande
Rio Vermelho	0,43	175	B2	Moderada	Pequeno
Roma	11,67	80	B2	Moderada	Pequeno

Tabela 4.4 – Resultados de deposição de cloretos em mg/(m².dia) nos bairros de Salvador (continuação)

Nome dos Bairros	Distância ao mar corrigida (Km)	Deposição de cloretos (mg/(m ² .d))	Classe de contaminação por cloretos	Classe de agressividade	Risco de deterioração da estrutura
Saboeiro	2,74	80	B2	Moderada	Pequeno
Santa Cruz	1,65	81	B2	Moderada	Pequeno
Santa Luzia	8,47	80	B2	Moderada	Pequeno
Santa Mônica	5,95	80	B2	Moderada	Pequeno
Santo Agostinho	5,42	80	B2	Moderada	Pequeno
Santo Antônio	6,93	80	B2	Moderada	Pequeno
São Caetano	7,34	80	B2	Moderada	Pequeno
São Cristóvão	3,65	80	B2	Moderada	Pequeno
São Gonçalo	4,77	80	B2	Moderada	Pequeno
São João do Cabrito	9,22	80	B2	Moderada	Pequeno
São Marcos	5,09	80	B2	Moderada	Pequeno
São Rafael	3,31	80	B2	Moderada	Pequeno
São Tomé	19,74	80	B2	Moderada	Pequeno
Saramandaia	3,54	80	B2	Moderada	Pequeno
Saúde	5,78	80	B2	Moderada	Pequeno
Sete de Abril	6,30	80	B2	Moderada	Pequeno
Stella Maris (θ = 0)	0,07	1110	B3	Forte	Grande
Stella Maris	0,37	182	B2	Moderada	Pequeno
Stiep	1,28	82	B2	Moderada	Pequeno
Sussuarana	4,65	80	B2	Moderada	Pequeno
Tororó	3,69	80	B2	Moderada	Pequeno
Trobogy	3,51	80	B2	Moderada	Pequeno
Uruguai	10,86	80	B2	Moderada	Pequeno
Vale das Pedrinhas	0,63	108	B2	Moderada	Pequeno
Vale dos Lagos	3,73	80	B2	Moderada	Pequeno
Valéria	11,19	80	B2	Moderada	Pequeno
Vila Canária	7,24	80	B2	Moderada	Pequeno
Vila Laura	6,27	80	B2	Moderada	Pequeno
Vila Ruy Barbosa/Jadim Cruzeiro	11,65	80	B2	Moderada	Pequeno
Vitória	1,90	81	B2	Moderada	Pequeno

Analisando a tabela 4.4, identifica-se que valores acima de 300 mg/(m².dia) foram verificados somente até os primeiros 360 metros de distância até a costa, ou seja, só foram classificadas como regiões de forte agressividade ambiental e de grande risco de deterioração de estruturas aquelas encontradas adentrando-se até a distância máxima de 0,360 quilômetros em direção ao continente.

A comparação dos resultados previstos e experimentais encontrados para os bairros da costa de Salvador indicam que a influência do ângulo teta para menores distâncias pode produzir resultados acima do esperado. Analisando os resultados referentes, por exemplo, ao bairro de Amaralina, localizado muito próximo ao mar em toda sua extensão, verifica-se que a inclusão do ângulo teta médio superestima o valor de deposição de cloretos, obtendo-se valores da ordem de 1922 mg/(m².dia), quando utilizado em pontos muito próximos ao litoral. Valores acima de 1500 mg/(m².dia) representam contaminação excessiva por cloreto, típica de zona de arrebentação, e não são aplicáveis no âmbito deste trabalho, sendo de interesse somente para obras marítimas.

Tendo elucidado esta questão, é plausível afirmar que a utilização do ângulo teta e por consequência a utilização da equação 4.3, deve se restringir a distâncias maiores que 200 metros da costa. O valor de 200 metros é proposto após análise da tabela 4.1, onde se percebe que a contribuição do ângulo teta ainda é adequada e vantajosa a esta distância por conduzir a valores de deposição mais próximos em comparação àqueles obtidos experimentalmente. Isto pode ser facilmente verificado na estação E₁₃. Assim sendo, para calcular a taxa de deposição de cloretos em edificações menos afastadas que esta distância ao mar, recomenda-se a utilização da equação 2.1, original, ou 4.2, quando a altitude for significativa para o estudo da edificação em questão. De toda sorte, a classe de agressividade para estas regiões vai ser sempre forte e o risco de degradação de estruturas alto.

É coerente sustentar que a utilização do ângulo teta não se aplica a distâncias muito próximas ao litoral, visto que a densidade de ocupação e, por conseguinte a rugosidade do terreno nestas regiões costuma ser menor. Neste caso, o comprimento de rugosidade z_0 seria menor que 3,80 metros, supostos anteriormente, e o perfil de velocidades dos ventos começaria mais próximo do solo, muito condicionado também pela baixa rugosidade encontrada no oceano. Nestas condições, os ventos teriam maior capacidade de transporte dos sais contidos no spray marinho, porém a maior forma de deposição de cloretos nas edificações sujeitas a este perfil de velocidades seria pelo bloqueio direto dos ventos, e não pela decantação formada nas zonas de turbulência, como foi estudado na hipótese de regiões que sofrem influência do ângulo.

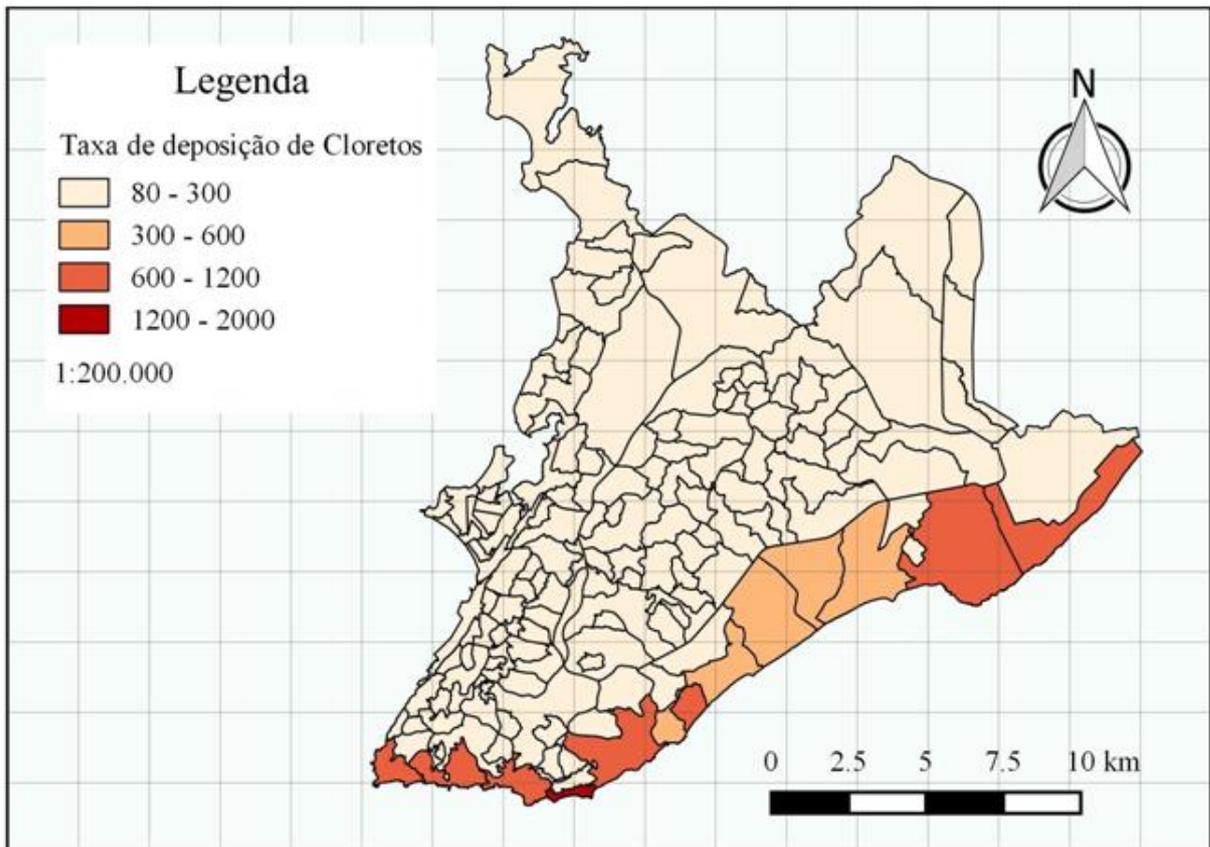
4.5 Apresentação dos mapas

A seguir serão apresentados os mapas realizados a partir dos resultados obtidos, referentes à cidade de Salvador e, a continuação, se procederá a comparação dos mapas atualizados com os mapas apresentados anteriormente por Vilasboas (2004) e Vilasboas e Machado (2010).

4.5.1 Mapa de deposição de cloretos

A partir do mapa apresentado na figura 4.9 é possível verificar em qual faixa de contaminação por íons cloretos se encontra cada bairro de Salvador, de forma a verificar quais regiões são mais corrosivas aos metais, representando maior risco às estruturas em concreto armado. O mapa deixa clara a relação existente entre a deposição de cloretos e a distância ao mar, porém expõe também que esta relação é muito mais acentuada nos primeiros metros de distância à costa marítima, sendo praticamente irrelevante para os valores de deposição calculados após os primeiros 1000 metros.

Figura 4.9 – Classificação dos bairros de Salvador com base nos resultados de deposição de cloretos em $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ obtidos a partir da equação 4.3

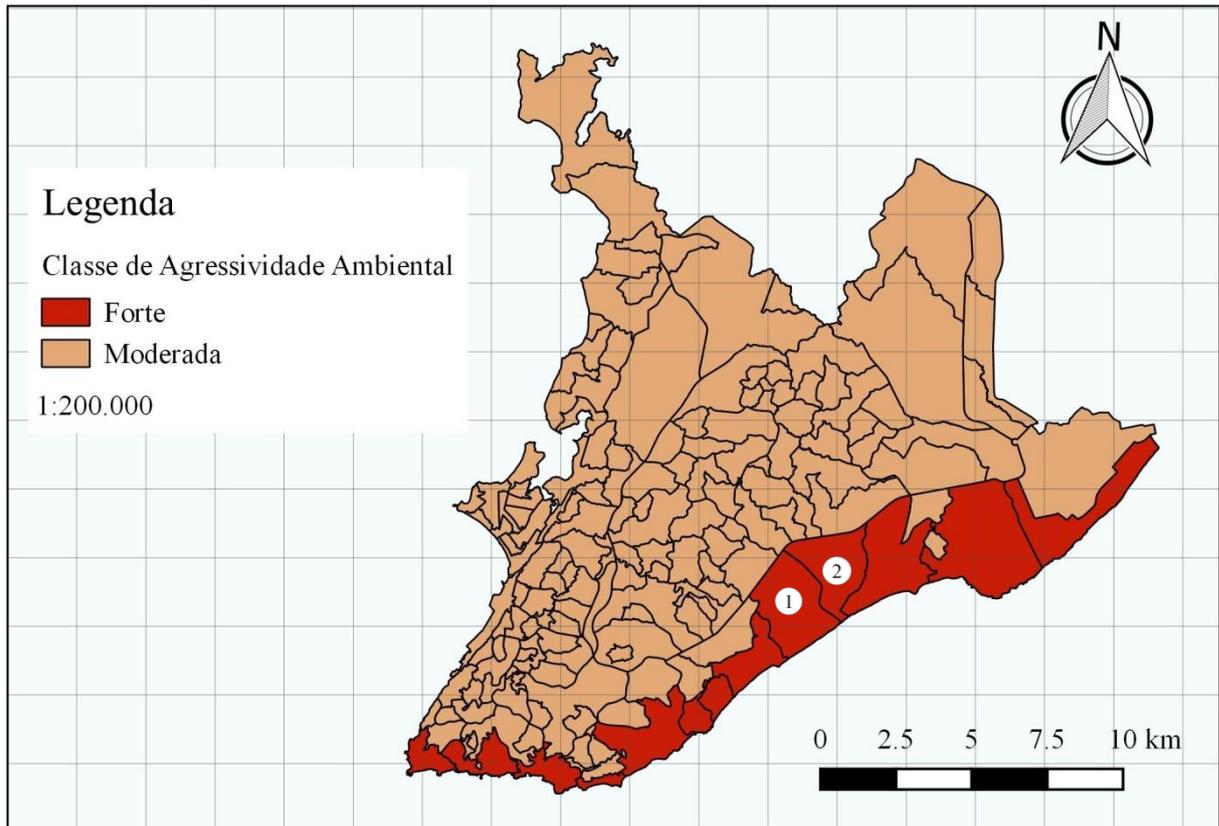


4.5.2 Mapa de agressividade ambiental

O mapa de agressividade ambiental de Salvador atualizado é apresentado na figura 4.10, como um dos resultados principais deste trabalho, ao lado da equação 4.3. O objetivo deste mapa é facilitar a identificação das áreas de forte agressividade ambiental e garantir maior embasamento na definição da classe de agressividade ambiental – CAA, principalmente

quanto à execução de projetos em concreto armado, sendo, portanto, majoritariamente destinado aos engenheiros projetistas de Salvador e região metropolitana.

Figura 4.10 – Classificação de agressividade ambiental dos bairros de Salvador de acordo com os resultados obtidos na tabela 4.3

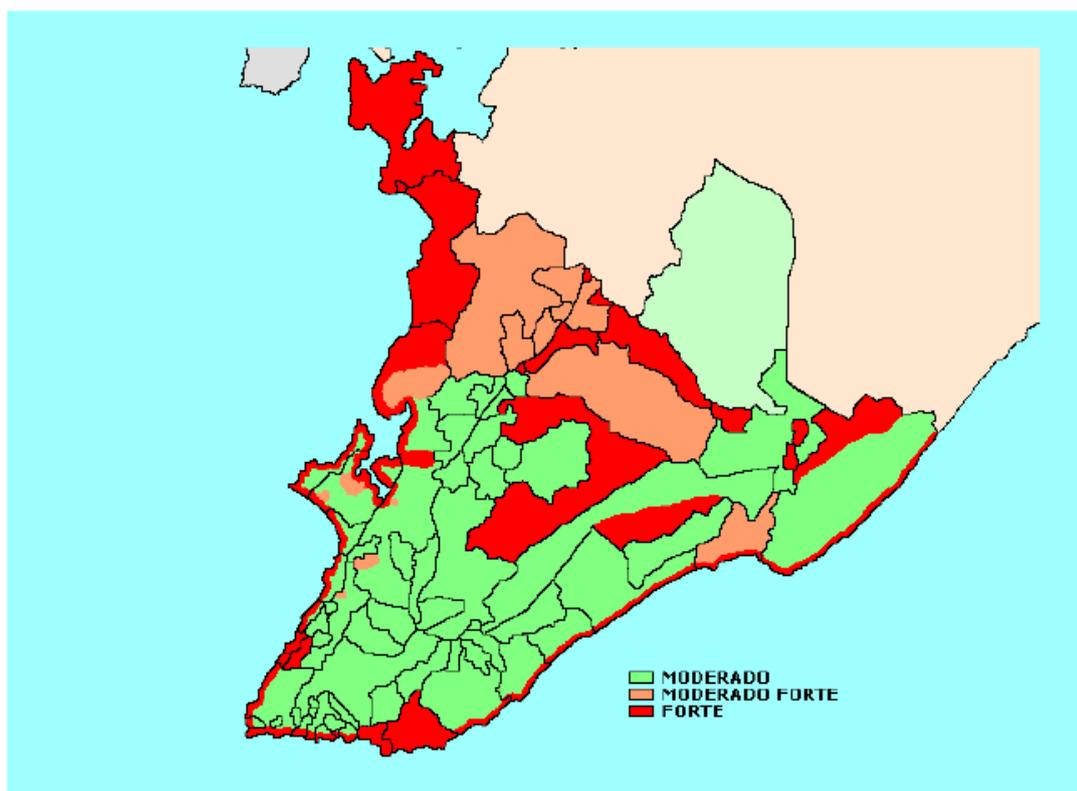


Deve ser levado em consideração que o mapa está separado por bairros e alguns deles, como Piatã e Patamares, identificados no mapa com os números 1 e 2, respectivamente, aparecem com grandes extensões mais ao centro da cidade, porém são representados com forte agressividade em toda sua superfície, mesmo a grandes distâncias do mar. Por esse motivo, destaca-se a importância da utilização da equação 4.3, ainda que seja apresentado o mapa, pois a equação possui diversas variáveis – distância ao mar, ângulo teta e altitude – que tiveram que ser empregadas utilizando-se valores médios obtidos para todo o bairro. Desta forma, supõe-se que pode haver grandes discrepâncias de valores de uma edificação para outra dentro do mesmo bairro. A utilização da equação permite verificar o valor de deposição de cloretos mais adequado para cada edificação, concernente com suas características próprias, sendo assim fortemente recomendado o seu cálculo para a definição da classe de agressividade ambiental.

4.5.3 Comparação com os mapas apresentados anteriormente

Ao comparar o mapa de agressividade ambiental de Salvador atualizado, figura 4.10, com o mapa de classificação das diferentes zonas de agressividade ambiental de Salvador primeiramente apresentado por Vilasboas (2004), figura 4.11, verifica-se que a extensão de forte agressividade ambiental identificada pelo autor na região costeira se estende a uma distância igual ou inferior a 400 metros da orla marítima. Nos estudos atuais, foram identificados bairros com forte agressividade ambiental até o limite de 360 metros, porém empregando-se distâncias de até 380 metros foi verificado que ainda se podem calcular taxas de deposição de cloretos acima de 300 mg/(m².dia), o que valida a extensão proposta pelo autor. Entretanto, deve-se considerar que esta distância máxima ao mar deve ser considerada como a distância corrigida em função da direção SE, portanto não se aplicariam estes limites à região litorânea inserida dentro da Baía de Todos os Santos.

Figura 4.11 – Mapa de Salvador, caracterizado por zonas e suas classes de agressividade



Fonte: Vilasboas (2004).

A diferença encontrada entre os mapas quanto ao limite da zona de agressividade forte encontrada na orla baiana se deve ao fato de que no mapa realizado neste trabalho os bairros foram representados por toda a sua extensão com um único valor de agressividade, sendo considerado o maior valor a favor da segurança. Como foi dito anteriormente, recomenda-se a

utilização das equações para obter o valor exato de deposição de cloretos a ser adotado no projeto de uma edificação.

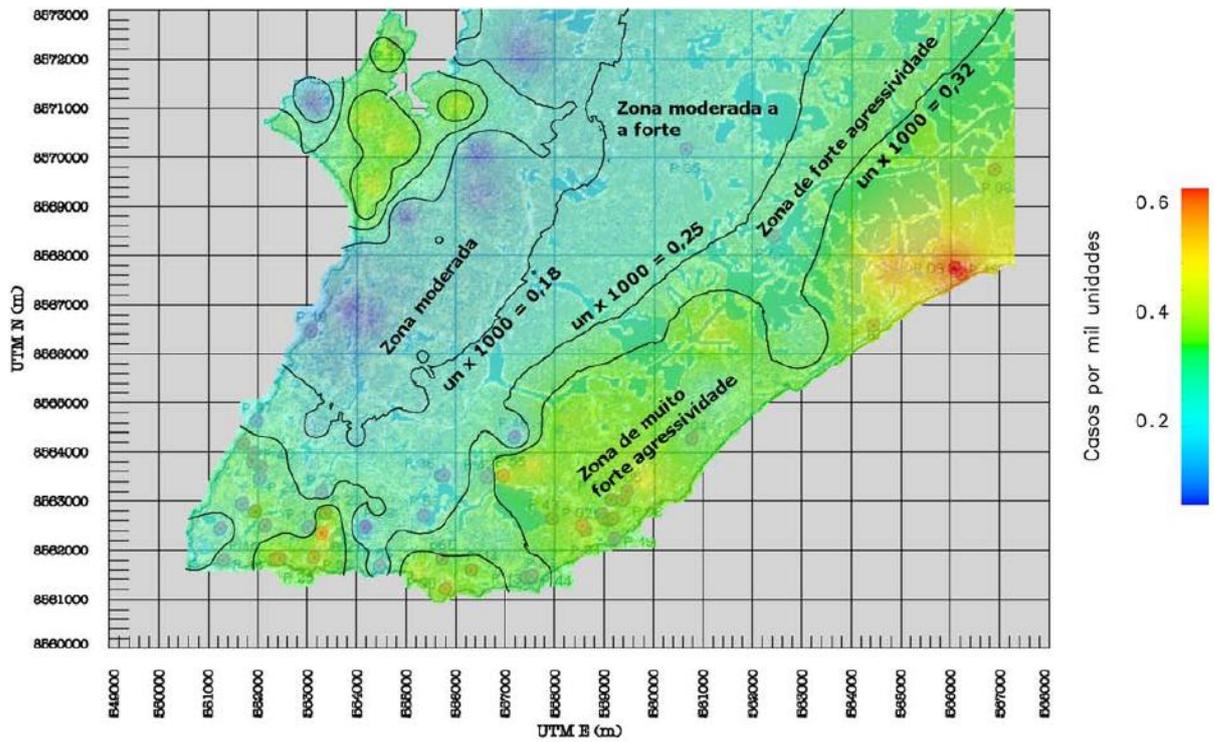
A maior discrepância entre os mapas reside na região central e ao noroeste da cidade, que foi classificada pelo mapa de Vilasboas (2004) como zona de forte ou moderado forte agressividade. Esta diferença é explicada pelo fato de que o atual trabalho se restringe a classificar a agressividade ambiental somente pela deposição de íons cloretos, em sua maior parte provenientes da névoa marítima, que podem causar corrosão nas armaduras do concreto, enquanto o trabalho de Vilasboas (2004) levava em consideração o número de ocorrências de patologias de qualquer tipo encontradas nas edificações cujas estruturas sofreram intervenção. Estas patologias podem ser desencadeadas por diversas substâncias agressivas, a exemplo do CO₂ agressivo, amônia, magnésia, sulfato, sólidos dissolvidos e do pH, existindo a possibilidade destas substâncias serem encontradas em maior teor nestas regiões.

A continuação, ao compararmos o mapa de agressividade ambiental atualizado, figura 4.10, com o mapa de classificação das diferentes zonas de agressividade ambiental de Salvador apresentado por Vilasboas e Machado (2010), figura 4.12, verifica-se uma similaridade da zona de muito forte agressividade do segundo mapa, com a classe de agressividade ambiental definida como forte no primeiro. Os autores indicam em nota no próprio mapa que “todas as áreas com respingos de maré devem ser consideradas como de agressividade ambiental muito forte”, porém no âmbito do atual trabalho foram consideradas as taxas de deposição de cloretos máximas encontradas dentro da faixa de agressividade ambiental forte.

A diferenciação entre as zonas moderadas e as zonas de forte agressividade, ao se distanciar da orla, apresentada na figura 4.12 não foi identificada através do mapa deste trabalho. A relação encontrada entre a deposição de cloretos e a distância ao mar é caracterizada por uma relação exponencial negativa entre os dois parâmetros, revelando uma diminuição de forma brusca na concentração desse íon com o afastamento da costa.

Por fim, salienta-se que a região de muito forte agressividade ambiental encontrada a noroeste no mapa apresentado por Vilasboas e Machado (2010), novamente não pode ser explicada pela contaminação de cloretos, devendo ser causada por outros processos patológicos.

Figura 4.12 – Classificação das diferentes zonas de agressividade ambiental de Salvador de acordo com os resultados obtidos por Vilasboas e Machado (2010)



Nota: Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2007), todas as áreas com respingos de maré devem ser consideradas como de agressividade ambiental muito forte.

Fonte: Vilasboas e Machado (2010).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho salientou a importância da correta determinação, embasada em dados experimentais, da classe de agressividade ambiental – CAA para projetos de estruturas em concreto armado, a fim de que se possam prescrever critérios de projeto apropriados, no sentido de minimizar a ocorrência da corrosão de armaduras, sensivelmente acelerada pela presença de íons cloretos, garantindo assim a durabilidade e conseqüente vida útil das estruturas. Cabe ressaltar que as medidas visando a durabilidade tomadas em nível de projeto são mais convenientes, seguras e econômicas que as medidas corretivas que precisarão ser tomadas *a posteriori*.

Com este trabalho foi possível verificar a influência da presença de obstáculos aos valores de deposição de cloretos a partir da análise da variável ângulo teta, ao que se encontrou uma correlação positiva entre a nova variável e a taxa de deposição destes íons, contrariamente ao que era esperado. Quanto a este aspecto, recomenda-se a realização de novos estudos considerando a existência das edificações no entorno ou barreiras topográficas de forma a validar os resultados encontrados e a abrangência mínima para a qual se pode incluir a influência do ângulo teta, definida em 200 metros. Sugere-se uma nova série de verificações pelo método da vela úmida na qual se incluam pares de estações de monitoramento equidistantes ao mar, sendo uma resguardada pela presença de edificações e outra não, tanto nos pontos de menores distâncias ao litoral soteropolitano quanto a distâncias médias.

Foi possível também validar a relação apresentada por outros autores de que a taxa de deposição de cloretos decresce com o aumento da altitude, além de acrescentar na equação esta variável, o que possibilitou analisar quantitativamente a influência da altitude na deposição de cloretos em Salvador, servindo de base para novos estudos em outras regiões.

Estudos realizados anteriormente sobre o tema analisavam ainda a influência da classe de agressividade ambiental às argamassas utilizadas nas fachadas das edificações. É importante ressaltar que a aplicação de tal material pode proteger o concreto armado das estruturas frente a ação dos cloretos, portanto seria bastante interessante avaliar os critérios mínimos de projeto referentes às argamassas que deveriam ser adotados na cidade de Salvador de posse do mapa de agressividade ambiental atualizado.

Destaca-se a necessidade de monitoração ambiental, por ser perceptível a dependência da taxa de deposição de cloretos a fatores climáticos tais como umidade, temperatura, velocidade e direção de ventos, entre outros. A falta de estudos sobre os parâmetros climáticos encontrados

nos locais de implantação das edificações dificulta o estabelecimento de especificações mais adequadas quanto à corrosividade e agressividade ambiental.

Quanto aos mapas apresentados, verificou-se que as similaridades com relação aos mapas anteriores validam a influência da contaminação por cloretos na orla marítima de Salvador, caracterizando-a como zona de forte agressividade ambiental e grande risco de deterioração das estruturas, fenômeno que pode ser mais intensamente observado nos primeiros 400 metros de afastamento ao mar, o que valida os estudos de Vilasboas (2004). Entretanto, estes parâmetros só deverão ser aplicados no trecho da orla voltado para o oceano Atlântico, visto que a região inserida na Baía de Todos os Santos possui grandes distâncias ao mar quando corrigidas a partir da direção predominante dos ventos (Sudeste).

Por fim, verificou-se que o mapa de agressividade ambiental da Salvador – BA apresentado por Vilasboas e Machado (2010) exhibe áreas de forte agressividade também na direção noroeste, onde a deposição de cloretos calculada neste trabalho foi baixa, portanto destaca-se a importância de analisar a distribuição de outras substâncias agressivas na cidade para complementação do mapa, de forma a verificar quais agentes patológicos contribuíram para a ocorrência de maior número de falhas que necessitaram de intervenção nas estruturas desta região.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

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

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho, Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 14643**: Corrosão atmosférica – Classificação da corrosividade de atmosferas. Rio de Janeiro, 2001.

BLANCHARD, D.; CIPRIANO, R. J. **The vertical distribution of the concentration of sea salt in the marine atmosphere near Hawaii**. Tellus, 1984, 36B, p.118-125.

BRAMBILLA, K.J.C. **Investigação do grau de corrosividade sobre materiais metálicos das redes aéreas de distribuição de energia elétrica (rd) da região metropolitana de Salvador-BA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo, Pini, 1988.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Pini; Goiânia: Editora UFG, 1997.

COSTA, E. A. L. **Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador**. Mestrado em Engenharia Civil. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GOMES, B.B.; VILASBOAS, J.M.L. **Estimativa da corrosividade atmosférica da cidade de Salvador a partir das taxas de deposição de cloretos**. Salvador, 2015.

GOOGLE EARTH – MAPAS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em 20 de maio de 2016.

GEHO, GRUPO ESPAÑOL del HORMIGÓN. **Encuesta sobre patología de estructuras de hormigón**. Madrid, GEHO, 1992. (Boletín nº 10).

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: IPT, Pini, 1986.

- LIMA, M. G., MORELLI, F. **Caracterização da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto.** Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, 2004.
- MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J.G.; ROGERS, A.L. **Wind energy explained: Theory, design and application.** Wiley: 2ª edição, 2009.
- MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. **O aproveitamento da energia eólica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, Volume 30, nº 1, 2008.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994.
- MOTA, J. M. F; BARBOSA, F. R; COSTA E SILVA, A. J; FRANCO, A. P. G; CARVALHO, J.R. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto.** Anais do 54º Congresso Brasileiro de Concreto. Alagoas, 2012.
- PIAZZOLA, T.; DESPIAU, S. **Contribution of marine aerosols in the particle size distributions observed in Mediterranean coastal zone.** Atmospheric Environment. V.18, 1997, p. 2991-3009.
- RIBEIRO, D. V. (org.) *et al.* **Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo: Pini, 1998.
- RIPPER, T. **Desempenho das Construções (durabilidade, resistência e manutenção).** Formação contínua reabilitação e manutenção do patrimônio, Módulo RM1. Ordem dos Arquitectos, Secção Regional Sul, 2002 (Palestra).
- SANTANA, J. O.; CERQUEIRA, E. C.; NASCIMENTO, D. M. C. **Geotecnologia na formação acadêmica: uso e ocupação do solo em Salvador – BA.** Programa Permanecer da Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2014.
- SEDHAM, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, Habitação e Meio Ambiente; COPI, Coordenadoria Central de Produção de Indicadores Urbano-Ambientais. **Cadernos da Cidade.** Volume 1, Ano I. Salvador, 2009.
- SOUZA, K. N. **Estudo experimental e probabilístico da vida útil de estruturas de concreto armado situadas em ambiente marítimo: Influência do grau de saturação do concreto sobre a difusividade de cloretos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 2005.
- TORRES NETO, F. A. **Unidade de energia eólica aplicada ao bombeamento de água.** Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

UNEMAT – Universidade do Estado de Mato Grosso. **Capítulo 02: Ações em Estruturas de Madeira.** Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_10743cap2_2-vento_madeiba_pdf_Cap2.2-Vento_Madeira.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2016.

VILASBOAS, J. M. L. **Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador: uma contribuição para a implantação da NBR 6118:2003.** Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2004.

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

VILASBOAS, J. M. L.; MACHADO, S. L. **Uma proposta de classificação da agressividade ambiental para a cidade de Salvador-BA.** Revista IBRACON de estruturas e materiais, Volume 3, nº 2, 2010.

VITALI, M. R. V. **Efeito do distanciamento ao mar da contaminação do concreto por cloretos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.