

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Determinação do Potencial de Agressão dos Sais
Marinhos sobre as Argamassas de Revestimento na
Região Metropolitana de Salvador.**

EDUARDO ANTONIO LIMA COSTA

UFRGS

2001

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada na sua forma final pelos Orientadores e pelo Programa de Pós-Graduação.

Prof. Hélio Adão Greven

Orientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Orientador

Prof. Vânia Palmeira de Campos

Co-Orientadora

Prof. Francisco de Paula Simões Lopes Gastal

Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA

Prof. Denise Dal Molin

Dra. pela EPUSP

Prof. André Guimarães

Dr. pela EPUSP

Prof. Dario Lauro Klein

MSc. pelo CPGEC

DEDICATÓRIA

*"A Natureza não nos
foi dada por nossos pais,
mas emprestada pelos
nossos filhos"*

(Autor desconhecido).

À Agnelina, Jorge e Juliana

AGRADECIMENTOS

À Deus, Senhor do Universo.

À minha família pela paciência e apoio decisivo durante a realização deste trabalho.

À professora Vânia Campos pela orientação e pelo apoio técnico fundamental na realização deste trabalho, revisando criteriosamente todos os Capítulos da Dissertação.

Aos professores Hélio Greven e Luiz Carlos Pinto, orientadores, pelos ensinamentos e convívio, mesmo à distância, para o meu crescimento profissional.

À Universidade Estadual de Feira de Santana, especialmente à magnífica Reitora, professora Anaci Bispo Pain, e aos colegas do Departamento de Tecnologia.

À coordenação do Pós-Graduação em Engenharia Civil da UEFS e da UFRGS, pelo apoio e pela amizade.

Aos meus colegas da Área de Materiais e Construção Civil do DTEC, em especial ao professor, amigo e companheiro de mestrado, Carlos Alves pelo constante e incansável apoio.

Aos laboratórios LAQUAM; CETA; LABOTEC; NORIE e LEME; nas pessoas dos responsáveis e todos os trabalhadores técnicos e administrativo pela gentileza durante a realização dos trabalhos necessários à esta pesquisa.

Aos meus amigos, professor Adailton de Oliveira Gomes, da UFBA, engenheira Célia Neves, do CEPED, Química Magda Beretta, do I.Q., ao estudante de engenharia química, bolsista de iniciação científica, André Novato, aos técnicos em edificação Paulo de Jesus Sant'Ana, Eurípedes Martins Fontes e Emanuel Rodrigues do Nascimento e ao técnico de informática Jacó Silva de Andrade.

À todos os professores da UFRGS que se deslocaram para nossa Universidade, para transmitirem seus ensinamentos com amizade e simplicidade.

Aos amigos proprietários dos imóveis que permitiram a instalação das estações de monitoramento.

Ao CADCT, na pessoa da Superintendente Cleilza Ferreira, e à CAPES, pelo apoio financeiro.

Finalmente a todos aqueles que, mesmo sem nomeá-los me transmitiram as contribuições e o incentivo para o êxito deste trabalho.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 JUSTIFICATIVA	5
1.3 OBJETIVOS	8
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	9
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	10
2.2 NATUREZA DA EXPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	11
2.2.1 Caracterização das Condições Ambientais.....	13
2.2.2 Necessidade de Monitoração Ambiental.....	17
2.3 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E SUA SUSCETIBILIDADE À AÇÃO AMBIENTAL.....	18
2.3.1 Características Básicas das Argamassas.....	20
2.3.2 Aspectos que Influenciam a Durabilidade de Argamassas.....	21
2.3.3 Efeitos da Porosidade na Durabilidade dos Materiais.....	23
2.4 CARACTERÍSTICAS DO ATAQUE SALINO.....	27
2.4.1 Ação dos Cloretos.....	29
2.4.2 A Ação Agressiva dos Sulfatos.....	33
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	41

3.2	SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	41
3.2.1	Cimento.....	42
3.2.2	Areia e Arenoso.....	42
3.2.3	Água.....	44
3.3	SELEÇÃO DE TRAÇOS, CONFECÇÃO E CARACATERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	45
3.3.1	Definição dos Traços de Argamassa.....	45
3.3.2	Produção dos Corpos-de-Prova de Argamassa.....	46
3.3.3	Controle da Produção dos Corpos-de-Prova de Argamassa.....	47
3.3.4	Ensaio de Caracterização Realizados nas Argamassas.....	48
3.4	DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS DE MONITORAMENTO.....	49
3.4.1	Descrição do Sensor de Vela Úmida.....	50
3.4.2	Exposição dos Corpos-de-Prova de Argamassa.....	52
3.4.3	Definição dos Locais das Estações de Monitoramento.....	53
3.5	TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM DO PÓ DAS ARGAMASSAS EXPOSTAS.....	60
3.6	DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA DETERMINAÇÃO DOS ÍONS.....	61
3.6.1	Técnica de Análise do Sódio.....	64
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS DOS ENSAIOS.....		65
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	65
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	65
4.2.1	Caracterização do Cimento Portland.....	65
4.2.2	Caracterização da Areia.....	66
4.2.3	Caracterização do Arenoso.....	67
4.2.4	Caracterização das Argamassas.....	67
4.3	ANÁLISE DA DEPOSIÇÃO DOS SAIS - TÉCNICA ANALÍTICA.....	71

4.3.1	Análise da Deposição dos Sais no Sensor de Vela Úmida.....	71
4.3.2	Análise da Taxa de Deposição Seca dos Sais nos CPs de Argamassa.....	79
CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....		86
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	86
5.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS.....	87
5.2.1	Análise do Aglomerante.....	87
5.2.2	Análise dos Agregados.....	87
5.2.3	Análise da Água.....	88
5.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	88
5.4	ANÁLISE DA TAXA DE DEPOSIÇÃO DE SAIS NA VELA ÚMIDA E NOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSAS.....	91
5.4.1	Deposição de Sais na Vela Úmida.....	98
5.4.2	Análise das Taxas de Deposição dos Sais nos Corpos-de-Prova.....	104
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....		110
6.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA.....	110
6.2	CONCLUSÕES.....	112
6.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	113
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....		114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Organograma das atividades da fase do projeto do sistema de revestimento. (Fonte: Cincotto, 1995).	4
Figura 1.2 – Transporte e transformação de emissões. (Fonte: Campos, 1995/tradução e adaptação do original de fonds der chemischen industrie, 1987).	6
Figura 1.3 – Desenho esquemático da formação do spray marinho por rompimento de bolhas na água do mar. (Fonte: Warneck, 1988).	7
Figura 2.1 –Alteração de um material no meio ambiente	10
Figura 2.2 –Propriedades básicas das argamassas de revestimento. (Fonte: Maciel e Sabbatini, 2000)	20
Figura 2.3 – Fatores que interferem na trabalhabilidade da argamassa. (Fonte: Oliveira, 2000)	21
Figura 2.4 – Influência da relação água/cimento no coeficiente de permeabilidade. (Fonte: Neville, 1997)	25
Figura 2.5 – Distribuição de poros na pasta de cimento endurecido. (Fonte: Cascudo, 1997)	26
Figura 2.6 – Distribuição da deposição atmosférica em SO_2 ($\text{mg SO}_3^- / \text{dm}^2.\text{d}$) em Madri. (Fonte: Feliu, 1984)	37
Figura 3.1 – Aspecto dos materiais utilizados na confecção das argamassas	43
Figura 3.2 – Armazenamento dos corpos-de-prova	47
Figura 3.3 – Aspecto da medição da consistência da argamassa	48
Figura 3.4 – Desenvolvimento da primeira versão do dispositivo amostral em fase de teste no laboratório	51
Figura 3.5 – Versão final do dispositivo da vela úmida instalado em uma das estações	51
Figura 3.6 – Esquema final da vela úmida	52
Figura 3.7 – Disposição dos corpos-de-prova de diferentes traços de argamassa nas estações de monitoramento	53
Figura 3.8 – Uso do GPS na localização de uma estação de monitoramento	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.9 – Mapa da Região Metropolitana de Salvador (RMS) com a localização das estações de monitoramento	57
Figura 3.10 – Localização de uma das estações, permitindo circulação de vento e segurança do equipamento	58
Figura 3.11 – Características básicas da região monitorada	59
Figura 3.12 – Equipamento usado para a retirada do pó do corpo-de-prova de argamassa exposto	61
Figura 3.13 – Cromatógrafo Iônico	62
Figura 3.14 – Curva Analítica Típica Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} por cromatografia iônica	63
Figura 3.15 – Cromatograma típico da análise de íons via cromatógrafo	63
Figura 3.16 – Fotômetro de Chama em operação	64
Figura 4.1 – Detalhe dos equipamentos utilizados na realização de ensaios de consistência, massa específica prática e retenção de água	68
Figura 4.2 – Resultados dos ensaios de capilaridade do traço de argamassa “A”	69
Figura 4.3 – Resultados dos ensaios de capilaridade do traço de argamassa “B”	70
Figura 4.4 – Resultados dos ensaios de capilaridade do traço de argamassa “C”	70
Figura 4.5 – Representação gráfica da tendência de deposição seca de íons Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^- nas várias estações de monitoramento. (Dados referentes ao período de coleta compreendido entre os meses de Ago/2000 e Jan/2001)	73
Figura 4.6 – Deposição de Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^- por estação	74
Figura 4.7 – Percentual médio de deposição seca de ânions em amostras coletadas via sensor de vela úmida nas estações 1, 4 e 9 (Dados referentes ao período de 15/08/2000 a 23/01/2001)	75
Figura 4.8 – Comportamento do sulfato do spray marinho e sulfato em excesso com a distância do mar (RMS, agosto/2000- janeiro/2001)	78
Figura 4.9 – Armazenamento do pó para análise de cromatografia iônica	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.10 – Localização dos furos de amostragem do pó nos cps de argamassa	81
Figura 4.11 – Concentração de cloretos em diferentes posições medidas nos corpos-de-prova de argamassa moldados e expostos a (A) 3 dias e (B) 28 dias, durante cinco meses, nas estações de monitoramento	84
Figura 4.12 – Concentração de sulfatos totais em diferentes posições medidas nos corpos-de-prova de argamassa moldados e expostos a (A) 3 dias e (B) 28 dias, durante cinco meses, nas estações de monitoramento	85
Figura 5.1 – Relação entre consumo de cimento e teor de ar aprisionado dos traços de argamassa expostos nas estações de monitoramento	89
Figura 5.2 – Resistência à compressão das argamassas nas idades de 7 e 28 dias em função do consumo de cimento	90
Figura 5.3 a – Representação das linhas de tendência da concentração de cloretos em corpos-de-prova expostos com 3 dias de moldados, por traço e por posição de extração (15, 25 e 35 mm)	92
Figura 5.3 b – Representação das linhas de tendência da concentração de cloretos em corpos-de-prova expostos com 28 dias de moldados, por traço e por posição de extração (15, 25 e 35 mm)	93
Figura 5.4 a – Representação das linhas de tendência da concentração de sulfatos em corpos-de-prova expostos com 3 dias de moldados, por traço e por posição de extração (15, 25 e 35 mm)	95
Figura 5.4 b – Representação das linhas de tendência da concentração de sulfatos em corpos-de-prova expostos com 28 dias de moldados, por traço e por posição de extração (15, 25 e 35 mm)	96
Figura 5.5 – Análise da influência da velocidade do vento na deposição de cloreto na estação 4 (localizada a 532 m do mar)	98
Figura 5.6 a – Comportamento da distância do mar com relação ao cloreto 3 dias	99
Figura 5.6 b – Comportamento da distância do mar com relação ao cloreto 28 dias	99
Figura 5.6 c – Comportamento da distância do mar com relação ao sulfato 3 dias	100
Figura 5.6 d – Comportamento da distância do mar com relação ao sulfato 28 dias	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.7 – Percentuais médios de deposição de cloretos (período agosto/2000 – janeiro/2001)	101
Figura 5.8 – Percentuais médios de deposição de sulfatos (período agosto/2000 – janeiro/2001)	102
Figura 5.9 – Percentuais médios de sulfato do spray marinho e sulfato provenientes de outras fontes em função da distância ao mar	103
Figura 5.10 a – Comportamento do efeito dos traços na concentração de cloreto 3 dias	105
Figura 5.10 b – Comportamento do efeito dos traços na concentração de cloreto 28 dias	105
Figura 5.11 – Extração do pó nos corpos-de-prova	106
Figura 5.12 a – Comportamento dos traços das argamassas com relação a posição de extração em cps com 3 dias de moldados	107
Figura 5.12 b – Comportamento dos traços das argamassas com relação a posição de extração em cps com 28 dias de moldados	107
Figura 5.12 c – Comportamento das argamassas com relação ao efeito posição de extração nos cps 3 dias	108
Figura 5.12 d – Comportamento das argamassas com relação ao efeito posição de extração nos cps 28 dias	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Definição de níveis de ambiente em função da localização da estrutura (CEB 238)	14
Tabela 2.2 – Constituição média da água do mar na costa brasileira (Fonte: Petrobrás)	16
Tabela 2.3 – Valores limites para cloretos em concreto armado segundo diferentes normas	32
Tabela 2.4 – Volume molecular dos compostos hidratados do cimento	35
Tabela 2.5 – Classificação do grau de exposição das estruturas de concreto aos sulfatos	35
Tabela 2.6 – Grau de agressividade da água contendo sulfatos	35
Tabela 2.7 – Mudança do pH em função da temperatura	36
Tabela 3.1 – Relação de ensaios de caracterização do cimento	42
Tabela 3.2 – Relação de ensaios de caracterização do agregado	44
Tabela 3.3 – Traços unitários utilizados para confecção de cada traço de argamassa	45
Tabela 3.4 – Relação de ensaios realizados com as argamassas no estado fresco	49
Tabela 3.5 – Relação de ensaios realizados com as argamassas no estado endurecido	49
Tabela 3.6 – Características técnicas do GPS	55
Tabela 3.7 – Localização georeferenciada das estações de monitoramento	56
Tabela 3.8 – Períodos de amostragens de cloretos, nitratos e sulfatos na deposição seca Salvador e R.M. 2000-2001	60
Tabela 4.1 – Características do aglomerante determinadas no CETA/ UFBA	66
Tabela 4.2 – Características mecânicas do aglomerante hidráulico utilizado na pesquisa	66
Tabela 4.3 – Caracterização da areia	66
Tabela 4.4 – Características do argilomineral – arenoso	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.5 – Características das argamassas no estado fresco	68
Tabela 4.6 – Resultados dos ensaios em cps de argamassa no estado endurecido	69
Tabela 4.7 – Deposição seca de cloreto na vela úmida	72
Tabela 4.8 – Deposição seca de sulfato total	72
Tabela 4.9 – Deposição seca de nitrato na vela úmida	73
Tabela 4.10 – Concentração de sulfato do spray marinho e sulfato em excesso (SO_4^{2-} nss) amostrados via vela úmida nas estações de monitoramento	76
Tabela 4.11 – Concentração de Cl^- e SO_4^{2-} medidas em diferentes posições de corpos-de-prova de argamassa dos vários traços não expostos	79
Tabela 4.12 – Faixas de concentração de cloreto depositado/migrado nos cps expostos nas 9 estações da Região Metropolitana de Salvador	81
Tabela 4.13 – Faixas de concentração de íons sulfato depositados/migrados nos cps expostos nas 9 estações da Região Metropolitana de Salvador	81
Tabela 4.14 – Concentração de cloretos e sulfatos totais em diferentes posições nos cps de argamassa expostos após 3 dias de cura (em $\mu\text{g/g}$)	82
Tabela 4.15 – Concentração de cloretos e sulfatos totais em diferentes posições nos cps de argamassa expostos após 28 dias de cura (em $\mu\text{g/g}$)	83
Tabela 5.1 – Valores médios regionais da velocidade do vento (m/s), umidade relativa do ar (%) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no período de monitoramento	97

RESUMO

Determinação do Potencial de Agressão dos Sais Marinhos sobre as Argamassas de Revestimento na Região Metropolitana de Salvador

Atualmente, é crescente a preocupação com relação à vida útil das edificações e com o desempenho dos materiais à agressividade do ambiente.

Neste sentido, o estudo do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento é crítico. A presença de sais, e a conseqüente pressão de cristalização, são responsáveis por um grande número de manifestações patológicas nos revestimentos de edificações. O controle deste fenômeno se constitui em um fator importante devido, principalmente, aos elevados recursos financeiros necessários para recuperação do patrimônio atingido.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o perfil da distribuição espacial dos sais marinhos com relação à distância do mar, através da determinação da taxa de deposição de cloretos, sulfatos e nitratos em sensores de vela úmida posicionados em estações de monitoramento localizadas nos municípios de Salvador, Lauro de Freitas e Camaçari (Região Metropolitana de Salvador).

Adicionalmente, foram avaliadas as concentrações de cloretos e sulfatos que efetivamente penetraram, após um processo de deposição e migração, em corpos-de-prova de três tipos de argamassa, com consumos de cimento diferentes. Estes foram moldados com a adição de um argilomineral, localmente denominado de arenoso, visando analisar o comportamento de materiais típicos, pois o arenoso é frequentemente utilizado em argamassas na região monitorada, mas não foi ainda devidamente estudado.

A metodologia empregada permitiu avaliar a eficiência do equipamento de coleta e o desempenho comparativo, quanto à resistência à penetração de sais, dos traços de argamassa estudados. Foram determinados tanto os teores de sais depositados no sensor quanto os migrados para o interior da argamassa por cromatografia iônica. Os resultados foram analisados com relação à distância do mar.

É possível concluir que, traços de argamassa com consumos de cimento em torno de 200 kg por metro cubico tem um melhor desempenho com relação a traços mais pobres, de menor consumo de cimento por metro cubico, quanto ao teor de sais efetivamente penetrado, e ainda, que o potencial de distribuição espacial do spray marinho é de maior influencia até 500 metros de distância do mar. A partir desta distância o teor de cloretos cai significativamente e, no caso dos sulfatos, outras fontes de emissões, como veiculares, passam a ser mais importantes como origem desses íons do que o spray marinho.

ABSTRACT

Evaluation of the Aggressive Potential due to Marine Salts on Mortars used for Rendering in the Metropolitan Region of Salvador, Bahia

In recent years, there has been growing interest on the determination of the performance of materials and on the evaluation of the service life of constructions exposed to various environmental actions.

In this sense, the determination of the aggressive potential of marine salts on mortars used as external renderings is critical. The presence of salts, and the associated crystallization pressures generated when the water is lost, are frequently responsible for the rapid deterioration of the material, due to tension cracking and spalling. The control and prevention of this deterioration mechanism is important, due to the large monetary resources necessary to repair the affected buildings.

The present work had for objective the evaluation of the spatial distribution profile of marine salts in relation to the distance from the sea, by means of the deposition rate of chlorides, sulfates and nitrates in wet candle sensors, located in nine monitoring stations spread on the metropolitan region of Salvador, including sites on the municipalities of Lauro de Freitas and Camaçari.

In addition, the determination of salts which effectively penetrated, through a process of deposition and migration, in three different types of mortars, with varying cement content, was conducted. These mortars were fabricated with the addition of a clayish mineral, locally abundant, denominated "arenoso". This indigenous material is frequently used as a lime-replacement addition in the region, but has not been properly studied yet.

The methodology proposed allowed the evaluation of the efficiency of the monitoring sensors, the measurement of the atmospheric aggressive potential and the determination of the comparative performance, in terms of resistance to salt penetration, of the three mortars tested. The type and amount of salts, both captured in solution and present in the powder samples extracted from the mortars, were determined by means of ionic chromatography. The results were analyzed in regard to the distance from the sea.

It is possible to conclude that mortars made with a cement content higher than 200 kg per cubic meter have a better performance in terms of salt penetration compared to mortars with a lower cement content per cubic meter. Also the data collected showed that the aggressive potential of marine salts in the region is significant up to a distance of 500 m from the sea. From this point onwards the amount of chlorides drops sharply and, in the case of sulfates other air emission sources, such as vehicular emissions become more important than the marine spray.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

***“A MAIS EXCELENTE COPA, O AR, ESTE BRAVO FIRMAMENTO ACIMA
PENDURADO, ESTE TELHADO MAJESTOSO COM FOGO DOURADO, PARECE
NADA MAIS PARA MIM DO QUE UMA CONGREGAÇÃO DE GASES
PERNICIOSOS”.***

Shakespeare

(1564-1616)

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste início de século XXI, a humanidade se vê confrontada com a possibilidade crescente de ocorrência de diversas catástrofes ambientais, como consequência da expansão das atividades humanas e do manejo inadequado dos recursos naturais, o que tem ocasionado um aumento gradativo da poluição na Terra.

A produção de gases que desequilibram a atmosfera e o efeito estufa, a ocorrência de chuvas ácidas provenientes da poluição atmosférica, e as mudanças climáticas que degradam o ambiente, preocupam especialistas, a sociedade em geral e governantes de inúmeros países. A consequência destas condições ambientais tem um longo alcance. No âmbito da Engenharia Civil, as mesmas geram preocupação devido ao impacto que podem ter sobre o desempenho e a durabilidade da infra-estrutura civil, incluindo as edificações, e aos elevados recursos financeiros necessários para preservação, manutenção e recuperação de todo este patrimônio.

Em países industrializados, por exemplo, estima-se que percentagens acima de 40% do total dos recursos da indústria de construção sejam aplicadas no reparo e manutenção de estruturas já existentes, e menos de 60% em novas instalações, em decorrência de problemas de patologias de diversas origens (Mehta, 1994). Como ilustração, Weyers (1990), citado por Guimarães (1997), relata que a Federal Highway Administration (FHWA), nos EUA, estimou os custos de reparos de defeitos, em pontes do sistema rodoviário americano, na faixa de 70 milhões de dólares por ano. Esta tendência tem se disseminado e intensificado nos últimos anos, diante da escassez cada vez maior de recursos para investimentos e da crescente demanda por melhor desempenho e maior durabilidade.

A Constituição da República Federativa do Brasil, de 1988, no Capítulo VI do Meio Ambiente caput do ART. 225, salienta que: “todos tem direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Num sentido amplo, pode-se afirmar que o estabelecimento de uma política global, agregando toda a sociedade, tanto o setor público como o privado, e desenvolvida com o apoio das instituições de pesquisas e das universidades, podem mudar o rumo do relacionamento do homem e do ambiente construído com a natureza.

Modelos de desenvolvimento sustentável estão sendo crescentemente preconizados pelos governos. É cada vez mais considerado como inadmissível a convivência com as degradações ambientais que caracterizaram o cenário sócio-econômico-ambiental no nosso planeta no final do século XX. Vazquez (1998) define como desenvolvimento sustentável aquele que:

- ↘ minimiza o consumo de recursos (conservar)
- ↘ reutiliza o máximo (reutilizar)
- ↘ utiliza recursos reciclados (reciclar)
- ↘ cria um meio saudável (pouco impacto)
- ↘ constrói com qualidade e durabilidade

A Convenção Internacional do Clima, realizada em Kyoto, Japão, em dezembro de 1997, discutiu alternativas para a promoção da sustentabilidade através de projetos que estimulem o desenvolvimento de indicadores que permitam monitorar a qualidade de vida e sua sustentabilidade em nossa sociedade (Revista CREA/RJ, Fev.2000).

A implementação de ações e a aplicação de programas que contemplem as dimensões tecnológicas, sociais e econômicas do desenvolvimento sustentável são uma proposta para materializar a manutenção saudável do ciclo vital e a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos em harmonia com o meio ambiente.

A engenharia civil é responsável por uma intensa degradação ambiental decorrente das atividades das empresas de construção, que utilizam recursos naturais não renováveis e se guiam por interesses econômicos míopes de curto prazo, estabelecidos por alguns poucos empresários. Dentro do contexto atual, não se pode admitir que este setor industrial continue impactando negativamente as condições de existência do nosso habitat, sob o risco de inviabilizarmos a própria sobrevivência das futuras gerações. Sob um ponto de vista de sustentabilidade, a conservação de recursos materiais, através da produção de bens mais duráveis e adequados ao meio ambiente onde estão inseridos, pode ser vista como uma iniciativa ecologicamente correta.

Diante disso, torna-se imprescindível que a comunidade técnica de engenharia gere e difunda conhecimentos que levem ao aumento da vida útil dos materiais, minimizando o uso de matérias primas empregadas na fabricação e produção dos bens materiais empregados nas edificações. A preservação da infra-estrutura construída se constitui em uma das necessidades básicas para garantir a qualidade de vida, tanto sob o ponto de vista do conforto humano quanto considerando a necessidade de otimizar o uso dos recursos naturais.

A redução dos desperdícios, através da qualificação de mão de obra e a adequação e melhoria das tecnologias construtivas, a fabricação de produtos mais duráveis com o estudo do ciclo de vida desses produtos desde as fontes de matéria prima, produção, distribuição, utilização com a verificação da adequação ao meio ambiente, rejeitos e ainda a reciclagem e descarte final do produto são alguns dos procedimentos para otimizar os recursos naturais atualmente escassos nos países desenvolvidos e em fase de escassez nos países em desenvolvimento.

Como já foi citado, o crescimento nos custos de recuperação e de reposição das estruturas, associado à crescente ênfase no custo do ciclo de vida dos materiais é mais um fator de pressão para os profissionais de engenharia tomarem consciência da importância dos aspectos de durabilidade dos materiais.

A eficiência energética dos edifícios, a correta especificação e uso dos materiais, a proteção do ambiente natural e a integração com as condições climáticas locais e regionais

são diretrizes que devem ser consideradas nas fases de elaboração, planejamento e execução de projetos de engenharia.

No organograma mostrado na Figura 1.1 apresenta-se uma proposta para execução das atividades a serem desenvolvidas na fase do projeto de um sistema de revestimento (Cincotto, 1995). Neste organograma a análise das condições climáticas e ambientais, tais como precipitação pluviométrica, umidade e ação dos ventos estão registradas como um procedimento a ser analisado para seleção do tipo mais recomendado de revestimento.

Deve-se incluir a análise de fatores atmosféricos contaminantes existentes nos locais das construções, como, por exemplo, os sais decorrentes do aerossol marinho, objeto desta pesquisa, e cujo estudo é justificado a seguir.

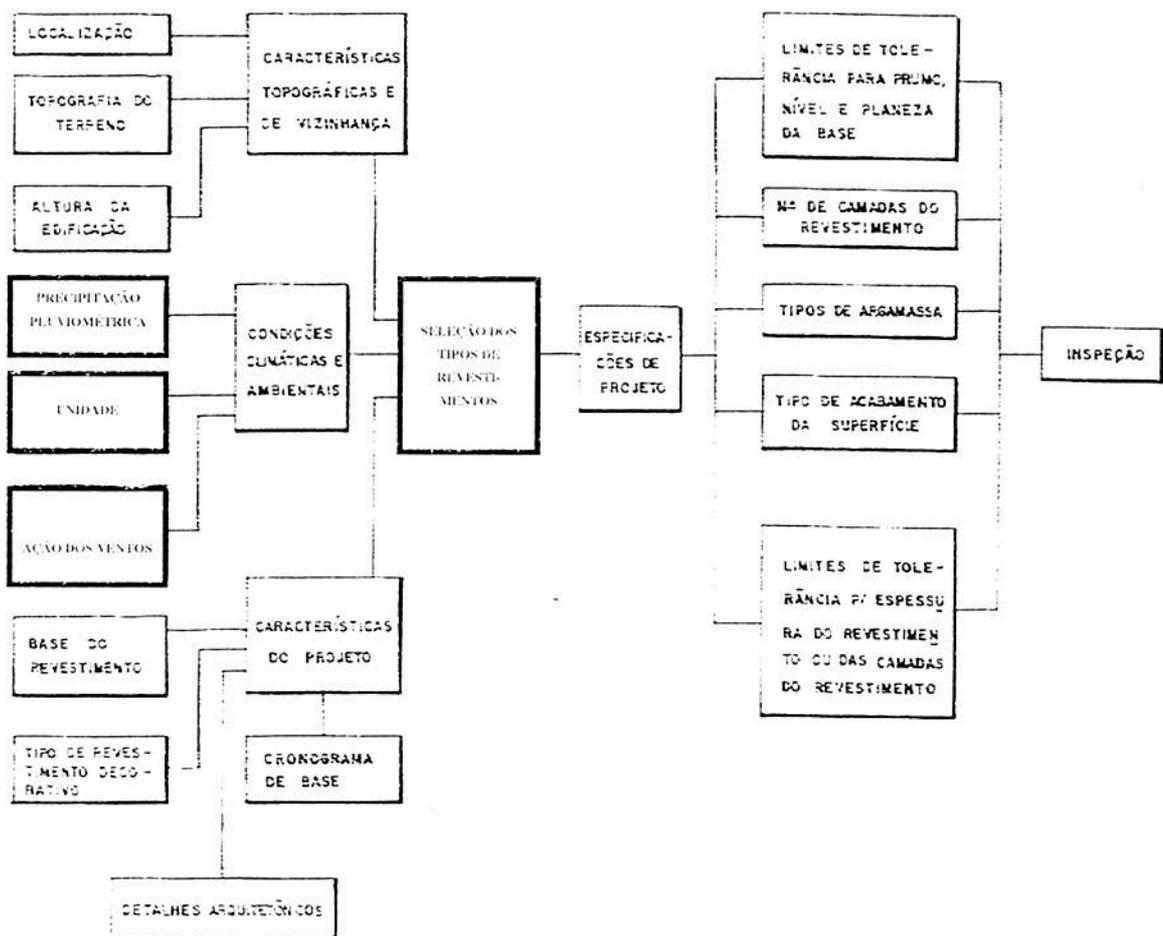


Figura 1.1 – Organograma das atividades da fase do projeto do sistema de revestimento (Fonte: Cincotto, 1995)

1.2 JUSTIFICATIVA

Ocupam papel especial nos processos agressivos atmosféricos os gases, tanto de origem natural quanto de origem antropogênica (decorrentes das atividades humanas). Partículas e íons são dispersos na atmosfera, onde sofrem transformações químicas e físicas, e podem ser transportados por sistemas de ventos, cujas velocidades e direções variam a cada instante, podendo, portanto, atingir regiões distantes. O comportamento químico de espécies atmosféricas é bastante complexo e sua capacidade de dispersão depende de um grande número de fatores de natureza física, química, meteorológica e geográfica.

A Figura 1.2 dá uma visão sobre algumas das emissões mais frequentes de substâncias (CO_2 , CO, SO_2 , NO_x) liberadas para a atmosfera por uma fonte qualquer, e apresenta, esquematicamente, como funcionam os mecanismos da dispersão, transporte e deposição dessas substâncias no meio ambiente.

Em zonas costeiras, é comum ocorrer o enriquecimento da atmosfera com partículas provenientes dos movimentos das ondas, que em sua dinâmica acabam por introduzir até cloretos e sulfatos que se acumulam sob a forma de uma névoa salina ou, utilizando a terminologia que será empregada neste trabalho, o spray marinho. Estes íons são carregados pelos ventos costeiros na direção das costa (Campos, 1995).

No caso das cidades litorâneas, os paramentos verticais das edificações se tornam, portanto, obstáculos contra os quais são propelidos aqueles íons, enquanto paramentos horizontais se tornam locais de deposição. Ao longo do tempo, as massas de ar carregadas de partículas compostas basicamente de água do mar, que formam a popularmente chamada "maresia", provocam uma deposição cumulativa de íons nas superfícies das estruturas. Estes íons podem então ser transportados para o interior do material por uma combinação de mecanismos de difusão iônica.

Infelizmente, esta atmosfera, o aerossol marinho, está associada a mecanismos de degradação dos materiais extremamente agressivos. No caso de estruturas de concreto armado, os íons cloreto são um dos fatores decisivos no processo de corrosão das armaduras (Helene, 1995). Em argamassas, o acúmulo de íons tem efeitos deletérios especialmente em função das pressões de cristalização geradas pela alternância no estado cristalino dos sais agressivos, durante ciclos de molhagem e secagem (Soroka e Carmel, 1987).

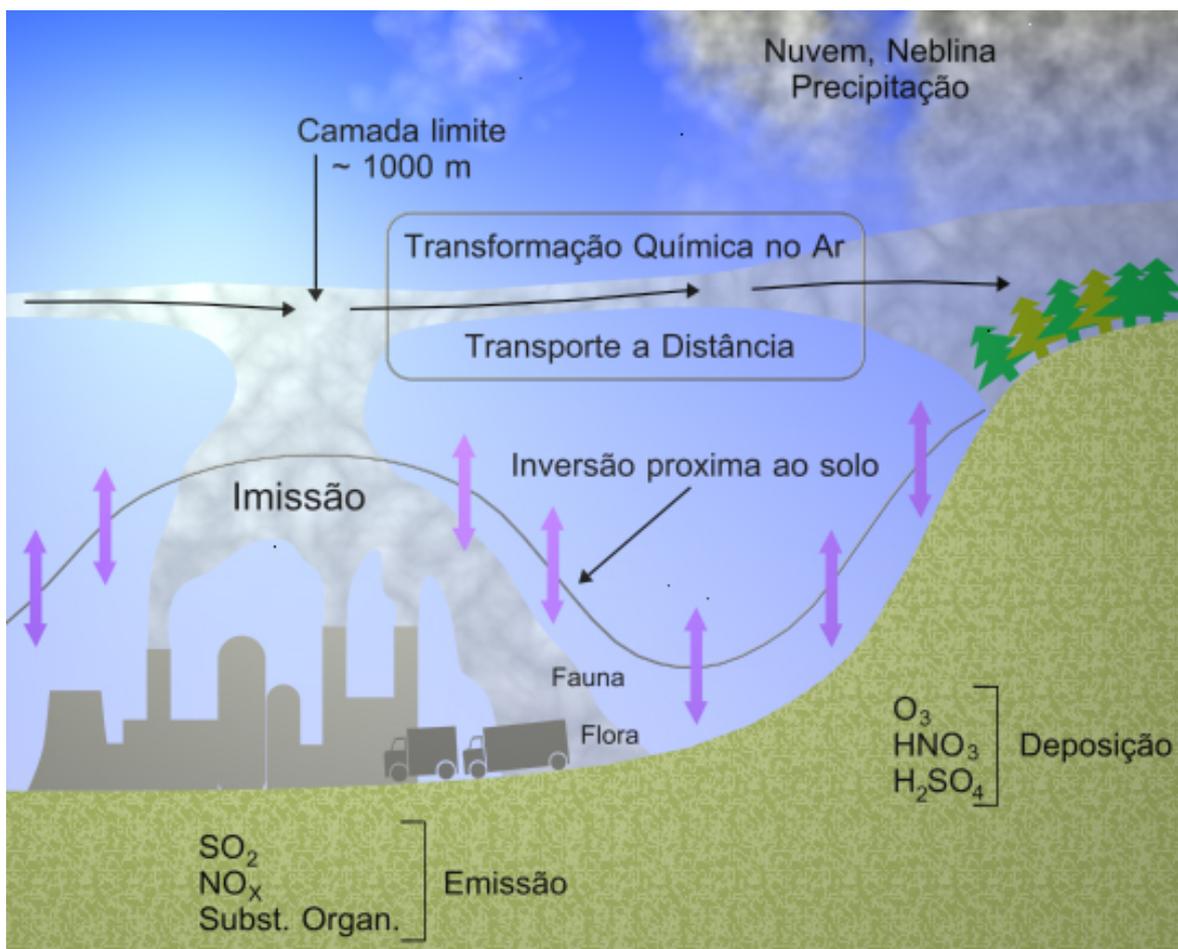


Figura 1.2 – Transporte e transformação de emissões. (Fonte: Campos, 1995 / tradução e adaptação do original de Fonds der Chemischen Industrie, 1987)

Para se ter uma idéia da dimensão do problema, Huerta (1997) estima que entre 3 e 4% do Produto Interno Bruto de um país se perde como consequência de processos de corrosão e degradação dos materiais. Ademais, segundo Marchesan et al (1997), o Reino Unido gasta cerca de 500 milhões de libras por ano com reparos em estruturas deterioradas por corrosão.

Diante destes dados, torna-se evidente que é fundamental considerar o fato de que as construções possuem em seu entorno uma atmosfera dinâmica, que sofre alterações decorrentes das atividades humanas, atuando e modificando as características dos materiais constituintes das estruturas. Para compensar ou gerenciar estes efeitos são necessárias intervenções tecnicamente adequadas, que por sua vez devem se basear num entendimento adequado dos mecanismos de interação entre a atmosfera e as construções, bem como dos processos de degradação decorrentes.

No Brasil, país com o maior litoral da América do Sul (8000 km aproximadamente), e particularmente na Bahia, que detém a maior extensão litorânea brasileira com 1188 km de costa, o vetor de desenvolvimento das principais cidades situa-se em regiões litorâneas, onde a ação do aerossol marinho propicia a ação extremamente agressiva deste ambiente sobre os materiais e produtos utilizados nas edificações, provocando sua deterioração e de seus componentes. A avaliação do potencial agressivo desta atmosfera, objeto deste estudo, com outros parâmetros técnicos, permitirão a elaboração de projetos de edificações mais econômicos e compatíveis com as condições ambientais (Cincotto 1995).

Salvador e sua Região Metropolitana, cujo clima é quente e superúmido, tem uma das principais fontes de emissão natural de sais para a atmosfera, o que caracteriza o aerossol¹ de toda região. Esses sais oriundos do spray marinho, popularmente chamado de maresia, depositam-se em todos os elementos da construção e são constituídos de 85% de cloreto de sódio dissolvidos em água que evapora até manter-se o equilíbrio com a umidade do meio ambiente (Warneck 1988). Essa importante fonte de emissão, cuja formação é mostrada na Figura 1.3, é localmente proveniente do Oceano Atlântico, onde as pequenas partículas do spray são produzidas mecanicamente pela ação dos ventos sobre a superfície do mar e que se depositam durante todo o ano nos materiais e nas edificações (Campos, 1995).

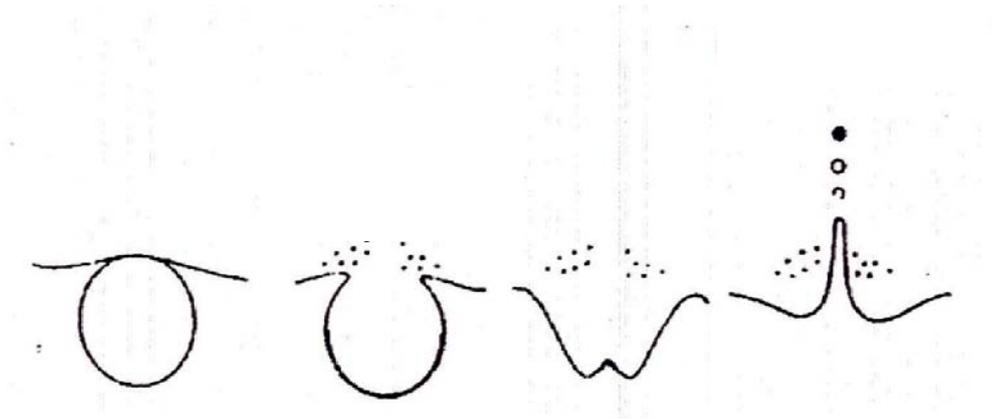


Figura 1.3 – Desenho esquemático da formação do spray marinho por rompimento de bolhas na água do mar. (Fonte: Warneck, 1988)

A avaliação dos teores dos sais do aerossol marinho merece especial atenção, pois estes atuam como desencadeadores e como aceleradores do processo de deterioração dos materiais

¹ Aerossol atmosférico – Mistura de gases e partículas (sólidas, líquidas e heterogêneas) dispersas no ar, formando um colóide, como explicado por (Warneck, 1988).

de construção. Estes contaminantes tem sido extensivamente apontados como causadores de corrosão das armaduras no concreto e da corrosão do próprio concreto, porém os estudos das patologias das argamassas de revestimento decorrentes destes sais, utilizando, como constituinte natural, compostos argilo-minerais, do tipo arenoso, freqüentemente empregados na Bahia, são ainda escassos.

Estas razões justificam a realização da presente pesquisa, que tem por intuito contribuir para a obtenção de dados que ajudem a prever o desempenho de construções na região de Salvador e planeja recolher dados que permitam analisar o potencial agressivo do aerossol marinho e identificar materiais que resistam melhor à sua ação. Para tanto decidiu-se adotar um sistema de monitoramento daqueles sais em várias estações posicionadas na região de Salvador.

Devido à limitação de tempo e de recursos financeiros, a escolha dos locais das estações para coleta de dados concentrou-se em algumas áreas da cidade de Salvador (Praia do Flamengo, Stella Mares, Itapuã e Piatã) e em parte da sua Região Metropolitana, incluindo a Orla de Camaçari (Praia de Arembepe) importante cidade do Estado da Bahia, pela presença do pólo industrial, e em Lauro de Freitas (Praia de Buraquinho), situada em um dos principais vetores de desenvolvimento da cidade.

A seguir são apresentados em maior detalhe os objetivos propostos para o trabalho.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal estabelecido para este trabalho foi:

- ↘ Determinar as taxas de deposição seca de sais provenientes do aerossol marinho, especialmente cloretos e sulfatos, gerados no litoral da Região Metropolitana do Salvador, em diferentes localidades, utilizando o método ASTM G140/96 da vela úmida ;

Como objetivos secundários foram definidos:

- ↘ Avaliar a distribuição espacial dos sais do aerossol marinho na Região Metropolitana de Salvador, considerando especialmente à distância entre fonte de emissão (mar) e as estações de monitoramento;
- ↘ Avaliar o potencial de agressão dos sais marinhos sobre algumas das argamassas de revestimento mais utilizadas na Região Metropolitana de Salvador;

- ↘ Colaborar para o estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento de especificações mais adequadas relativas à utilização de argamassas de revestimento, considerando a localização da edificação e sua distância em relação ao mar.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A pesquisa foi estruturada em seis capítulos, cujo conteúdo básico está descrito a seguir:

O capítulo inicial da dissertação tem caráter introdutório e nele estão inseridas a justificativa e os objetivos do trabalho. O segundo capítulo trata da conceituação do temas relativos à associação de revestimentos, agentes agressivos e patologia das argamassas de revestimento, com referência aos materiais regionais utilizados nos traços das argamassas incluindo o conceito de durabilidade dos revestimentos e as expectativas futuras de utilização dos resultados desta pesquisa.

O terceiro capítulo relata o estudo experimental realizado, descrevendo os métodos e materiais empregados, os procedimentos de monitoramento dos sais e a descrição das áreas monitoradas. É discutido como poderia ser feita uma análise do potencial de degradação dos sais nas argamassas ao longo do tempo, e como poderiam ser analisadas as condições de exposição empregadas nos ensaios de campo, buscando correlacioná-las com as condições ambientais da região (velocidade e direção de ventos, umidade relativa do ar e temperatura).

No quarto capítulo são apresentados os resultados das análises de caracterização dos materiais e das argamassas utilizadas neste experimento e a quantificação e qualificação dos sais do aerossol marinho.

O quinto capítulo apresenta uma análise e uma discussão dos resultados obtidos, além de sugestões de critérios técnicos e de especificações das principais características essenciais das argamassas, para garantir uma minimização do potencial de agressão dos sais monitorados sobre as mesmas.

No sexto e último capítulo são apresentadas às considerações finais, englobando as conclusões e sugestões para futuros trabalhos e pesquisas, decorrentes da experiência adquirida nesta dissertação.

CAPITULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A preocupação com os fenômenos ambientais, que podem ocasionar a deterioração dos materiais, é um tema relativamente novo no meio técnico mas já bastante citado pelos pesquisadores em todos os eventos nacionais e internacionais de Engenharia. É crescente o número de conferências, seminários e workshops cuja temática principal são as relações entre meio ambiente/ambiente construído/durabilidade.

O resultado das interações ambientais com a micro estrutura dos materiais provoca uma alteração nas propriedades dos mesmos. Isto pode modificar características fundamentais ao desempenho e a durabilidade dos materiais, além de alterar o seu padrão estético, causando constrangimento psicológico e insatisfação aos proprietários e usuários da edificação.

Os produtos da construção civil são geralmente expostos à ação ambiental desde sua gênese e qualquer sociedade responsável deve colocar o aperfeiçoamento das técnicas de construção civil como prioridade. Este aperfeiçoamento inclui um melhor entendimento dos materiais tradicionais e seus mecanismos de deterioração e um estudo minucioso dos efeitos ambientais sobre a durabilidade de novos materiais que são desenvolvidos pela indústria.

Na Figura 2.1 apresenta-se um modelo esquemático da interação material/meio ambiente com suas mudanças de propriedades e os reflexos na durabilidade dos materiais.



Figura 2.1- Alteração de um material no meio ambiente

Os materiais de construção, para terem a durabilidade que se espera deles, em condições normais de serviço, precisam apresentar desempenho adequado, resistindo às solicitações do ponto de vista mecânico, e possuir condições de constituição que permitam aos mesmos resistir às ações agressivas externas.

Dependendo das condições climáticas e ambientais, os materiais ficam sujeitos a uma série de efeitos de um conjunto de agentes agressivos e de diferentes fatores destrutivos. Esses fatores ou agentes podem atuar isoladamente ou conjuntamente. Portanto a natureza das agressões aos materiais são diversas e complexas podendo ser de origem mecânica (abrasão, sobrecargas, impactos, entre outros) química (principalmente ação de agentes agressivos), física (calor, frio, etc.) e biológica (ação de microorganismos, por exemplo).

A necessidade de conhecer melhor as características de agressividade ambiental está impondo uma mudança do comportamento técnico-profissional das empresas e dos profissionais da Engenharia, que tiveram que se voltar mais para o entendimento, qualificação e seleção dos materiais e dos processos construtivos utilizados nas construções, com o intuito de aumentar, de uma forma geral, a sua vida útil.

Neste sentido, a compreensão da natureza das reações químicas que ocorrem entre o ambiente e os materiais é crítica. É necessário entender como os diferentes componentes reagem à ação de íons agressivos e quais são os novos compostos que podem ser formados. O entendimento dos mecanismos de deterioração e a coleta de dados sobre como estes fenômenos se desenvolvem são fundamentais para montar modelos de comportamento e permitir extrapolar os resultados de curto prazo, derivados de ensaios em laboratório, para estimativas de longo prazo em diferentes ambientes.

Dentro deste contexto, pode-se prever que, cada vez mais, a seleção dos materiais deixará de ser feita baseada apenas em critérios estéticos, mecânicos e financeiros, e estará condicionada a diferentes questões, tais como a contaminação do ar e as taxas de ventilação ambiental, a durabilidade do material no ambiente a que o mesmo será exposto, possíveis impactos ambientais da deposição de sais e possibilidades de reciclagem. A natureza do meio ambiente circundante passa a ser, portanto, de extrema importância, como discutido a seguir.

2.2 NATUREZA DA EXPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA

Dentre o espectro de ações ambientais possíveis, a exposição à ação dos íons agressivos presentes na atmosfera é uma das mais comuns. Feliu (1984), por exemplo,

descreve que a agressividade atmosférica pode ser considerada como responsável por mais de 50% das perdas totais por corrosão de estruturas metálicas.

Lichtenstein (1985), abordando a exposição das construções ao meio ambiente, considera que toda estrutura tende a um equilíbrio dinâmico com seu entorno. No caso das construções, este equilíbrio tende a se estabelecer entre os materiais constituintes e a atmosfera circundante.

A atmosfera é um local onde as espécies químicas, injetadas por uma fonte qualquer, natural ou não, sofrem diluição e se dispersam, permanecendo em suspensão por um tempo que depende de vários fatores. A compreensão do mecanismo de diluição e dispersão, e da natureza das reações químicas que ocorrem entre os íons em suspensão na atmosfera e os materiais de construção é um desafio aos profissionais de engenharia que objetivam a ampliação do tempo de vida das edificações.

Segundo Warneck (1988), o ar e as partículas carregadas pelo mesmo, sob forma coloidal, podem, em seu conjunto, ser denominados com o uso do termo aerossol. Desta forma, dependendo das características do local de exposição e das partículas em suspensão, pode-se ter tipos de aerossol diferentes: rurais, urbanos, marinhos e ártico.

O aerossol marinho, que contém grandes quantidades de íons cloretos e sulfatos, é muito agressivo às estruturas de concreto e aos revestimentos de argamassa, como será discutido nos itens seguintes deste capítulo. Avaliar a ação do aerossol marinho sobre argamassas da região de Salvador é um dos objetivos desta pesquisa, como discutido no capítulo 1.

Embora os tipos de aerossóis básicos possam ser classificados como descrito acima, para classificar o potencial agressivo de uma atmosfera, é necessário considerar não só os tipos de partículas em suspensão, mas um conjunto de fatores climáticos e de contaminação. A classificação de ambientes deve, portanto, levar em conta não apenas a composição do aerossol, mas também indicadores tipo direção e velocidade de vento, umidade relativa do ar, temperatura e pressão atmosférica, que determinam como se dá a dinâmica de movimentação das partículas em suspensão e quais as condições de deposição sobre os materiais. Isto é fundamental para estimar o ciclo de vida potencial dos materiais utilizados nas edificações.

Segundo Warneck (1988) e Bauer (1994), os principais aspectos climáticos a serem analisados são:

- ↳ Índice Pluviométrico
- ↳ Temperaturas Média, Máxima e Mínima

- ↘ Velocidade e Direção do Vento
- ↘ Umidade relativa do Ar
- ↘ Fontes de Contaminação do ar e seu encaminhamento pelas correntes de ar

A seguir discute-se como combinações destes elementos geram diferentes condições de agressividade ambiental.

2.2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Cada condição particular e específica de agressividade ambiental define, de certa forma, tanto o tipo quanto a intensidade das manifestações patológicas que ocorrem nos materiais das edificações. De fato, segundo Helene (1997), os problemas patológicos normalmente se manifestam de forma bem caracterizados, permitindo que seja inferida a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos.

Segundo Cánovas (1988), a degradação dos concretos e argamassas, por corrosão da armadura ou degradação da matriz cimentícia, se dá normalmente devido a ações químicas e eletroquímicas, cujas causas principais são:

- ↘ gases da atmosfera (CO_2 , SO_2 , entre outros) atuando sobre eles
- ↘ águas puras, selenitosas ou marinhas
- ↘ compostos fluidos ou sólidos de natureza orgânica (azeite, graxas, combustíveis, entre outros).

Um dos principais agentes dos processos agressivos ambientais é a presença de água, ou de umidade na atmosfera. Segundo Cavalheiro (1988), a umidade, na sua forma líquida, sólida ou de vapor, pode ser considerada como o principal agente deteriorante das edificações. Em grande parte isto ocorre por que a mesma age como meio e catalisador de reações que não ocorreriam na sua ausência. A presença da água estimula, por exemplo, o processo de crescimento de fungos e mofo em locais pouco aerados, causando a degradação dos substrato nesta zonas (Lacerda,1988).

Metha (1994) registra que a água é um agente primário tanto da criação quanto da destruição de muitos materiais na natureza, e que é o fator central para a maioria dos problemas de durabilidade. Além disso, a água como solvente tem características notáveis, por sua habilidade de dissolução de substâncias, que é maior do que a de qualquer outro líquido conhecido.

Torrent (2000) estabeleceu, em um de seus trabalhos, duas classes de microclima, baseado justamente na disponibilidade de água ambiental:

- **classe 1:** Ambientes secos correspondendo às estruturas internas em que todas as faces estavam expostas a ambientes secos ou que podem estar só esporadicamente em contato com a umidade mas devidamente protegidos.
- **classe 2** – Ambientes úmidos correspondendo aos elementos estruturais externos que tenham ao menos uma face exposta à ação de intempéries ou aos elementos internos que tenham ao menos uma face submetida a uma umidade relativa de no mínimo 75%.

Esta noção de microclima está ganhando cada vez mais importância. Em 1992, o CEB apresentou as seguintes definições dos níveis de ambientes que devem ser considerados para a vida útil de uma estrutura em serviço. Estes estão apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Definição de níveis de ambiente em função da localização da estrutura (CEB 238)

Clima Regional	Condições climáticas na região onde se localiza a estrutura
Clima Local	Condições climáticas em torno da estrutura
Micro Clima	Condições climáticas na superfície do concreto

Além da água, as condições de poluição atmosférica também influenciam os processos de degradação dos materiais das edificações, pois alteram as condições de concentração natural de íons na atmosfera local, ao longo do tempo, tornando-as mais agressivas e fazendo com que os materiais fiquem, em alguns casos, mais vulneráveis às ações do meio ambiente. O papel da água é, entretanto, novamente crítico. Íons são dispersos e carregados por gotículas de água dissolvido na atmosfera. Tanto a água da chuva como a de condensação podem provocar reações ácidas sobre a superfície dos materiais, ao permitir que os sais e ou gases de origem natural ou antropogênica, dissolvidos na atmosfera, e que se depositam sobre o material, reagem em meio aquoso com os substratos de deposição ou de contato.

Conforme Warneck (1988), uma das piores combinações para a durabilidade dos materiais, referidas em todas as pesquisas, é a de uma atmosfera industrial-marinha com um clima de alta umidade, o que ocorre em quase todas as grandes cidades litorâneas do país e, em particular, nas cidades do Estado da Bahia.

Com o aumento da industrialização em regiões próximas dos centros urbanos de cidades litorâneas, a agressividade do ambiente para os materiais, incluindo as argamassas de revestimento, aumentou muito, pela associação das emissões industriais e veiculares a uma atmosfera agressiva natural, caracterizada pela presença do aerossol marinho.

Atmosferas urbanas são caracterizadas pela presença de íons sulfato. De acordo com pesquisas do US National Academy of Sciences, em 1996, os poluentes atmosféricos mais comuns são: monóxido de carbono (52%); dióxido de enxofre (18%); hidrocarbonetos (12%); elementos particulados (10%) e óxido de nitrogênio (6%). O dióxido de enxofre se recombina e pode se precipitar sob a forma de sais de sulfato. Os gases sulfurosos se mostram como os mais perigosos, especialmente para materiais calcáreos como as argamassas de cimento e concreto.

Talegón et al (1999) afirmam que o meio ambiente urbano, mesmo com baixos índices de contaminação atmosférica, deteriora monumentos graníticos, devido à cristalização de sais oriundos da contaminação do material por água da chuva ou subterrâneas, que causam a fissuração do material. Pode também ocorrer a alteração, por dissolução, dos cristais de opala, gerando sais solúveis que são carregados, aumentando a porosidade. Os sais agressivos podem até mesmo se originar das argamassas utilizadas. Esta é uma das questões que mais preocupam os pesquisadores e projetistas ao estabelecerem as especificações para os materiais a serem utilizados como revestimentos nas edificações e que atendam às propriedades de permeabilidade e tenham boa durabilidade.

Segundo Carvalho et al. (2000), o conhecimento da quantidade e da velocidade de deposição de compostos químicos do tipo NO_2 , SO_2 , e HNO_3 sobre os materiais pétreos auxilia o entendimento dos mecanismos de degradação para a elaboração de programa de restauração e recuperação de monumentos a base de mármore, quartzito e pedra sabão .

Segundo Biczok (1978), as atmosferas marinhas se caracterizam pela presença de íons sulfatos, cloretos e magnésio. No aerossol marinho proveniente do Oceano Atlântico, as quantidades médias de cada um deste íons são:

- ↘ íons sulfato (SO_4^{2-}) -----2800mg/L
- ↘ íons cloreto (Cl^-) -----20000mg/L
- ↘ íons magnésio (Mg^{2+}) -----1400mg/L

Helene (1980) e Verçosa (1991) apresentam alguns valores típicos para a constituição média de sais na água do mar nas costas brasileiras, como pode ser visto na Tabela 2.2. Observa-se que estes valores variam em função do local e da época do ano.

Tabela 2.2 – Constituição média da água do mar na costa brasileira (Fonte: Petrobrás)

Íons [g/L]						pH	Sólidos totais [g/L]	Densidade [g/cm ³]
Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻			
10	0,59	0,51	20	2,9	0,15	7,9	40	1,03

A presença dos sais de cloreto e sulfato em ambientes marinhos merece especial atenção, pois estes íons atuam como desencadeadores e como aceleradores do processo de deterioração dos materiais. Estes contaminantes tem sido extensivamente documentados na literatura como causadores de corrosão das armaduras no concreto, porém os estudos das patologias em argamassas de revestimento, decorrentes da presença destes sais, são escassos, especialmente para argamassas que utilizam, como constituinte natural, compostos argilominerais do tipo arenoso e caulim. Os efeitos de cada um dos íons principais deste tipo de atmosfera serão discutidos com mais detalhe no item 2.4.

Para se ter uma idéia do potencial de agressividade variável destes diferentes meios, Helene (1986) refere-se ao fato de que a corrosão em atmosferas marinhas pode ser da ordem de 30 a 40 vezes superior, com relação à velocidade de corrosão em uma atmosfera rural. Daí o fato de processos construtivos apresentarem-se adequados para ambientes rurais, enquanto que em regiões litorâneas não se mostram convenientes, apresentando sinais acentuados de corrosão em apenas 2 a 3 meses algumas vezes, antes mesmo de concluídas as obras.

Como discutido anteriormente, os materiais não são indestrutíveis, e o resultado das interações ambientais com a sua micro-estrutura é a progressiva mudança de suas propriedades com o tempo.

Este aspecto é explicitado por Neves (2000), que afirma que a interação de produtos com o meio ambiente promove transformações que podem contaminá-lo ou deteriorá-los, provocando danos muitas vezes de difícil e custosa remediação. Pode-se dizer que, asseguradas as exigências de segurança, conforto e custo, o aspecto crítico de qualquer material ou processo construtivo refere-se à sua durabilidade no ambiente em que está inserido. Consequentemente, a avaliação do potencial de agressividade ambiental passa a ser um fator essencial. A monitoração ambiental deveria ser encarada, portanto, como uma prioridade, como discutido a seguir.

2.2.2 Necessidade de Monitoração Ambiental

Como a durabilidade depende de fatores climáticos, uma classificação adequada da grande quantidade de ambientes naturais é de suma importância para que se possam prescrever medidas de caráter preventivo, no sentido de minimizar a ocorrência das formas de degradação verificadas atualmente nas edificações, garantindo assim a durabilidade e conseqüente vida útil das estruturas.

A falta de estudos sobre parâmetros climáticos tais como umidade, temperatura, velocidade e direção de ventos, entre outros, nos locais de implantação do edifício tem dificultado o estabelecimento de especificações mais adequadas à durabilidade das construções de edificações.

Mircea et al., citados por Andrade e Dal Molin (1997), afirmam que a avaliação do comportamento dos elementos estruturais aos diversos tipos de agressividade ambiental é de extremo interesse dos especialistas, que buscam subsídios para o correto projeto de estruturas duráveis. Desta forma, salientam a importância de se analisar o micro clima local antes de implementar obras. Consideram que este é um dos pontos mais importantes para a definição da agressividade ambiental, pois refere-se à interação que ocorre entre o meio ambiente (macro clima) e a superfície da estrutura.

A falta de estudos aprofundados, de âmbito regional, adequados para definir como ações ambientais afetam as técnicas construtivas e os materiais conduz, algumas vezes, à utilização de soluções que se mostram incompatíveis com as condições vigentes, provocando ou aumentando os problemas de conservação das edificações (Tristão et al, 1995).

Helene (1988) também alerta para a necessidade de serem levantados dados e observações do ambiente para estabelecer um diagnóstico com qualidade. Sugeriu, a coleta de dados sobre os seguintes parâmetros:

- ↳ temperaturas diárias
- ↳ temperaturas sazonais
- ↳ umidade relativa do ar
- ↳ precipitação pluviométrica
- ↳ agentes agressivos - metereoquímicos
- ↳ pH das poeiras em suspensão
- ↳ tipo de contato entre a construção e o meio ambiente
- ↳ tipo de contato entre a construção e construções vizinhas

Devido à vasta extensão do nosso país e à grande variação nas condições ambientais no mesmo, é imprescindível a realização de levantamentos de parâmetros regionais para permitir a adequação da normalização nacional e das características dos materiais usados nas construções.

A carência de maior conhecimento sobre as condições e fatores que afetam a durabilidade e o desempenho dos materiais apontam para a necessidade de se implementar, no nosso país, um programa de ensaios e observações sistemáticas, isto é, um esquema de monitoramento dos agentes que interferem nesses aspectos, visando a sua caracterização qualitativa e quantitativa. Somente através do estudo e entendimento desses fatores e dos mecanismos da ação de deterioração será possível evitar a ocorrência de anomalias em obras novas e, principalmente, fornecer subsídios para que se possa corrigir adequadamente os problemas nas estruturas existentes.

A avaliação do ataque salino no caso das argamassas é importante. Soroka e Carmel (1987) consideram que ambientes carregados com sais são extremamente negativos para este tipo de material, pois os sais acabam penetrando no material e cristalizando em seu interior, causando a degradação de sua estrutura física. É de fundamental importância, portanto, o conhecimento e a identificação dos sais agressivos, assim como da quantidade desses elementos existentes na atmosfera, principalmente nas regiões litorâneas onde os teores de sais do tipo cloreto e sulfato são em quantidade bastante significativa. Nestes casos, a estimativa da facilidade de deposição e de penetração é vital para o estudo da durabilidade das argamassas. Considerando este fato, e tendo em vista os objetivos do presente trabalho, apresenta-se no próximo item uma breve revisão sobre as características das argamassas de revestimento e sua suscetibilidade à agressão ambiental.

2.3. ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E SUA SUSCETIBILIDADE À AÇÃO AMBIENTAL

Há muito tempo, grande parte das construções tem utilizado, como revestimento interno e/ou externo, argamassas à base de cimento e/ou cal. O termo argamassa tem diversos conceitos dependendo da finalidade do uso deste material. Oliveira (1959), um dos pioneiros no estudo da argamassa na Bahia, definia argamassa como sendo uma massa plástica, capaz de endurecer, sendo resultante de uma mistura de ligante, areia e água. Kloss (1996) apresenta uma série de classificações da argamassa: argamassa comum, refratária, aérea, hidráulica, mista, simples, composta, pobre ou magra, cheias, ricas ou gordas, plástica, seca e fluida. Em

termos de utilização, podem ser consideradas como argamassas de assentamento, de revestimento interno e de revestimento externo.

Classicamente, as argamassas são conceituadas, na engenharia civil, como materiais obtidos a partir da mistura em proporções adequadas de aglomerante(s) (material ligante geralmente pulverulento, que promove a união entre os grãos do agregado), agregado(s) miúdo(s) (material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, tipo areia), e água, com ou sem a presença de aditivos, segundo a ABNT / NBR13529 de 1995.

As argamassas podem ser constituídas de diversos materiais naturais e industrializados, e muitas vezes contém adições de materiais inorgânicos e ou industriais, os quais são adicionados com a finalidade de modificar suas propriedades. São também utilizados aditivos, produtos adicionados em pequenas quantidades, com a mesma finalidade global de melhorar as propriedades das argamassas e, em algumas ocasiões, especificamente para melhorar a proteção contra a ação de agentes ambientais.

As argamassas de revestimentos produzidas em Salvador tradicionalmente utilizam, como adição, certos materiais regionais, tipo argilominerais, denominados de arenoso e caulim. A ausência de conhecimentos técnicos a respeito do comportamento destes revestimentos é grande e os estudos na área são ainda bastantes incipientes. Como já foi mencionado, a análise dos íons cloretos e sulfatos do aerossol marinho que afetam as argamassas de revestimento fabricadas com arenoso será importante para o avanço do conhecimento da durabilidade dos revestimentos deste tipo, especialmente com relação ao potencial de agressão dos sais marinhos existentes na atmosfera da Região Metropolitana de Salvador.

Este é uma questão economicamente relevante pois, conforme citado por Selmo (1989), o material argamassa representa cerca de 6% do valor do edifício, o que já justifica as diversas pesquisas nesta área. Além disto, a construção civil utiliza entre 20 e 50% do total de recursos naturais minerais consumidos pela sociedade (Sjostrom,1996).

A atenção crescente para esta área pode ser comprovada pela realização de eventos como o Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, iniciado em 1995. Esta série de eventos visa informar os profissionais de engenharia sobre os estudos correntes relacionados com a definição das propriedades das argamassas em geral (de revestimento ou de assentamento), e com a análise das técnicas de produção, manutenção, recuperação e normalização, entre outros tópicos.

2.3.1 Características Básicas das Argamassas

As Universidades e Institutos de Pesquisas, no Brasil, tem buscado realizar vários estudos sobre as características dos materiais utilizados na confecção de argamassas, sobre o processo de mistura, ou referentes à qualidade do substrato e às condições locais climáticas. Este interesse visa identificar quais as característica básicas do material e de seu processo construtivo que garantem seu desempenho e adequação ao uso.

Neste sentido, Selmo (1989) apresenta uma lista de diversos aspectos técnicos e econômicos que devem ser considerados para definição de um traço adequado para uma argamassa de revestimento:

condições de exposição às intempéries:

- natureza e propriedades da base de revestimento
- resistência mecânica
- absorção de água capilar e porosidade
- textura superficial
- grau de permeabilidade à água
- proteção requerida

condições de execução e acabamento final previsto:

- técnica de aplicação do revestimento
- tempo necessário de transporte da argamassa no canteiro de obras
- natureza do acabamento final e tempo previsto para início da sua aplicação

Maciel e Sabbatini (2000), por sua vez, apresentam uma lista com as principais propriedades básicas a serem avaliadas nos revestimentos de argamassa. A mesma está reproduzida na Figura 2.2.

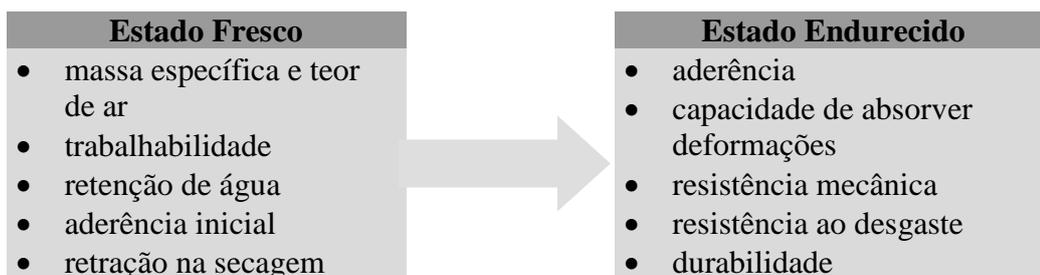


Figura 2.2- Propriedades básicas das argamassas de revestimento (Fonte: Maciel e Sabbatini, 2000)

Uma das principais propriedades e que é fundamental para as argamassas no estado fresco, esta contida na lista apresentada anteriormente e que serve como referência para a definição de traços, é a trabalhabilidade. Esta pode ser considerada sua principal propriedade, como enfatizado por Oliveira (2000), pois define com que facilidade a argamassa pode ser manipulada e aplicada.

Oliveira (2000) apresenta, na Figura 2.3, as principais interferências intrínsecas à argamassa, às condições de projeto e as condições de manuseio (manipulação) que afetam a trabalhabilidade.

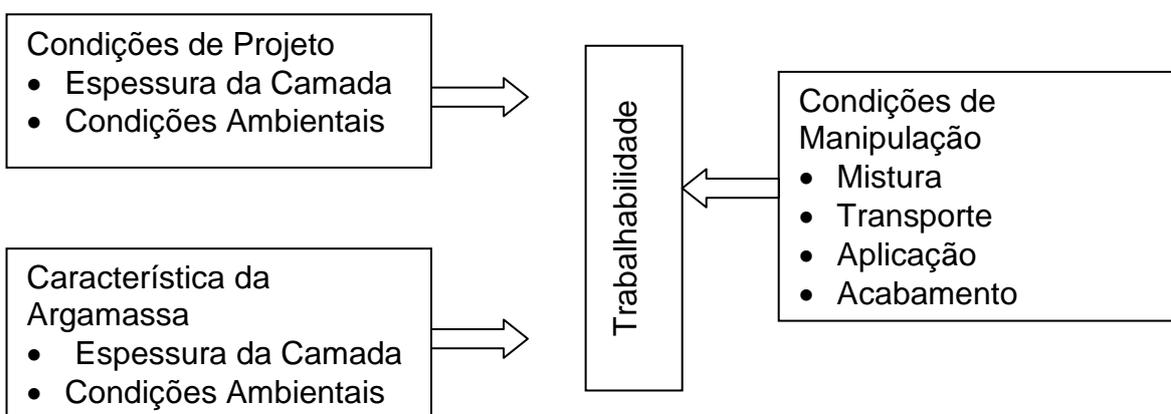


Figura 2.3- Fatores que interferem na trabalhabilidade da argamassa (Fonte: Oliveira, 2000)

Para conhecer o comportamento da argamassa com relação à trabalhabilidade, recomenda-se utilizar critérios objetivos e de fácil execução prática, como a medida da consistência, que permite avaliar a adequada proporção dos constituintes desta argamassa e os principais fatores que interferem nesta propriedade. Portanto essa medida pode ser utilizada em qualquer trabalho científico.

Já no estado endurecido, a principal propriedade das argamassas, conjuntamente com a aderência, que é fundamental, é a durabilidade. A seguir, apresentam-se algumas considerações sobre este tema.

2.3.2 Aspectos que Influenciam a Durabilidade de Argamassas - Ambiente

Como já foi salientado, o entorno exerce uma influência significativa na durabilidade e conseqüentemente na vida útil das estruturas de concreto e das argamassas de revestimento. Regiões com características ambientais diferenciadas podem provocar determinadas

manifestações patológicas, em função das variações de temperatura, umidade e concentrações de agentes agressivos presentes na atmosfera circundante às estruturas, de acordo com Andrade (1992). Cincotto (1995) propõe que sejam desenvolvidas atividades para identificação das condições climáticas e ambientais, permitindo assim a seleção dos tipos de revestimento mais adequados e duráveis para as edificações.

No nosso país, a variabilidade de materiais, industrializados e naturais, e de traços de argamassas nos canteiros de obra, foi registrada por Selmo (1989), e ocorre até mesmo dentro da mesma região. Isso evidencia a inexistência de critérios técnicos oficiais para a elaboração de traços de argamassas que permita obter sempre um material de qualidade adequada aos diversos ambientes e às diversas utilizações, com baixa porosidade, o que é recomendado por todo o meio técnico para atendimento aos parâmetros de resistência e de durabilidade.

A ausência desses requisitos, no Brasil, dificulta o estabelecimento de procedimentos adequados para o emprego da dosagem racional na fabricação das argamassas no canteiro de obras e em centrais de produção industrial, os quais garantiriam um eficiente controle de qualidade e a garantia da durabilidade dos revestimentos em argamassas. Por outro lado, as manifestações patológicas dos revestimentos tem sido freqüentes e crescentes devido à prática de utilização dessas argamassas sem o necessário conhecimento técnico dos materiais a serem utilizados, dos processos de produção e das condições locais tais como clima, além do emprego de mão de obra menos qualificada, bem como a execução em menores prazos.

Para que estas questões sejam respondidas é necessário conhecer claramente quais as variáveis que mais influenciam na durabilidade e desempenho dessas argamassas, com indicadores que avaliem suas características e os seus efeitos na qualidade ambiental.

Estas recomendações somente poderão ser elaboradas com base no suficiente conhecimento científico e tecnológico das argamassas e de seus constituintes. Por estas razões, conforme citado por Carasek (1996), intensas pesquisas experimentais sobre materiais constituintes e técnicas locais de fabricação de argamassa vem ocorrendo.

Ainda em relação à durabilidade das argamassas, Soroka e Carmel (1987) apresentam, como principal mecanismo responsável pela ruptura do material em ambientes marinhos, a cristalização dos sais dentro dos poros da argamassa. Os danos decorrentes da cristalização dos sais agressivos da atmosfera depositados sobre a superfície do concreto e das argamassas e que penetraram em seu interior são grandes. Isto é devido ao aumento de volume que ocorre durante o processo de cristalização, que gera pressões expansivas elevadas, as quais acabam por destruir a estrutura porosa do material. Essas pressões, que situam-se nas faixas de 20 e

200 MPa, superam a resistência da maioria dos materiais de construção, utilizados como revestimentos de origem mineral, provocando sua destruição.

Lacerda (1988) acrescenta que, além da deterioração provocada pela cristalização, os sais atraem a água por osmose e por vapor de água por higroscopicidade, causando o aumento do conteúdo de água no material, dificultando a secagem e realimentando o processo de hidratação e cristalização destes sais. Podem haver também problemas devido às reações químicas entre os constituintes da água ou do aerossol marinho e os materiais. Devido à presença de sulfatos nos ambientes marinhos, por exemplo, sugere-se que os concretos e argamassas utilizados nestas condições, além de apresentar uma relação água-cimento baixa, utilizem cimentos com baixo conteúdo de aluminato tricálcico (C_3A).

Os vários fenômenos agressivos em ambiente marinho são todos ligados à ação dos sais, como será discutido em maior detalhe em 2.4. Por isso, é comum recomendar-se que, no caso de edificações próximas ao mar, devem ser empregados materiais menos permeáveis, com baixa porosidade. Dada a importância da estrutura de poros no desempenho do material quanto à durabilidade, o item seguinte trata de uma pequena revisão da teoria envolvida na área.

2.3.3 Efeitos da Porosidade na Durabilidade dos Materiais

Como salientado no itens anteriores, a durabilidade dos materiais, em particular dos concretos e das argamassas, está fortemente ligada à presença de elementos químicos no ambiente circundante, seus tipos e concentrações, e aos mecanismos de transporte destes elementos para o interior do material. Os cloretos, por exemplo, podem penetrar por absorção capilar (sucção) ou por difusão iônica (efeito de gradiente de concentrações) através dos poros existentes nesta matriz. A partir deste contato dá-se início ao processo de degradação dos concretos e das argamassas, conforme cita Silva (1995). Segundo Aslan (1987), o concreto e as argamassas são mais suscetíveis à deterioração por ação dos ambientes ácidos por que são usualmente porosos e de natureza alcalina.

Gases e líquidos podem penetrar nos materiais, ou atravessá-los, atuando sob ação de um gradiente de pressão, ou simplesmente por estar em contato com o mesmo, sem pressão exterior. É o que ocorre com a umidade, na sua forma líquida ou de vapor, que está presente constantemente na atmosfera e afeta os materiais de construção. Em presença de pressão hidráulica o mecanismo dominante de transporte é denominado de permeabilidade, enquanto na ausência da mesma o mecanismo principal passa a ser o de absorção (Coutinho e

Gonçalves, 1994). O transporte de fluídos sem pressão hidráulica pode dar-se também por fenômenos de capilaridade. Pode, finalmente, acontecer a difusão de íons devido simplesmente a um gradiente de concentração. O mecanismo de difusão de íons é bastante lento. Os sais, de uma maneira geral, penetram bem mais rapidamente através do transporte por forças capilares (Fortes, 1995), que são muito influentes em clima quentes e em atmosferas marinhas, onde os cloretos estão em suspensão, incorporadas ao aerossol marinho atmosférico. A ação deste fenômeno é, por sua vez, intensificada ou atenuada conforme a velocidade, direção de incidência dos ventos e grau de insolação.

Os mecanismos de ingresso de fluidos e íons são afetados por fatores inerentes ao próprio material, principalmente pela estrutura de poros do mesmo. As características do sistema de poros são importantes pois, como salientado por Helene (1993), os agentes agressivos podem ser transportados para dentro do concreto através dos mecanismos de absorção capilar, difusão e permeabilidade, sendo todos governados pela quantidade e geometria dos poros.

Cascudo (1997) afirma que o transporte, não apenas dos cloretos, mas de várias outras substâncias dissolvidas, de líquidos em geral, e de gases, no interior da matriz concreto/argamassa, é decisivamente influenciado pela estrutura porosa da pasta de cimento endurecida. Ressalta, portanto, que para que se obtenha uma boa durabilidade, é necessário produzir um material de baixa porosidade, impermeável. Segundo Larrard e Mafier (1992), citado por Moura (2000), a maioria dos mecanismos físico-químico que governam a deterioração do concreto são reduzidos à medida que se reduz a sua porosidade, limitando os movimentos da água, íons e gases para o seu interior.

Um material poroso pode ser visualizado como uma massa sólida, contendo no seu interior uma rede de galerias, irregular no seu traçado, na forma e dimensões dos poros que o compõem. O termo estrutura de poros é defendido por Silva Filho (1994) para representar estas características. Já o termo porosidade diz respeito somente à quantidade total de vazios presentes no material. Em geral a porosidade de um material se define como a relação entre o volume de vazios, V_v , e volume total da amostra, V_t , (volume de poros + volume de sólidos) e normalmente é expressa em porcentagem, como mostrado na equação 2.1.

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \quad (2.1)$$

Eglinton (1987) destaca que a qualidade do concreto depende de dois principais fatores controladores da porosidade: quantidade de finos (cimento e agregado miúdo- areia) e a relação água /cimento da mistura. Já Neville (1997) apresenta, como principais fatores que influenciam a porosidade capilar dos concreto e das argamassas, a relação água/cimento e o grau de hidratação do cimento. Afirma ainda que a permeabilidade da pasta é controlada pela porosidade capilar. A Figura 2.4 apresenta um gráfico mostrando a influência da relação água/cimento no coeficiente de permeabilidade das pastas de cimento hidratadas.

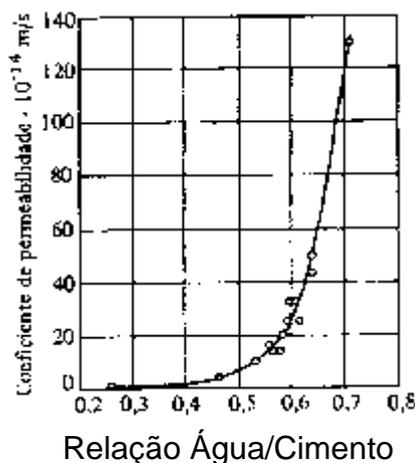


Figura 2.4- Influência da relação água/cimento no coeficiente de permeabilidade (Fonte: Neville, 1997)

Os poros tem diferentes extensões e geometria. Além disso, podem ser abertos ou fechados, isto é, acessíveis a partir da superfície externa ou não. Variam ainda em tamanho, desde uma ordem de grandeza molecular, até aberturas da ordem de milímetros. A porosidade aberta é mais importante em relação à durabilidade, pois possibilita o transporte das substâncias e determina a permeabilidade da pasta. Por sua vez, o tamanho dos poros interfere na velocidade de transporte das substâncias para o interior da massa (Silva Filho, 1994).

O estudo da morfologia dos poros iniciou-se em 1921, com as pesquisas de um cientista americano chamado Washburn, segundo Lacerda (1988). Atualmente o método mais utilizado para determinar as dimensões dos poros é o porosímetro de mercúrio, embora existam outros métodos de determinação da porosidade, como a absorção de nitrogênio. A técnica da porosimetria de mercúrio se baseia em fazer penetrar o mercúrio nos poros do material, em etapas com pressão cada vez maior. Quanto mais finos forem os poros, maior a pressão necessária para penetrar o mercúrio. Daí se deduz o volume e a dimensão dos poros correspondentes (Lacerda 1988). Este método sofre, entretanto, restrições pois as elevadas pressões podem danificar a estrutura de poros, mascarando as leituras.

No tocante, classificação dos poros, pode-se por conveniência dividi-los em diversas categorias de tamanho. No entanto, os limites entre classes não podem ser claramente demarcados (Silva Filho, 1994). O CEB (1992) usa a classificação que engloba os diversos tipos de poros em 3 classes :

- 1- Microporos
- 2- Poros Capilares
- 3- Macroporos

A Figura 2.5 ilustra a distribuição dos tamanhos de poros na pasta de cimento endurecido.

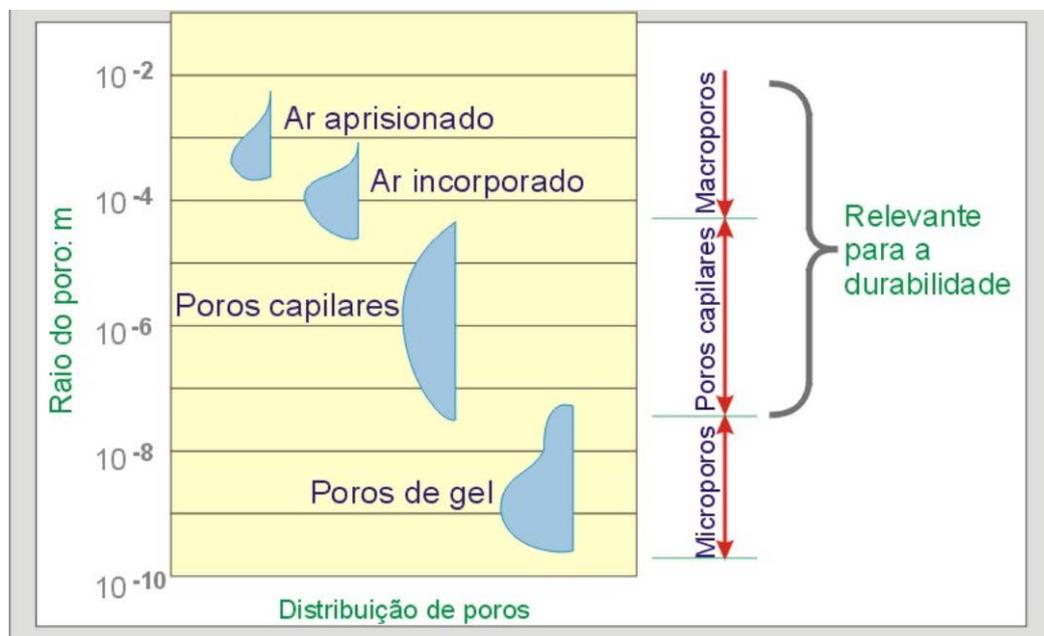


Figura 2.5 - Distribuição de poros na pasta de cimento endurecido
(Fonte: Cascudo, 1997 adaptado do CEB1992)

A ocorrência de danos e patologias, em diversos materiais expostos a ambientes marinhos, sobretudo argamassas e concretos das edificações no litoral, são geralmente decorrentes da associação entre a existência de poros na pasta e a presença de sais provenientes do aerossol marinho.

Essas patologias vem se tornando cada vez mais frequentes nas estruturas das fachadas de prédios, em paredes externas de alvenaria e nos revestimentos dos paramentos de vedação das edificações, principalmente quando há incidência de chuvas e acúmulo de partículas de poluentes, que acabam por gerar uma erosão físico-química dos revestimentos. Este tipo de

ataque tem provocado uma degradação precoce dos revestimentos de argamassas contendo argilominerais, sobretudo os de mais baixa qualidade, com menores teores de cimento. Estes são mais porosos e permeáveis e permitem uma grande entrada de agentes agressivos e de umidade, combinação que tende a degradar intensamente qualquer material de construção de origem mineral. Decore daí a importância de se conhecer a micro estrutura dos materiais e a interconexão dos poros, determinando a porosidade aberta e a distribuição do tamanho de poros. Como discutido, estes são fatores fundamentais na resistência dos materiais à ação ambiental.

Nos estados do litoral nordestino, incluindo o estado foco deste trabalho, a Bahia, verifica-se que, devido às condições climáticas existentes, pode-se agrupar as estações climáticas em dois períodos: o período das chuvas (março/agosto) e o período da seca (setembro/fevereiro) e estas condições estimulam a penetração dos agentes agressivos presentes na atmosfera, que são transportados para o interior dos concretos e das argamassas, por absorção e por difusão iônica, devido aos ciclos de variação da umidade nos materiais.

2.4 CARACTERÍSTICAS DO ATAQUE SALINO

Como discutido no item anterior, a presença de poros é fundamental para o ataque salino pois eles se constituem nos canais de entrada dos íons agressivos. Por exemplo, mesmo que os concretos não possuam cloretos inicialmente, eles podem atingir a armadura de aço oriundos do exterior, através da rede de poros, caso a estrutura esteja em atmosfera marinha ou noutro ambiente que contenha cloretos.

Desta forma, o estudo dos processos de entrada e difusão de sais, assim como de suas reações com os compostos hidratados, é fundamental. Soroka e Carmel (1987) caracterizaram, após pesquisa em corpos-de-prova de argamassa expostos no campo, os mecanismos de deterioração do ambiente sobre as argamassas de revestimentos como:

- ↘ cristalizações dos sais dentro dos poros da estrutura de revestimento
- ↘ ataque químico por exemplo, dos sulfatos (CaSO_4 , MgSO_4)
- ↘ indução de pressões devido à movimentação de umidade.

A presença de sais pode também causar a formação de eflorescências na superfície do material, o que pode se constituir em um aspecto desagradável para os usuários.

O fenômeno de eflorescência, em revestimentos de argamassas, implica no aparecimento de formações salinas, geralmente de cor branca, na superfície do material. Na maioria dos casos as eflorescências não causam problemas maiores que o mau aspecto resultante, mas há circunstâncias em que a formação de sais pode levar a lesões mais sérias, tais como o descolamento dos revestimentos ou das películas de pintura, a desagregação de parte das paredes e até mesmo a queda de elementos construtivos. Verçosa (1991) destaca que os principais causadores desta patologia nos revestimentos são os sais de cálcio, de sódio, de potássio, de magnésio ou de ferro.

Segundo Uemoto (1984), os sais comumente encontrados em eflorescências são carbonatos provenientes das cales e cimentos empregados no preparo das argamassas; sulfatos e cloretos provenientes de componentes cerâmico, agregados, adições, água de amassamento ou aerossol marinho; e nitratos provenientes de solos adubados e/ou contaminados. Verifica-se que, na maioria dos casos, esses sais já fazem parte integrante do material de revestimento, sendo sua dissolução promovida pela umidade do ar, que penetra no revestimento e solubiliza estes sais. Uma vez dissolvidos, os sais migram para a superfície do material, gerando as eflorescências. Os sais também podem ser oriundos de atmosferas com algum nível de poluição, quer de origem urbana ou industrial. As eflorescências mais frequentes nos revestimentos das alvenarias da Região Metropolitana de Salvador apresentam-se como depósito salino branco, solúvel em água, às vezes com efeito de expansão.

Apesar do incômodo das eflorescências e da possibilidade de ataque selenitoso à matriz, o primeiro mecanismo citado por Soroka e Carmel (1987), a cristalização é normalmente o mais intenso e que causa mais danos, especialmente nas primeiras idades. A deposição de sais sulfatos, cloretos e nitratos nos poros superficiais do concreto e das argamassas se torna um fenômeno bastante agressivo, pois pode resultar em microfissuras e no lascamento do revestimento superficial, devido ao aumento de volume gerado pelas pressões na fase de cristalização. Esta cristalização ocorre tanto em decorrência de efeitos hídricos quanto térmicos.

Este trabalho lida especialmente com atmosferas marinhas. Segundo a Rilem (1985), os íons mais agressivos presentes neste tipo de ambiente são:

- ↘ íons cloretos
- ↘ íons sulfatos
- ↘ íons de magnésio

↳ íons de sódio e potássio

O fenômeno da agressividade das atmosferas marinhas, e portanto ricas em cloretos e sulfatos, tem despertado a atenção de inúmeros pesquisadores, técnicos e governantes em função dos elevados custos associados, derivados tanto da perda de materiais deteriorados quanto da necessidade de correção dos problemas gerados pelo ataque desses sais. As somas que estão sendo investidas na proteção de obras e em restaurações de estruturas atacadas, para remediar esses problemas, que surgem cada vez mais com maior intensidade, são cada dia mais significativas.

Tal é a relevância do problema que, nos últimos anos, uma parcela expressiva da comunidade técnica vem dirigindo seus esforços e estudos no sentido de entender e solucionar os mecanismos do processo de degradação devido à presença dos sais, pois praticamente todos os materiais utilizados na construção civil são porosos e tendem a absorver e a reter uma certa quantidade de contaminantes que se encontram dissolvidos no aerossol circundante.

A seguir serão analisados em maior detalhe os efeitos deletérios sobre as construções dos dois íons principais do aerossol marinho: cloretos e sulfatos.

2.4.1 Ação dos Cloretos

Um dos sais mais comuns em atmosferas marinhas são os sais de cloretos. Neste item discute-se qual seu efeito nos materiais de construção, especialmente nas argamassas de revestimento.

O cloreto está normalmente presente nos concretos e nas argamassas porque foi adicionado junto com seus componentes, e estava contido nos agregado, nos aditivos e na água, ou porque penetram desde o exterior, através da rede de poros, o que ocorre em ambientes potencialmente agressivos, objeto de estudo deste trabalho (Andrade 1992). Neste caso diz-se que a contaminação se deu por impregnação da superfície pelos agentes agressivos externos.

Os mecanismos de transporte dos cloretos nos poros dos concretos e das argamassas são geralmente por absorção de soluções ricas em íons cloro (como a névoa salina por exemplo), nas primeiras espessuras, e depois por difusão iônica, devido às diferenças de concentrações de cloretos em busca do equilíbrio (Cascudo 1997).

Segundo Serrano (1999), a situação mais agressiva envolve construções localizadas nas zonas costeiras, onde os íons cloretos estão suspensos nas gotículas de umidade do ar, e penetram rapidamente por um mecanismo de transporte próprio dos ambientes submetidos à

ação do aerossol marinho, que envolve absorção, capilaridade e difusão, como já foi explicado.

A presença de cloretos nos revestimentos está portanto intimamente ligada à proximidade de zonas costeiras e aos terrenos de origem lagunar. É mais rara a presença dos nitratos nas argamassas de revestimento, exceto se estas estão na proximidade de depósitos de substâncias orgânicas ou onde os esgotamentos sanitários inadequados impregnam os terrenos e atingem as alvenarias e os revestimentos.

Nas argamassas e nos concretos endurecidos, os cloretos podem se apresentar de duas formas: como cloretos livres, ou seja, na forma de íons dissolvidos na água dos poros, ou como cloretos combinados, formando parte das fases hidratadas do cimento.

Segundo Lyttelton et al (1995), parte dos cloretos que penetram no concreto ou nas argamassas ficam ligados ao aluminato tricálcico (C_3A) e formam principalmente o cloroaluminato de cálcio, conhecido como sal de Fridel ($C_3A.CaCl_2.10 H_2O$). Este sal se incorpora às fases sólidas do cimento hidratado. Outra porção dos cloretos é adsorvida na superfície dos poros e, finalmente, uma terceira porção fica dissolvida na fase aquosa dos poros, formando os cloretos livres que são perigosos.

A ação deletéria sobre os materiais é exercida principalmente pelos cloretos que se encontram na forma livre, pois os mesmos podem agredir as armaduras existentes no concreto armado (Andrade, 1992), ou se cristalizar, pela perda de água, gerando pressões internas elevadas no material. Ainda que sejam os cloretos solúveis em água os maiores responsáveis pelo potencial agressivo, Andrade (1992) recomenda que seja feita também a determinação dos cloretos totais, pois parte dos íons combinados pode vir a ficar disponível para reações deletérias devido a fenômenos tais como combustão ou elevação de temperatura. Além disso, praticamente todas as normas estabelecem o limite de cloretos em termos de cloretos totais.

O cloreto de sódio, por exemplo, em estado higroscópico, absorve grandes quantidades de água e vapor e cristaliza a uma temperatura de $25^{\circ} C$ e a cerca de 30 % de umidade relativa do ar. No entanto, a deterioração devido à cristalização em épocas quentes e em regiões tropicais, pode ser bastante intenso (Lacerda 1988).

Além do potencial de agressão devido à cristalização, uma das principais patologias causadas pela presença de cloretos é a corrosão das armaduras. A corrosão pode ser definida como a interação destrutiva ou a interação com o ambiente que implique inutilização para uso de um material, seja por reação química ou por reação eletroquímica, conforme Cascudo (1997).

A corrosão das armaduras é uma patologia grave, principalmente do ponto de vista das conseqüências quanto ao comprometimento estrutural e quanto ao custo da correção do problema. Com relação a argamassa de revestimento, a corrosão do concreto armado pode provocar o descolamento desse material ocasionando desmoronamentos com possibilidade de acidentes materiais e humanos. A mesma pode também comprometer o aspecto estético, com o aparecimento de manchas de coloração amarronzada nas superfícies dos elementos construídos. No Brasil, um dos primeiros trabalhos específico sobre o tema corrosão das armaduras foi publicado por Paulo Helene, em 1981, no Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto, realizado em Campinas (Concrelix, 1981). A partir desta época tem-se estudado bastante o tema de maneira multidisciplinar integrando especialistas nas áreas de química física, mecânica, metalurgia e engenharia civil entre outras.

A ação agressiva dos íons cloreto no processo corrosivo é inicialmente caracterizada pela destruição da camada passivadora, com a conseqüente exposição da armadura. Na presença de oxigênio e de umidade, geralmente disponíveis em quantidade suficiente nos sistemas de poros do concreto, o fenômeno da corrosão se inicia. O cloreto então atua como um acelerador da corrosão, facilitando o tráfego de íons entre os pólos da pilha de corrosão formada devido a sua colaboração no estabelecimento de um eletrólito altamente condutivo (Selistre, 1995).

Os íons cloreto (Cl^-) ainda tem o poder de destruir, de forma localizada, a película passivante sobre as armaduras, provocando a corrosão por pite¹. Este tipo de agressão é muito perigosa pois a redução de seção resultante pode ser elevada, mesmo para intensidades de corrente relativamente baixas. Por isto, esta patologia tem sido motivo de preocupação do meio técnico e diversas pesquisas tem sido desenvolvidas para aprofundar o conhecimento, atualmente existente, das causas e dos efeitos dessa anomalia.

Os procedimentos terapêuticos das patologias geradas pela ação dos cloretos devem levar em conta a importância da obra, a vida útil prevista, a agressividade das condições ambientais de exposição e a natureza dos materiais e medidas protetoras adotadas, (Helene, 1992). Em ambientes agressivos, a quantidade de Cl^- tende a ser incrementada gradualmente, e o mesmo pode chegar, após um certo tempo, a atacar toda a superfície da armadura, podendo provocar velocidades de corrosão intensas e perigosas (Andrade, 1992).

Segundo Gouda, citado por Cánovas (1988), a quantidade crítica de íons cloro é de 0,6 por cento da massa de cimento, para o concreto fresco. O mesmo recomenda a adoção de

¹ Corrosão por pite- é um tipo de corrosão localizada os quais evoluem aprofundando-se podendo causar a ruptura pontual da armadura

valores ainda menores para o concreto endurecido. Na seção 8 da NBR 6118 - *Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado: Procedimento* (ABNT, 1980), atualmente sendo revisada, o limite de teor máximo total de cloretos é de 500 mg/L (0,05%). Observa-se que o valor estabelecido é tomado em relação à água de amassamento, o que contraria a tendência verificada na maioria das normas estrangeiras, que fixam os teores de Cl⁻ em relação à massa de cimento. Salienta-se ainda que estes limites referem-se unicamente às estruturas de concreto, não existindo até o momento nenhum limite para as argamassas de revestimento. Na Tabela 2.3, mostrada a seguir, apresenta-se o conteúdo de cloretos limite para o concreto armado proposto por diversas normas, em percentuais relativos à massa de cimento.

Tabela 2.3: Valores limites para cloretos em concreto armado segundo diferentes normas

NORMAS	TEOR DE CLORETOS (%)
EH-88	0,40
PrEN-206	0,40
BS-8110/85	0,20 – 0,40*
ACI-318/83	0,15 – 0,30 – 1,00**

* O limite varia em função do tipo de cimento

** O limite varia em função da agressividade ambiental

É necessário salientar, entretanto, que a agressividade dos cloretos depende também das condições ambientais. A velocidade de corrosão das armaduras, por exemplo, é influenciada pela direção e velocidade do vento. Em determinados casos se tem encontrado uma boa correlação entre velocidade do vento e velocidade de corrosão, com a mesma aumentando abruptamente durante os meses mais ventosos (Fernandez, 1984). Concluí-se, portanto, que a velocidade do vento repercute na quantidade de sal transportado até a superfície dos materiais e, conseqüentemente, afeta a durabilidade dos mesmos.

Outro efeito ambiental é ilustrado por Helene (1993), que explica que locais úmidos e com baixa ventilação tendem a ser mais sujeitos à corrosão, pois podem dar origem ao aparecimento de bolor e fungos que liberam, em seu metabolismo produtos orgânicos ácidos que contribuirão para o aumento da carbonatação e redução do pH dos concretos e das argamassas, podendo causar a liberação de cloretos.

2.4.2 A Ação Agressiva dos Sulfatos

Embora os sulfatos não tenham a mesma agressividade dos cloretos, os mesmos são responsáveis por mecanismos de deterioração importantes que afetam os concretos e as argamassas.

O ação deletéria do sulfato, assim como a do cloreto, pode acontecer por razões químicas ou físicas. Sob o ponto de vista físico, o mecanismo agressivo é decorrente do aparecimento de tensões de tração provocadas pelo aumento de volume que ocorre devido à cristalização dos sais, fenômeno cujas bases já foram previamente discutidas neste capítulo. Os problema é que os sulfatos são higroscópicos, e vários deles apresentam graus de solubilidade tais que, em temperatura ambiente, oscilam continuamente entre a solubilidade e a cristalização. O sulfato de sódio, por exemplo, cristaliza-se a uma temperatura de 32,7°C, em umidade relativa de 75%, e aumenta de volume, ao cristalizar, em cerca de 40% (Lacerda, 1988).

Sob o ponto de vista químico, o sulfato reage com certos compostos hidratados e os desestabiliza, ou gera produtos expansivos, como explicado a seguir.

Segundo Sobral et al (1986), Vicat foi um dos primeiros pesquisadores a observar que a decomposição dos aglomerantes hidráulicos em água do mar se manifestava por expansão, seguida por fissuração, que se generalizava por toda a massa, conduzindo ao desaparecimento da coesão. Foi descoberto 50 anos mais tarde, por Candlot, que o responsável por este fenômeno era a formação de sulfoaluminatos de cálcio, devido à combinação de íons sulfato presentes na água do mar com o aluminato tricálcico do aglomerante hidráulico. O aluminato tricálcico, expresso de forma simplificada como C_3A , é um produto da calcinação do cimento, que não é estável nas suas várias fases hidratadas (Alves, 1987)

Mineralogicamente, o principal sal formado nesta reação, o tri-sulfoaluminato de cálcio, foi denominado de etringita, nome derivado da localidade onde o mesmo foi encontrado pela primeira vez em estado natural, a região de Ettringen (Kolzow, 1971). O trisulfoaluminato foi também informalmente denominado “bacilo do cimento”, devido às suas propriedades destrutivas e à semelhança de seus cristais com certos bacilos orgânicos (Cánovas, 1988).

O fato é que a presença de sulfatos pode provocar a degradação dos concretos e das argamassas devido à reação de formação de sulfoaluminatos de cálcio dentro da estrutura da

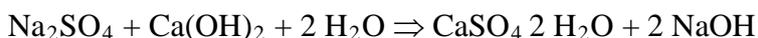
pasta do cimento hidratada. Segundo Moura (2000), a formação do trissulfoaluminato (etringita) pode gerar expansões elevadas, provocando a fissuração, fragilização e lascamento progressivo das camadas externas até a completa deterioração do concreto ou argamassa.

O fenômeno, em sua fase inicial provoca a colmatção dos poros e o aumento da dureza superficial (Silva Filho, 1994). No momento em que os espaços disponíveis são ocupados, as pressões de cristalização aumentam e provocam a fissuração da matriz, reduzindo a proteção natural que o revestimento do concreto confere às armaduras. As fissuras e trincas geradas na superfície do concreto ou das argamassas de revestimento passam então a funcionar como caminhos preferenciais de ingresso de um sem número de contaminantes que podem atacar e diminuir ainda mais a durabilidade dos materiais afetados (Rodrigues, 1999).

Embora tenha sido a primeira a ser identificada, a reação de formação de etringita não é a única reação agressiva característica do ataque de sulfatos, como explica Silva Filho (1994). Outras reações podem acontecer, dependendo dos cátions envolvidos. Os sulfatos cálcicos, alcalinos ou de magnésio, por exemplo, reagem com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento, formando etringita secundária e sulfatos de cálcio di-hidratados, causando expansão. O sulfato de magnésio pode atacar o CSH², por um processo de substituição de cálcio por magnésio, que pode causar a perda de coesão do gel, conforme explicam Metha e Monteiro (1994).

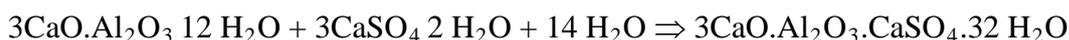
Segundo Collepardi (1996), citado por Moura (2000), as principais reações envolvidas no ataque do concreto/argamassa por sulfato são:

Ataque do sulfato de sódio ao Ca(OH)₂ do cimento usado como aglomerante:



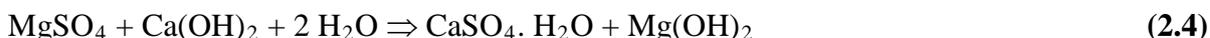
(2.2)

Reação do sulfato de cálcio com o C₃A hidratado formando a etringita:



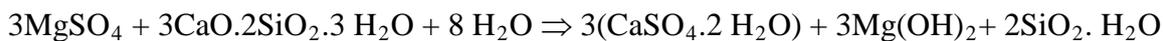
(2.3)

Ataque do sulfato de magnésio ao Ca(OH)₂:



² CSH – Estrutura amorfa quimicamente estável, de silicato de cálcio hidratado da fase sólida do cimento

Ataque do sulfato de magnésio ao C-S-H:



(2.5)

Ataque do sulfato de magnésio ao C₃A:



Na maioria das reações acima, o aumento de volume vai ocasionar a expansão e conseqüente desagregação, da estrutura sólida dos compostos hidratados de silicatos e aluminatos de cálcio do cimento, o que pode ser confirmado pelos dados da Tabela 2.4, a seguir, onde se verifica o grande volume molecular do trissulfoaluminato de cálcio em relação aos hidróxido de cálcio, e ao sulfato de cálcio e aluminato tricálcico hidratados (Gentil, 1980).

Tabela 2.4- Volume molecular dos compostos hidratados do cimento

COMPOSTO	MASSA MOLECULAR	DENSIDADE RELATIVA	VOLUME MOLECULAR (cm ³)x 10 ⁻²⁴
Ca(OH) ₂	74,1	2,23	33,2
CaSO ₄ ·2H ₂ O	172,2	2,32	74,2
3CaO·Al ₂ O ₃ ·6H ₂ O	378,0	2,52	150,0
3CaO·Al ₂ O ₃ ·3CaSO ₄ ·31H ₂ O	1237,0	1,73	715,0

A Tabela 2.5 apresenta uma classificação de grau de severidade da exposição das estruturas de concreto aos sulfatos, de acordo com o code 318-83 do American Concrete Institute (Rodrigues, 1999). Já a norma DIN 4030 classifica o grau de agressividade da água contendo sulfatos de acordo com a Tabela 2.6 abaixo (Cánovas, 1988). Em relação à esta tabela, Cánovas (1988) destaca a importância de conhecer a temperatura da água no momento de determinar o pH, pois variações na temperatura podem modificar estes valores, como mostrado na Tabela 2.7.

Tabela 2.5 – Classificação do grau de exposição das estrutura de concreto aos sulfatos

TIPO DE ATAQUE	TEOR DE SULFATOS	
	Solo (%)	Água (ppm ou mg/L)
Insignificante	0,1	<150
Moderado	0,1 a 0,2	150 a 1500
Severo	0,2 a 2,0	1500 a 10000
Muito severo	> 2,0	> 10000

Tabela 2.6 – Grau de agressividade da água contendo sulfatos

GRAU DE	pH	NH ₄ ⁺	Mg ⁺⁺	SO ₄ ²⁻
---------	----	------------------------------	------------------	-------------------------------

AGRESSIVIDADE		[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
Fraco	6,5 – 5,5	15 – 30	100 – 300	200–600
Forte	5,5 – 4,5	30 – 60	300 – 1500	600 – 3000
Muito forte	4,5	60	1500	3000

Tabela 2.7 – Mudança do pH em função da temperatura

TEMPERATURA °C	0	20	30	100
PH	7,44	7,03	6,86	6,07

Em relação à origem, os sulfatos são normalmente provenientes de uma destas fontes:

- a) Proximidade do mar (neste caso, trata-se normalmente de sulfato de magnésio)
- b) Umidade ascendente em terrenos contendo sulfatos
- c) Componentes usados na construção, inclusive a água de preparação das argamassas
- d) Bactérias capazes de transformar o enxofre atmosférico ou de outras fontes em sulfatos (encontradas principalmente em pedras)
- e) Como resultado da poluição atmosférica

Os sulfatos são encontrados em larga escala em atmosferas urbanas, pois estão presentes nas emissões industriais e veiculares. Feliu (1984) realizou um estudo sobre a distribuição da deposição de sulfatos em Madri. O pesquisador distribuiu 34 estações, como mostrado na Figura 2.6, para coletar sulfatos atmosféricos e registrou taxas que variaram entre 0.5 e 4 mgSO₃⁻/dm²/dia. O pesquisador salienta que o ângulo de exposição da superfície coletora em relação à vertical influencia na taxa de sedimentação de pó e sais na superfície, assim como na possibilidade de lavagem do mesmo com a água da chuva e no período de umidificação superficial do paramento.

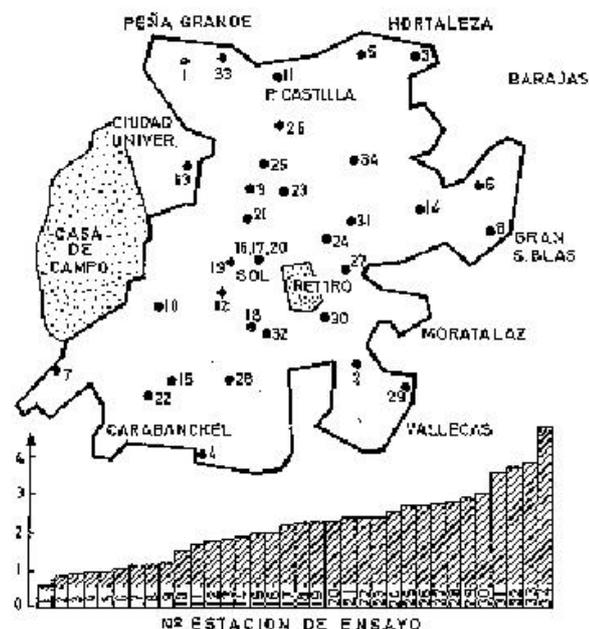


Figura 2.6 – Distribuição da deposição atmosférica em SO_2 ($\text{mg SO}_3^-/\text{dm}^2/\text{dia}$). em Madri, Espanha, (Fonte: Feliu, 1984)

Os sulfatos são também comuns em atmosferas de regiões litorâneas, devido à influência do aerossol marinho. Os altos índices de umidade existente nestas atmosferas favorecem o processo de dissolução e o transporte desses sais, em solução, que acabam por se depositar e acumular por toda superfície e nos poros dos materiais de construção.

Para verificar a agressividade do aerossol marinho em regiões costeiras urbanizadas, como se propõe este trabalho, é necessário portanto distinguir os sulfatos provenientes do mar dos provenientes de outras fontes. Para isso realiza-se a análise do teor de sódio das amostras. Como o aerossol marinho é a principal fonte de sódio, pode-se estimar qual a sua participação percentual no total de íons e determinar o teor de sulfatos marinhos. Esta técnica foi utilizada, por exemplo, por Almeida (2000). Este pesquisador realizou um estudo sobre as taxas de deposição atmosféricas seca e úmida de sulfatos, no Parque Nacional de Itatiaia. Durante o experimento, o mesmo verificou que aproximadamente 2% do sulfato presente na água da chuva tinha como origem a água do mar, sendo os restantes 98% resultantes de atividades antrópicas. O sódio foi utilizado nesta pesquisa como um traçador do aerossol marinho para identificação dos percentuais de sulfato de origem marinha.

Sanchez de Rojas et al (1999) identificaram uma diminuição da porosidade nas zonas externas de materiais calcáreos expostos num ambiente urbano no centro de Madri, em relação às amostras internas, ao mesmo tempo em que verificou uma diminuição do tamanho dos poros e uma redução na quantidade de poros de menor tamanho. Os mesmos explicaram o

fato através da colmatação³ dos poros pelos sais encontrados nas zonas externas, decorrentes das reações dos sulfatos do ambiente com a cal do material, comprovando a interação material meio ambiente versus porosidade.

2.5. Considerações Finais

Como discutido na parte inicial deste capítulo, os materiais de construção estão constantemente sendo afetados por eventos externos climáticos, meteorológicos e oriundos de interferência humana. Pode-se considerar que todos os materiais estão imersos em um aerossol atmosférico com o qual interagem. A atmosfera do globo terrestre, entretanto, é dinâmica, e sofre constantes alterações. Sais são capturados, circulam e se depositam, em condições que dependem do sistema de ventos, sua velocidade e direção, e de outros fatores, como a umidade relativa do ar.

Uma grande parcela das construções, localizadas em ambientes considerados pouco ou não agressivos, apresenta um comportamento adequado, mesmo após um longo período de uso. Contudo, existem muitas estruturas apresentando manifestações patológicas precoces, que necessitam de reparos em um curto período de vida, devido principalmente à sua inadequação em resistir às ações ambientais, como a deposição de substâncias deletérias nos poros do material. Estes e outros problemas, decorrentes da ação de agentes agressivos presentes na atmosfera, estão sendo estudados e, nos últimos tempos, tem merecido especial atenção (Andrade e Dal Molin, 1997).

O modelo de desenvolvimento tecnológico que está sendo correntemente adotado pressupõe um setor produtivo com conhecimento tecnológico dinâmico, competitivo e de alto padrão de qualidade. Essas características só serão alcançadas através do domínio e da atualização do conhecimento técnico-científico e do entendimento da dinâmica do comportamento do desenvolvimento dos materiais e das interfaces com o meio ambiente.

A partir da segunda metade do século XX, aumentou-se a pressão sobre todos os países principalmente dos mais desenvolvidos sobre os países em desenvolvimento e em menor intensidade sobre os países subdesenvolvidos, com relação à exploração dos recursos naturais em especial dos recursos não renováveis. Isso porque a exploração destes recursos trazem conseqüências danosas sobre o ecossistema, não só pela degradação do ambiente como pela deposição de rejeitos e subprodutos industriais poluentes, tanto no solo quanto no ar e na água. É necessário a busca incessante do conhecimento e de uma permanente atualização

³ Ato ou efeito de deposição de sais obstruindo fendas e brechas

técnica para poder eleger os materiais e os sistemas construtivos adequados a cada situação local.

Como a construção civil é um dos setores produtivos que mais utiliza recursos naturais, causando a ruptura de diversos ecossistemas valiosos e essenciais ao bem estar dos seres vivos e causando a degradação e modificação deste ambiente, uma ação de pesquisa tecnológica neste segmento produzirá um efeito multiplicador com resultados mais efetivos. Por isso o impacto da demanda ambiental sobre a construção civil não pode ser subestimado .

O impacto na paisagem, o uso racional dos recursos naturais, o planejamento do ciclo de vida dos materiais, a avaliação da poluição provocada pelos materiais e o consumo de energia serão provavelmente os referenciais da construção neste início do século. Além disso a construção civil é um dos maiores consumidores de energia, tão escassa neste período no Brasil. Segundo citação de John (1998), este segmento é responsável por cerca de 4,5% do consumo total de energia produzida no mundo.

Buscando contribuir para a minimização dos efeitos decorrentes desses fatos foram incorporados conceitos de durabilidade e vida útil para as estruturas de engenharia. A durabilidade está relacionada com a saúde e a segurança dos usuários, bem como com o desenvolvimento social sustentável. Alguns documentos atuais, tais como, CEB-FIP Model Code 90 (1993), CEB Design Guide (1992), ACI Committee 201 (1991) citado por Helene (1997) define a durabilidade como a capacidade do material ou produto em manter suas propriedades ao longo da vida útil em condições normais de exposição e uso. Seu estudo exige a identificação do ambiente e das relações intervenientes e a determinação de indicadores, que permitam avaliar o comportamento do produto em uso.

Neste contexto, vários fatores justificam o desenvolvimento de pesquisas com o objetivo de aprofundar o conhecimento do processo de degradação dos materiais decorrente da interação dos mesmos com o meio ambiente. O entendimento da complexidade dos mecanismos de degradação dos materiais é certamente um fator muito importante para definição dos métodos de execução, controle, correção e manutenção das estruturas civis.

O conceito de vida útil está relacionado com o período de tempo no qual uma estrutura é capaz de desempenhar as funções para as quais foi projetada sem necessidade de intervenções não calculadas. Ao correlacionar material / meio ambiente / durabilidade identifica-se possíveis efeitos na qualidade ambiental, estabelece-se os fundamentos que devem ser postulados antes de edificar-se o desenvolvimento sustentável da indústria da construção civil.

Ao ampliar-se os agentes condicionantes que atuam sobre os materiais não devem ser esquecidos os aspectos da renovação urbana, a evolução das atividades, hábitos e costumes e a evolução tecnológica. Por isso impõe-se, com urgência, a formulação de novas metodologias na Engenharia Civil que estimulem um Projeto de Desenvolvimento que não reproduza a prática predatória sobre o meio ambiente, permitindo que todos os bens produzidos convivam harmoniosamente com este ambiente, no qual está inserido, garantindo a sua durabilidade e sendo ao mesmo tempo um projeto viável técnica e economicamente.

Uma política de ampla conservação de energia e de recursos naturais dará suporte a execução de pesquisas que visem otimizar toda base produtiva construindo um novo paradigma para o desenvolvimento sustentável respeitando os interesses básicos dos cidadãos, preservando o meio ambiente e que seja socialmente justa. Contudo é preciso que o pesquisador crie mecanismos de transformações das informações científicas para aplicá-las em ações preventivas, reversíveis ou reparadoras, focando a durabilidade com referência à construção, manutenção preventiva e corretiva em relação aos materiais e ao meio ambiente, revertendo portanto todo o conhecimento para a sociedade e seus cidadãos.

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROGRAMA EXPERIMENTAL

Conforme discutido no capítulo 1, o programa experimental desta pesquisa visava coletar informações técnicas sobre a deposição, qualitativa e quantitativa, de sais oriundos do aerossol marinho, num sensor especial sugerido por uma norma americana, denominado vela úmida. Várias estações de monitoramento foram utilizadas visando entender como a agressividade do aerossol marinho varia em termos geográficos na região de Salvador, especialmente em função da distância do mar. Para poder analisar o efeito destes contaminantes sobre estruturas reais foram também expostos, nas estações de monitoramento, corpos-de-prova de três tipos de argamassa, confeccionadas com traços comumente utilizados na região, como discutido no item 3.3. Neste capítulo será apresentada a metodologia adotada para a escolha e definição dos materiais e dos traços para confecção dos corpos-de-prova de argamassa, assim como os procedimentos de monitoramento dos sais nas estações e de determinação da taxa de deposição dos cloretos e dos sulfatos.

3.2 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Neste item são descritos os procedimentos utilizados para a seleção e caracterização dos materiais utilizados na pesquisa. Estes materiais foram empregados para confeccionar os corpos-de-prova de argamassa colocados em exposição durante cinco meses nas estações de monitoramento. Os procedimentos empregados foram normalmente aqueles recomendados nas normas oficiais da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, para caracterização dos constituintes e fabricação de argamassas. Quando necessário, normas estrangeiras também foram utilizadas, como descrito a seguir:

3.2.1 - Cimento

O cimento utilizado para fabricar as argamassas foi o CP-II F 32 marca Poty (composto com filler), fabricado pela Cimento Sergipe S.A no Estado de Sergipe, comercializado em Salvador e facilmente adquirido no mercado local.

Coleta da amostra

Uma amostra de cimento para análise foi coletada após aquisição de (10) dez sacos de cimento, no mercado local, com data de fabricação inferior a 30 dias da data de compra e pertencente a um mesmo lote. Após sua aquisição, os sacos de cimento foram acondicionados em sacos plásticos duplos e estocados no laboratório do Centro Tecnológico da Argamassa (CETA) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), para ensaios conforme especificação NBR 11578 – *Cimento Portland Composto* (ABNT, 1992).

Ensaios realizados

Com a amostra coletada, foram realizados uma série de ensaios para caracterização das propriedades básicas do aglomerante. A relação de ensaios realizados, e a respectiva normalização, são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Relação de ensaios de caracterização do cimento

ENSAIO	NORMA (NBR)
Finura	11579
Massa específica	6474
Área específica	7224
Água da pasta de consistência normal	11580
Início de pega	11581
Expansibilidade Le Chatelier	11582
Resistência a compressão	7215

3.2.2 – Areia e Arenoso

A areia utilizada é quartzosa e originária da Mineração Ottomar, localizada em Camaçari, município da Região Metropolitana de Salvador, um dos principais fornecedores desta matéria prima na região.

Já o arenoso foi originado na jazida da Mineração Schindler Cia Ltda, localizada na estrada da Base Naval de Aratu, subúrbio de Salvador. A Figura 3.1 mostra as amostras de areia e arenoso prontas para serem ensaiadas em laboratório.



Figura 3.1 – Aspecto dos materiais utilizados na confecção das argamassas.

Decidiu-se empregar o arenoso pois esta é uma prática usual na região. Da fato, a utilização de adições de argilomineral (arenoso e/ou caulim)¹, nas argamassas de revestimento é prática de uso corrente nas edificações de Salvador e sua Região Metropolitana. A utilização deste material pode ser comprovada facilmente em construções de qualquer padrão de qualidade. Sua presença explica a reduzida utilização da cal na região, ao contrário do que ocorre tradicionalmente nos Estados brasileiro do sul, isto é, o uso de argamassas mistas de cal e cimento para revestimento.

Esta constatação é confirmada por uma pesquisa executada pelo Centro Tecnológico da Argamassa (CETA) da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA), em 15 canteiros de obra da Região Metropolitana de Salvador, no ano de 1997. Neste estudo verificou-se que, em 95% das construções inspecionadas, era empregado o arenoso na confecção das argamassas. A adição de argilominerais nas argamassas de revestimento na região remonta à época da descoberta do Brasil, no século XVI, e sua colonização pioneira. Grande parte das primeiras moradias em nosso país, inclusive o Pelourinho (Patrimônio da Humanidade pela UNESCO), foram erigidas com o uso desta tecnologia construtiva.

¹ Arenoso – Segundo o Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, a palavra é de origem latina (arenosu) e significa “mistura com areia, que tem aspecto ou cor de areia” (Ferreira, 1975).

Coleta de amostras

As amostras de areia quartzosa e arenoso foram coletadas nas jazidas, de uma única vez, em quantidade suficiente para fabricação dos cps e realização de todas as determinações previstas nesta pesquisa. A coleta foi feita de acordo com a norma NBR 7211 – *Agregado para Concreto* (ABNT, 1983). As amostras coletadas foram ensacadas em plásticos, evitando-se possíveis contaminações após a coleta. Os sacos foram posteriormente armazenados no laboratório do CETA/UFBA, ficando estocados até a execução dos ensaios e moldagem dos corpos-de-prova.

Ensaio realizados

A relação de ensaios realizados com as amostras de agregado coletadas, assim como a respectiva normalização, são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Relação de ensaios de caracterização do agregado

ENSAIO	NORMA (NBR)
Massa unitária	7251
Massa específica	6508 e 9776
Impureza orgânica	7220
Material pulverulento	7219
Composição granulométrica	7217
Limite de liquidez	6459
Limite de plasticidade	7180

3.2.3 - Água

Foi utilizada água destilada e deionizada, para execução de todos os ensaios no cimento e nas argamassas. Isto garantiu que a mesma estivesse totalmente isenta de cloretos e sulfatos, evitando perturbações nos valores determinados nas análises posteriores das argamassas.

Este tipo de água é o indicado para o uso proposto pela norma americana ASTM D1193 – *Standard Specification for Reagent Water* (1991). Foram também consideradas as práticas sugeridas pela ASTM D2777 - *Practice for Determination of Precision and Bias of Applicable Test Methods of Committee D-19 on Water* (1998). As amostras para uso em ensaios foram coletadas no Laboratório de Química Analítica Ambiental- LAQUAM, do Instituto de Química da UFBA, localizado no Campus de Ondina.

3.3 – SELEÇÃO DE TRAÇOS, CONFECCÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Para exposição nas estações de monitoramento foram utilizados três traços de argamassa, escolhidos devido à sua alta frequência de utilização para argamassas de revestimento, na Região Metropolitana de Salvador. Os traços podem ser individualizados a partir do seu consumo de cimento e de sua utilização indicada, como segue:

A - traço fraco - consumo de 108 kg cimento/m³

B - traço médio - consumo de 207 kg cimento/m³

C - traço forte - consumo de 287 kg cimento/m³

O traço pobre é usado preferencialmente como revestimento interno, tem menor consumo e, conseqüentemente, tem menor resistência e é mais poroso. O traço médio, aplicado preferencialmente como revestimento externo, tem um consumo mais elevado, mas ainda apresenta uma certa porosidade. Já o traço forte é utilizado como revestimento impermeável e em contra-pisos, apresenta alto consumo de cimento e é bem menos poroso que os anteriores.

Como se pode antever, as argamassas produzidas com os traços acima, identificadas como argamassa A, argamassa B e argamassa C, devem apresentar características bem diferentes. Ensaio de índice de vazios e de absorção foram programados para verificar estas diferenças, como descrito a seguir. Os resultados obtidos serão analisados no capítulo 4.

3.3.1 - Definição dos Traços de Argamassa

Foram executadas diversas misturas experimentais para definição dos traços a serem utilizados do experimento. Na Tabela 3.3 apresentam-se as proporções finais definidas para cada traço pelos estudos de dosagem.

Tabela 3.3 – Traços unitários utilizados para confecção de cada traço de argamassa.

MATERIAIS	Proporções em massa (kg)		
	“A”	“B”	“C”
Cimento	1,00	1,00	1,00
Areia	7,14	3,73	2,61
Arenoso	5,79	3,02	2,11
Água	3,73	1,84	1,31

3.3.2 - Produção dos Corpos-de-Prova de Argamassa

Após a dosagem e mistura, os corpos-de-prova foram confeccionados e moldados em formas cilíndricas, nas dimensões de 50x100mm conforme norma NBR 5738 da ABNT. Todas as argamassas foram produzidas no laboratório do CETA, através de argamassadeira de bancada marca Pavitest modelo SD71B, com duas velocidades para homogeneização dos materiais.

Após desmoldados, os corpos-de-prova foram curados em ambiente de laboratório até a data da colocação dos mesmos nas estações de monitoramento (3 ou 28 dias). A cura foi feita em câmara úmida com temperatura e umidade constantes ($T = 22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} > 90\%$), como mostra a Figura 3.2.

Foram adotadas duas idades para a retirada dos cps da cura e início de exposição, 3 e 28 dias, visando avaliar como seria o comportamento de ingresso de íons em argamassas com grau de hidratação diferentes no início do processo. Os cps foram então numerados no topo, de um a vinte sete sendo colocado a seguir a letra (A, B ou C) correspondente ao traço da argamassa conforme verifica-se na Figura 3.2.

As três séries dos cps da idade de 28 dias (traços A, B e C) foram instalados após o vigésimo oitavo dia de colocados os cps de três dias nas respectivas estações.

Os corpos-de-prova foram transportados para as estações de monitoramento e expostos por um período de cinco meses, definido em função do tempo disponível para a realização da pesquisa, como já foi explicado.

Para cada idade de exposição foram moldadas três séries de 27 corpos-de-prova (50 X 100mm), correspondentes a três cps de cada traço por estação de monitoramento. Cada série de corpos-de-prova foi moldada de uma única vez. Por dia foram moldados 81 cps sendo 27 cps do traço A, 27 cps do traço B e 27cps do traço C. No total moldaram-se 162 cps. Corpos-de-prova adicionais foram moldados para os ensaios de caracterização.



Figura 3.2 - Armazenamento dos corpos-de-prova

3.3.3 – Controle da Produção dos Corpos-de-Prova de Argamassa

Durante a fase de desenvolvimento dos traços no CETA - Centro Tecnológico da Argamassa, foram adotados como parâmetros básicos o índice de consistência e consumo de cimento por m^3 de argamassa. Além disso, definiu-se que o teor de retenção de água deveria ser superior a 90%.

A consistência foi adotada como parâmetro com base nos pontos discutidos por Selmo (1989) e Maciel e Sabbatini (2000), que salientam que um critério de exigência de trabalhabilidade da argamassa fresca é fundamental para garantir uma boa condição de aplicação manual. Decidiu-se adotar um valor referência para a consistência de $250^+_{-10}mm$.

A consistência foi medida em uma mesa de espalhamento, conforme recomendação da norma NBR 13276 - (ABNT). A Figura 3.3 mostra um ensaio de consistência em andamento.



Figura 3.3 – Aspecto da medição da consistência da argamassa

Por garantir a obtenção de uma argamassa homogênea e coesa, uma consistência adequada também está correlacionada com a capacidade de aderência, sendo portanto uma característica importante para aplicação das argamassas de revestimento nos paramentos das edificações. Conforme citado por Selmo (1989), argamassas com consistência inadequada, que apresentem grande exsudação de água, acabam tendo problemas de aderência.

Já o consumo de cimento foi adotado como referência pois tem importância econômica e influencia a qualidade da argamassa em relação à resistência, à compressão axial e diametral, ao poder de aderência e à durabilidade.

A escolha do tipo de argamassa levou também em consideração alguns outros aspectos, tais como a porosidade e absorção de água, que influenciam como o material reage à deposição dos sais provenientes da atmosfera marinha nas estações de coleta.

3.3.4 - Ensaios de Caracterização Realizados nas Argamassas

As argamassas testadas foram caracterizadas no estado fresco e no estado endurecido, conforme recomendações da NBR 13281 – *Argamassa Industrializada para Assentamento de Paredes e Revestimento de Paredes e Tetos: Especificação* (ABNT, 1995). No estado fresco, foram realizados os ensaios listados na Tabela 3.4. No estado endurecido foram realizados os ensaios descritos na Tabela 3.5.

Tabela 3.4 – Relação de ensaios realizados com as argamassas no estado fresco

ENSAIO	NORMA (NBR)
Índice de consistência	7215
Teor de ar incorporado	13278
Retenção de água	13277
Densidade de massa	13278

Tabela 3.5 – Relação de ensaios realizados com as argamassas no estado endurecido

ENSAIO	NORMA (NBR)
Resistência a compressão	13279
Absorção de água por imersão	9778
Absorção de água por capilaridade	9779
Massa específica	9778

O controle da contaminação nas argamassas, ocorrida devido à deposição seca dos sais cloretos e sulfatos sobre as argamassas, foi realizado através de técnicas analíticas do tipo cromatografia iônica e fotometria de chama, como será discutido no item 3.5.

3.4 - DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS DE MONITORAMENTO

Nesta pesquisa, o potencial de agressão dos íons provenientes do aerossol marinho foi determinado de duas formas. Primeiramente, foram instalados sensores especiais em cada estação de monitoramento que coletava os íons presentes no ar que entravam em contato com uma superfície de exposição revestida com gaze umedecida. Além disso, os corpos-de-prova de argamassa ficavam expostos e iam aos pouco sendo recobertos por uma película de sais marinhos, que posteriormente se transportavam para seu interior. Esta possibilidade de ingresso é governada pela estrutura de poros, conforme Silva Filho (1994). Portanto, espera-se que os traços de argamassa, confeccionados com consumos de cimento e relações a/c diferentes, tenham desempenho diferenciado. A seguir descreve-se as técnicas analíticas utilizadas para a determinação dos sais em cada uma destas situações.

3.4.1 - Descrição do Sensor de Vela Úmida

Decidiu-se adotar como sensor de monitoramento o equipamento proposto pela norma ASTM G140 (1996), que descreve um método para determinação da deposição de cloreto atmosférico através do uso da Vela Úmida. Este dispositivo é basicamente constituído por um Erlenmayer com água ao qual é adaptado um tubo de ensaio revestido com gaze. Através de um mecanismo de ascensão capilar a gaze fica permanentemente umedecida e passa a capturar os íons que entram em contato com a mesma. Por um mecanismo de difusão, estes íons se movem para a solução aquosa, onde ficam até que a mesma seja recolhida para análise.

A escolha do sensor de Vela Úmida se deveu ao fato do mesmo ser um sensor simples, de baixo custo e alto potencial de captação do aerossol atmosférico. A utilização do mesmo é inovadora no país e um dos objetivos desta pesquisa foi analisar seu potencial para utilização em maior escala, numa tentativa de avaliar e classificar melhor as condições ambientais a que estão submetidas as obras civis.

Os dispositivos utilizados na pesquisa foram confeccionados com base no modelo apresentado no item 4 da ASTM G-140, onde são descritos todos os componentes para confecção deste dispositivo. Foi necessária, entretanto, a realização de algumas modificações no projeto do dispositivo, tais como tipo e dimensões da gaze, dimensões da rolha de borracha de vedação do frasco Erlenmayer e adaptação da cobertura da vela úmida, para adequação às condições ambientais locais e à disponibilidade e facilidade de aquisição dos acessórios no comércio local.

As Figuras 3.4 e 3.5 mostram a construção da primeira versão do dispositivo e a concepção final dele (vela úmida), já posicionado em uma das estações de monitoramento. As principais modificações da primeira versão para a final foram: retirada da cobertura prevista para proteção da vela úmida (sensor) e utilização de uma rolha de borracha para vedação do Erlenmayer nas dimensões padronizadas pelos fabricantes nacionais.

Após a definição do formato final dos sensores, comprovou-se que o pequeno investimento financeiro necessário para fabricação destes dispositivos é de fato um dos atrativos para o uso da vela úmida como coletor do aerossol atmosférico.

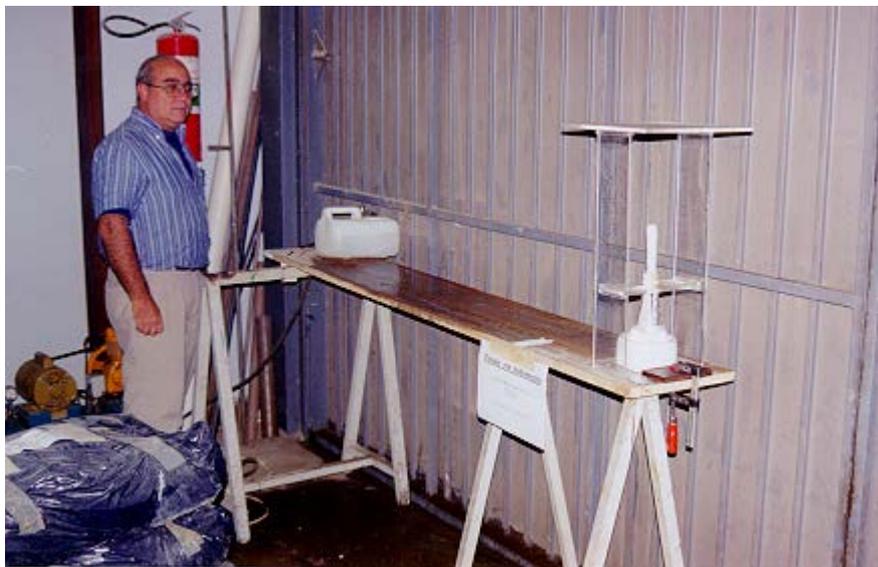


Figura 3.4- Desenvolvimento da primeira versão do dispositivo amostral em fase de teste no laboratório LEME/UFRGS (junho/2000)



Figura 3.5 – Versão final do dispositivo da vela úmida instalado em uma das estações (agosto/2000)

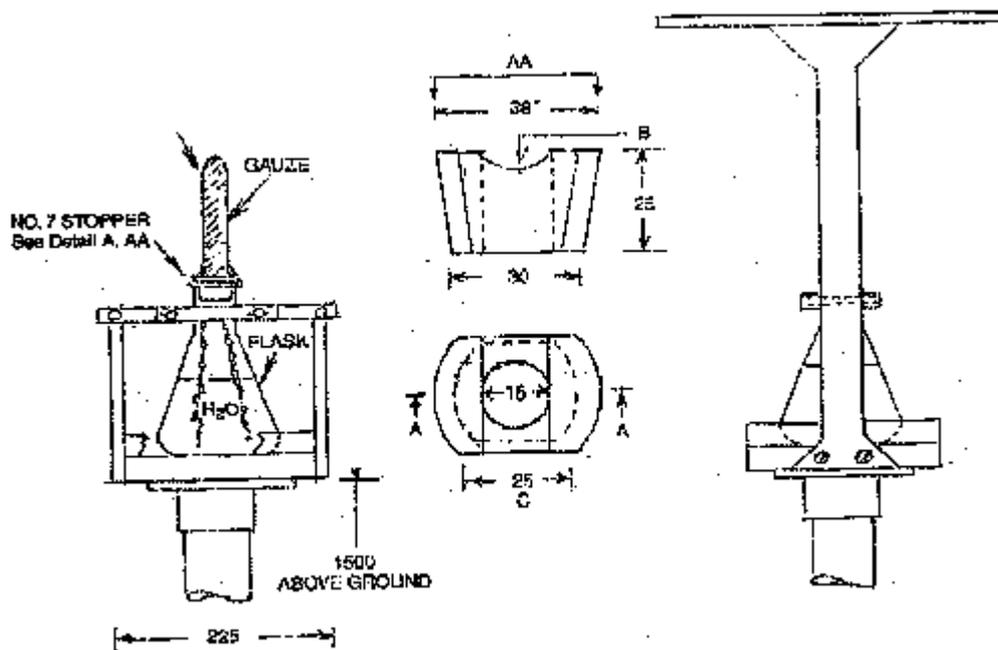


Figura 3.6 – Esquema Final da Vela Úmida
N.T. – Dimensões em milímetros

Previamente à etapa de montagem do conjunto de sensores a serem colocadas nas estações de amostragem, foi feito um estudo dos materiais que seriam usados na sua fabricação para identificar possíveis fontes de contaminações das amostras por uso de material inadequado. O estudo foi baseado no preparo e análise de amostras em “branco” de diferentes tipos de gaze, de água de lavagem, das rolhas de borracha e de luvas a serem usadas no manuseio da gaze para o preparo da “vela”.

O controle do transporte das amostras do campo para o laboratório e vice-versa quando da recolocação dos dispositivos nas estações de amostragem foi feito com cada vela úmida individualmente protegida por saco plástico descartável e adequadamente acondicionado em caixa plástica, evitando possíveis contaminações durante o percurso.

3.4.2 Exposição dos Corpos-de-Prova de Argamassa

Após atingir as datas de cura, os corpos-de-prova identificados foram dispostos nas estações, agrupados em 3 unidades para cada traço e para cada estação, segundo mostra a Figura 3.6. A condição de exposição dos corpos-de-prova nas estações de coleta foi durante um período de 5 meses, para identificar os efeitos das intempéries sobre os revestimentos.



Figura 3.7 – Disposição dos corpos-de-prova de diferentes traços de argamassa nas estações de monitoramento

3.4.3 - Definição dos Locais das Estações de Monitoramento

Segundo Campos (1995), o termo monitoramento é definido no sentido mais amplo como “medidas repetitivas para avaliar mudanças num período de tempo” e em sentido restrito como “medidas regulares em relação a algum padrão ou objetivando a eficiência de algum sistema de regulação e controle”.

Um problema para definição de um programa de monitoramento é a decisão do número e localização dos sítios de amostragem, a duração do levantamento e a resolução de tempo de amostragem. Neste trabalho foram utilizadas nove pontos de coleta das amostras do aerossol atmosférico, localizadas nas regiões de crescimento imobiliário da cidade de Salvador e da sua Região Metropolitana. Estas estações foram locadas através de um equipamento do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana- BA, tipo GPS, sendo identificadas as coordenadas geodésicas de latitude, longitude, altitude e a distância da estação ao mar, como explicado a seguir.

Levantamento com GPS

Para a realização do levantamento das posições cartográficas das estações de monitoramento, utilizou-se, nesta pesquisa, um par de receptores GPS (Geographic Positioning System), tipo Pro XR, de alta performance.

O equipamento acima utiliza o software Asset Surveyor instalado no coletor, para realizar a aquisição de dados geográficos, através de um GPS diferencial que fornece a posição do mesmo, com precisão submétrica, em uma base de segundo a segundo, baseada na vetorização em relação a seis satélites geoestacionários.

O receptor Pro XR funciona juntamente com um coletor de dados (TDC1) que armazena as posições geográficas das características (objetos) levantadas em campo.

Para auxiliar no planejamento do trabalho em campo, quanto às posições dos satélites em órbita, como também na correção diferencial das posições levantadas, utilizou-se o software Pathfinder Office, instalado no computador, funcionando como gestor dos dados levantados em campo.

A precisão do receptor Pro XR após a correção diferencial em tempo real e/ou pós processada fica em torno de 0.10 a 0.75 m \pm 1ppm, vezes a distância entre a base (coletor estático sobre um tripé) e o coletor móvel que se desloca junto com o operador).

A Figura 3.7 mostra o uso do equipamento utilizado para localização das estações cujas características técnicas estão apresentadas na Tabela 3.6.



Figura 3.8- Uso do GPS na localização de uma estação de monitoramento

Tabela 3.6 - Características técnicas do GPS

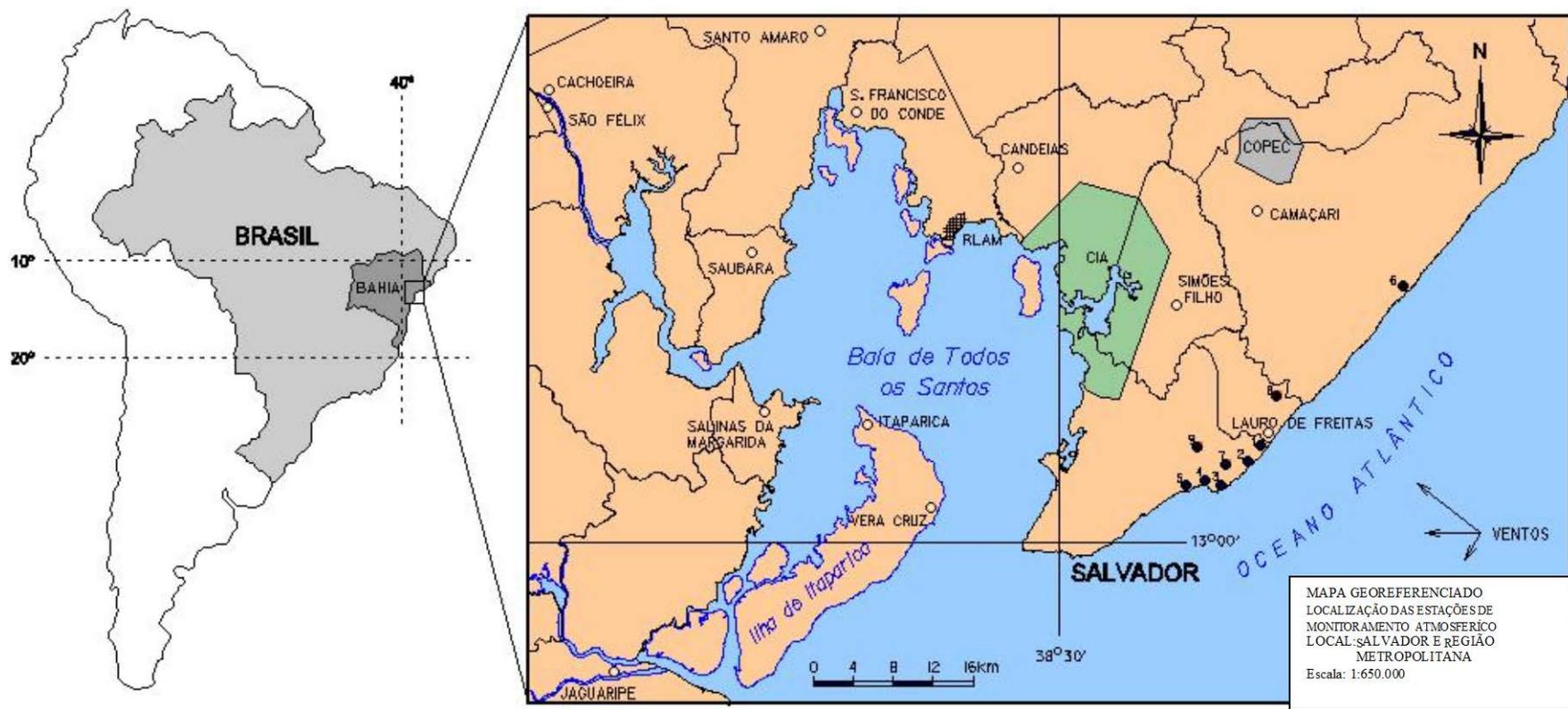
CONFIGURAÇÃO DO ROVER	
AJUSTES	VALOR PADRÃO
Característica ponto	1 segundo
Mínimo de posições	10
Modo da posição	Manual 3D
Mascara de elevação	15 Graus
Mascara de relação sinal ruído	6.0
Mascara PDOP e interruptor	6.0
CONFIGURAÇÃO DA BASE	
AJUSTES	VALOR PADRÃO
Característica	1 segundo
Medições	5 segundos
Mínimo de posições	10
Modo da posição	Manual 3D
Mascara de elevação	10 Graus
Mascara de relação sinal/ruído	4.0
Mascara PDOP e interruptor	8.0

Na Tabela 3.7 são apresentados as coordenadas geodésicas referentes à localização das estações de monitoramento escolhidas, assim como a identificação nominal das praias onde ficaram instalados os experimentos.

Tabela 3.7- Localização georeferenciada das estações de monitoramento

ESTAÇÃO - PRAIA	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)	DISTÂNCIA DA PRAIA (m)
1 – Flamengo	12°55'28,5" S	38°18'55,7" W	7,7m	71,6m
2 – Flamengo	12°55'55,9" S	38°19'26,5" W	7,6m	137,6m
3 – Itapoã	12°56'55,9" S	38°21'57,3" W	7,6m	143,4m
4 – Itapoã	12°56'42,5" S	38°51'54,0" W	13,5m	531,9m
5 – Plakaford	12°56'51,3" S	38°22'53,0" W	4,0m	787,7m
6 – Arembepe	12°46'06,5" S	38°11'06,4" W	7,6m	1165,4m
7 – Stela Mares	12°55'44,0" S	38°20'51,5" W	40,9m	2225,5m
8 – Buraquinho	12°52'04,9" S	38°18'03,1" W	24,5m	2645,0m
9 – Piatã	12°54'51,6" S	38°22'24,3" W	37,1m	4704,7m

A Figura 3.8 mostra um mapa georeferenciado com a localização das estações de monitoramento instaladas na Região Metropolitana de Salvador - Estado da Bahia. Devido à limitação de recursos humanos e financeiros, optou-se pelo monitoramento e coleta em 9 (nove) pontos da Região Metropolitana de Salvador, dentro de um raio de 50 a 5000 metros de distância da praia, com duração prevista de campanha de 5 meses. A definição final da localização das estações foi feita pela disponibilidade e existência de área aberta e com cobertura (varanda), em todas as estações, onde as interferências de paredes, árvores e outros elementos fossem minimizadas, permitindo a circulação dos ventos, segurança dos equipamentos contra atos de vandalismos e a permissão dos proprietários para uso de uma área em suas residências para esta finalidade.



LEGENDA : 1 – Praia do Flamengo 4 – Praia de Itapoã 7 – Praia de Stela Mares CIA - Centro Industrial de Aratu
 2 – Praia do Flamengo 5 – Praia de Plakaford 8 – Praia de Buraquinho COPEC – Complexo Petroquímico de Camaçari
 3 – Praia de Itapoã 6 – Praia de Arembepê 9 – Praia de Piaã RLAM – Refinaria Landulfo Alves - Mataripe

FIGURA 3.9 – MAPA DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR (RMS) COM A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

Descrição das Áreas Monitoradas

As áreas onde foram instaladas todas as estações de monitoramento tinham as mesmas condições de exposição dos corpos-de-prova e da vela úmida. Foram utilizadas prateleiras padronizadas, que permitiam que os sensores ficassem situados a uma mesma altura (1,5m do piso). A orientação do posicionamento do conjunto de corpos-de-prova e da vela úmida foi mantida constante em relação à direção principal do vento naquele local, como mostrado na Figura 3.9.



Figura 3.10 – Localização de uma das estações, permitindo circulação de vento e segurança do equipamento. (Estação 7 - Stela Maris, Salvador)

Verificou-se ainda se o entorno dos edifícios onde foram instaladas as estações não possuíam nenhum impedimento para a adequada circulação do ar nas prateleiras onde estavam colocados os corpos-de-prova de argamassa e o sensor de vela úmida.

Embora as estações variassem em termos de microclima, todas compartilhavam determinadas condições climáticas típicas da Região Metropolitana de Salvador. Em geral, os ventos nesta região preferencialmente ocorrem a partir dos quadrantes NE e SE, progredindo do mar para o litoral. Para que se possa ter uma idéia das características climáticas, topográficas e geológicas da Região Metropolitana de Salvador, mostra-se um resumo das mesmas na Figura 3.10.



Figura 3.11 – Características básicas da região monitorada

Periodicidade de Coleta das Amostras nas Estações

Apresenta-se, na Tabela 3.8, os períodos das amostragens realizadas utilizando a vela úmida. Estas foram programadas conforme descrito a seguir:

- primeiro mês: ensaios semanais;
- segundo mês: ensaios quinzenais;
- terceiro mês: uma determinação a cada três semanas (vinte um dias);
- quarto mês e quinto mês: alternância entre uma determinação após quatro semanas e uma após três semanas.

Desta forma pode-se cobrir todo o período amostral de cinco meses. A escolha dos intervalos mais curtos no início se deveu ao fato de que não se sabia qual seria a taxa de deposição e a eficiência do equipamento. Quando as primeiras análises foram exitosas, decidiu-se espaçar os períodos de coleta por motivos logísticos.

Quanto à escolha dos intervalos de coleta, foram adotados 7, 14, 21 e 30 dias de forma a que se pudesse, caso fosse considerado interessante, fazer médias de deposição para vários

intervalos. Buscou-se então obter pelo menos três intervalos de mesma duração. Como os intervalos de 7 dias podiam ser compostos para obter intervalos de 14, 21 ou 30 dias (na realidade 28), só foi necessário fazer duas determinações de cada um destes. Verificou-se mais tarde, entretanto, que as leituras eram bastante estáveis e que não havia sentido em subdividir o período amostral em intervalos. De qualquer forma, as visitas constantes para retirada do conteúdo do sensor de vela úmida foram importantes para verificar seu funcionamento e para complementar o nível da solução, mantendo as condições de migração de íons razoavelmente constantes.

Tabela 3.8– Períodos de amostragens de cloretos, nitratos e sulfatos na deposição seca. Salvador e R.M. 2000-2001

PERÍODO DE AMOSTRAGEM	TEMPO DE EXPOSIÇÃO (DIAS)	ESTAÇÃO DO ANO	OBSERVAÇÕES
15 a 22/08	7	Inverno	Período chuvoso
22 a 29/08	7	Inverno	Período chuvoso
29 a 05/09	7	Inverno	Período chuvoso
05 a 12/09	7	Inverno	Período chuvoso
12 a 26/09	14	Inverno/Primavera	Período chuvoso
26 a 10/10	14	Primavera	Período seco
10 a 31/10	21	Primavera	Período seco
31 a 30/11	30	Primavera	Período seco
30 a 21/12	21	Primavera/Verão	Período seco
21 a 23/01	30	Verão	Período seco

3.5 – TÉCNICA DE AMOSTRAGEM DO PÓ DAS ARGAMASSAS EXPOSTAS

A coleta das amostras para determinação do teor de sais depositados nos corpos-de-prova de argamassas foi feita em três posições assim definidas: 2 pontos diametralmente opostos a 1,5 centímetros da face externa do c.p., e um ponto central, a 2,5 centímetros da face externa. Estas posições correspondiam à face anterior do corpo-de-prova, ao seu centro e à face posterior.

No final do período de exposição foi feita uma extração de pó em cada posição. A extração dos pós se deu utilizando um equipamento de bancada, do tipo furadeira com uma broca de vídia, para perfuração e retirada das amostras, conforme mostrado na Figura 3.11. Em cada ponto foi feita uma perfuração de 4 cm, da qual se coletou todo o pó para análise. Eram coletadas em média 3 g de material, que era então armazenada em frascos plástico descontaminados com capacidade de 20 ml.



Figura 3.12- Equipamento usado para a retirada do pó do corpo-de-prova de argamassa exposto

A tolerância aceita para a amostra era de 5%. O pó ficava acondicionado em frascos identificados e lacrados com tampa para serem transportados para o LAQUAM/UFBA onde eram pesados para determinação da massa do pó amostrado, para serem analisados quanto à presença e quantidade de cloretos e sulfatos por cromatografia iônica, como descrito a seguir.

3.6 – DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA DETERMINAÇÃO DOS ÍONS

As análises químicas da deposição seca coletada sobre o sensor de vela úmida (solução) e sobre os corpos de prova de argamassa (pó) foram feitas por cromatografia iônica, no Laboratório de Química Ambiental (LAQUAM) da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Foi usado um cromatógrafo iônico Biotronik, Modelo I C 1000, de fabricação alemã, como mostrado na Figura 3.12. Foi utilizada uma coluna de separação de ânions marca Sykan, tipo LCA A14, de 250 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro interno e uma coluna supressora tipo micro membrana e um registrador de dois canais.



Figura 3.13 – Cromatógrafo Iônico

Para serem utilizadas no cromatógrafo, as amostras estocadas anteriormente tinham de ser previamente condicionadas. No caso das amostras de solução, provenientes do sensor de vela úmida, o recipiente era agitado manualmente para homogeneização do conteúdo e então era extraída uma amostra menor com uma micropipeta de precisão. A amostra era então acondicionada num frasco tipo Eppendorf com capacidade de 1500 μL e então centrifugada durante 15 minutos (13500rpm), para separar qualquer partícula sólida que prejudicasse o funcionamento do aparelho. Só então a amostra era injetada no cromatógrafo para análise. As amostras em solução eram mantidas em geladeira (4°C) e analisadas no máximo 24 horas após sua coleta.

A preparação das amostras de pó era semelhante. A diferença é que era feita uma extração dos íons do pó com água deionizada. É importante salientar que, antes da realização das análises das amostras no cromatógrafo iônico, o equipamento era calibrado com soluções padrões no preparo da curva analítica. A Figura 3.14 mostra uma destas curvas analíticas de calibração. Deve-se chamar atenção ainda para o fato de que todas as medidas foram tomadas para evitar a contaminação das amostras no laboratório, seja por suor humano ou qualquer outra fonte ocasional dos íons como os analisados. O aparelho então procedia à determinação dos teores de íons cloreto, sulfato e nitrato de forma autônoma.

A Figura 3.15 mostra um cromatograma típico desta curva analítica para os ânions analisados neste experimento.

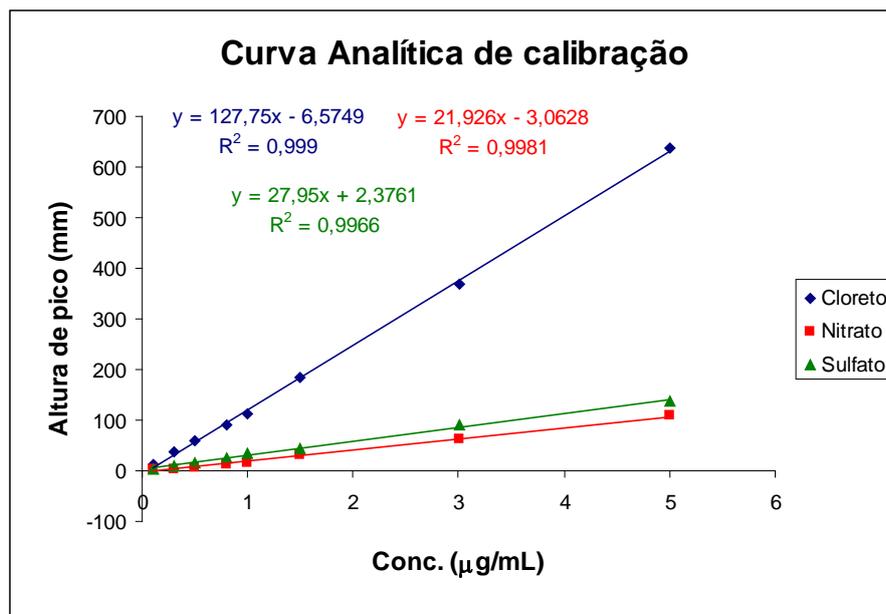


Figura 3.14 – Curva Analítica Típica de Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} por Cromatografia Iônica

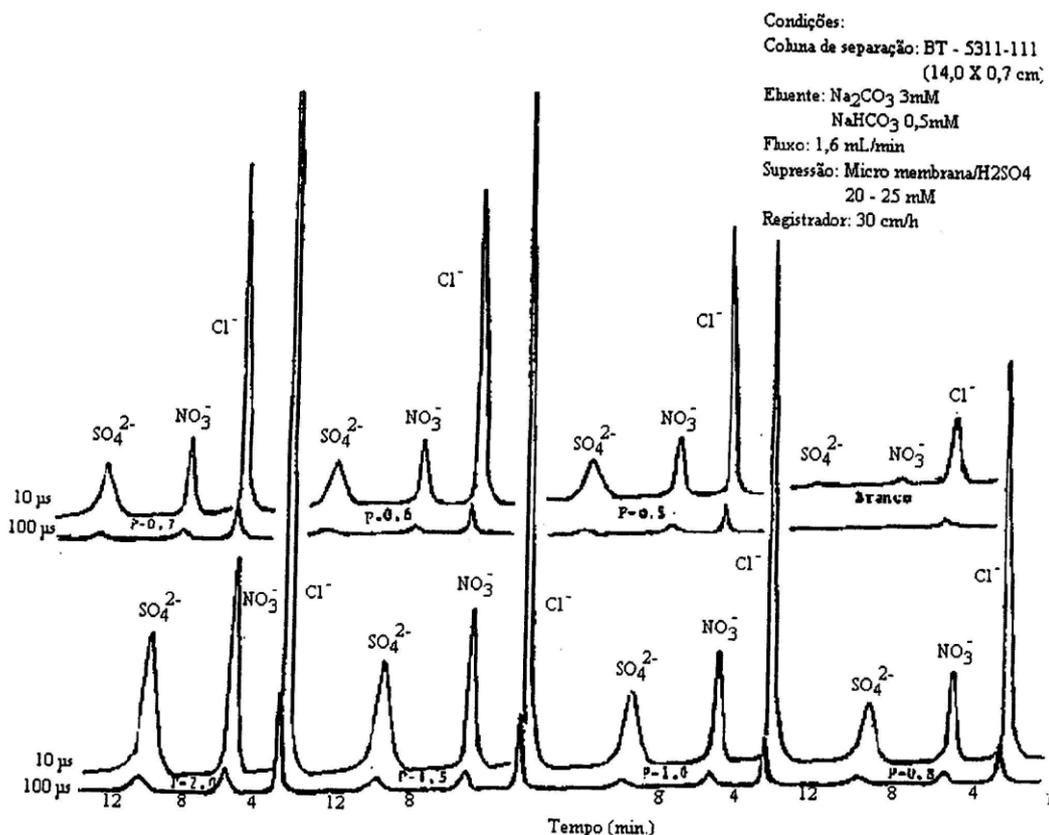


Figura 3.15 – Cromatograma Típico da Análise de Íons Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} em soluções padrões de calibração

(Eluente: 3 mM de (Na_2CO_3), carbonato de sódio + 0,5 mM de (NaHCO_3), bicarbonato de sódio. Fluxo: 1,3 mL/min)

3.6.1 – Técnica de Análise do Sódio

Além da análise dos íons pelo cromatógrafo, foi necessário também determinar quantitativamente o teor de sódio nas amostras, de forma a poder distinguir entre o sulfato originado do spray marinho e o de outras fontes.

A determinação do íon sódio foi feita por fotometria de chama. Utilizou-se um fotômetro de chama marca Micronal, modelo B262, mostrado na Figura 3.16, calibrado com soluções padrões preparadas a partir de solução estoque de 1000 ppm de Na^+ . Estas determinações foram realizadas no Instituto de Ciências da Saúde (ICS) da UFBA, localizado no Campus do Canela.



Figura 3.16 – Fotômetro de Chama em operação

Capítulo 4 - Resultados dos Ensaio

4.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises de caracterização dos materiais constituintes das argamassas utilizadas neste trabalho. São fornecidos dados sobre as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos três traços de argamassa, utilizadas para a confecção dos corpos-de-prova posteriormente expostos nas estações de monitoramento. Apresenta-se também os resultados para a qualificação e quantificação dos sais provenientes do aerossol marinho depositados no sensor de vela úmida e calcula-se a taxa de deposição destes sais nos corpos-de-prova expostos nas estações durante o período amostral de cinco meses.

4.2 – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para avaliar o potencial de agressividade dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento usadas na Região Metropolitana de Salvador, um dos objetivos deste trabalho, considerou-se que o primeiro passo deveria ser a caracterização dos constituintes das mesmas. A seguir apresentam-se as propriedades básicas de cada material constituinte, de acordo com os procedimentos de ensaio contidos nas normas técnicas pertinentes da ABNT.

4.2.1 - Caracterização do Cimento Portland

Um cimento Portland CP II F-32 foi utilizado como aglomerante hidráulico para a confecção das argamassas utilizadas nesta pesquisa. As características físicas do mesmo estão apresentadas na Tabela 4.1. Na Tabela 4.2 apresentam-se os resultados dos ensaios de caracterização mecânica do aglomerante hidráulico, sob a forma da resistência à compressão axial, conforme norma NBR-7215.

Tabela 4.1 - Características do aglomerante determinadas no CETA/UFBA

Discriminação	Massa específica kg/dm ³	Finura		Tempo de pega(min)		Expansibilidade (mm)	
		% retida 0,074mm	Blaine (m ² /kg)	Início	Fim	A Quente	A Frio
Resultado	3,10	2,3	354	130	190	0,0	0,0
Método	NBR6474	NBR11579		NBR11581		NBR11582	
Limite especificado	-----	≤ 12,0	≥ 260	≥ 60	≤ 600	≤ 5	-----

Tabela 4.2 - Características mecânicas do aglomerante hidráulico utilizado na pesquisa

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
Número	Idade (dias)		
	3	7	28
01	29,4	31,7	40,5
02	27,5	31,7	40,1
03	26,3	33,6	39,7
04	23,3	30,6	37,8
Media	27,7	31,9	39,5
Desvio máximo	6,0	5,3	4,3
Limite especificado	10,0	20,0	32,0

Metodologia NBR- 7215

4.2.2 - Caracterização da Areia

A areia quartzosa utilizada foi procedente da jazida Otomar, localizada na Região Metropolitana de Salvador. A mesma foi empregada como agregado miúdo e apresentava as características físicas conforme mostrado na Tabela 4.3

Tabela 4.3 - Caracterização da areia

Discriminação	Valor	NORMA (NBR)
Dimensão Máxima (mm)	1,2	7217
Módulo de Finura	1,55	7217
Impurezas Orgânicas	Mais claro	7220
Material Pulverulento	1,99	7219
Massa Específica (kg/dm ³)	2,63	9776
Torrões de Argila (%)	Isenta	7218
Massa Unitária (kg/dm ³)	1,52	7251
Coefficiente de inchamento médio	1,39	6467

4.2.3 - Caracterização do Arenoso

O arenoso, utilizado como adição na confecção dos traços das argamassas, como discutido em 3.2, apresentou as características físicas mostradas na Tabela 4.4, segundo análises feitas no CETA/UFBA.

Tabela 4.4- Características do argilomineral – Arenoso

Discriminação	Valor	NORMA (NBR)
Dimensão Máxima (mm)	2,4	7217
Módulo de Finura	1,65	7217
Impurezas Orgânicas	-----	7220
Material Pulverulento (%)	25,2	7219
Massa Específica (kg/dm ³)	2,59	9776
Massa Unitária (kg/dm ³)	1,17	7251
Coefficiente de inchamento médio	1,242	6467

4.2.4 - Caracterização das Argamassas

Os materiais caracterizados nos itens anteriores foram empregados na confecção de três traços das argamassas de revestimento, com consumo de cimento e resistência variáveis, como discutido no capítulo 3. Os mesmos foram depois submetidos a ensaios de caracterização no estado fresco e endurecido, como já foi relatado. Os resultados obtidos são discutidos a seguir.

- ***Caracterização das Argamassas no Estado Fresco***

Com as argamassas no estado fresco foram executados ensaios de consistência, retenção de água, massa específica e teor de ar incorporado, utilizando as normas brasileiras pertinentes.

A Figura 4.1 apresenta os equipamentos utilizados nos ensaios referidos acima. Podem ser vistas na mesma a mesa de consistência (flow table) e os moldes utilizados para confecção dos cps empregados nos ensaios de retenção de água e massa específica prática, nos quais se verifica a coesão e homogeneidade da massa da argamassa. Todos estes ensaios foram realizados durante a etapa de moldagem dos corpos-de-prova.

Na Tabela 4.5 apresentam-se as características dos traços das argamassas A, B e C, obtidos no estado fresco. Examinando os dados da tabela, verifica-se que os resultados nesta etapa ficaram dentro dos parâmetros estabelecidos em norma e que foram adotados na presente pesquisa, confirmando que o processo de dosagem das argamassas foi bem sucedido.



Figura 4.1 - Detalhe dos equipamentos utilizados na realização de ensaios de consistência, massa específica prática e retenção de água.

Tabela 4.5 - Características das argamassas no estado fresco

T R A Ç O	AR INCORPORADO (%) NBR 13278	CONSISTÊNCIA (mm) NBR 13276	RETENÇÃO DE ÁGUA (%) NBR 13277	MASSA ESPECÍFICA PRÁTICA (kg/m ³)	CONSUMO DE CIMENTO kg/m ³
A	2,6	252	95,0	1,95	108
B	1,8	252	95,4	1,99	207
C	1,3	250	95,0	2,02	287

- ***Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido***

As argamassas utilizadas foram caracterizadas, no estado endurecido, através de ensaios de massa específica, de resistência mecânica (compressão simples e diametral) e de penetração de fluidos (absorção de água por imersão, por imersão e fervura e por capilaridade). As amostras foram ensaiadas aos 7 e 28 dias, para cada traço de argamassa estudado, o que representava o final do período de cura estabelecido para as mesmas.

Os resultados obtidos nestes ensaios estão apresentados na Tabela 4.6. Como se pode observar, o traço C apresentou maior resistência mecânica e à penetração de fluidos, como era de se esperar.

Tabela 4.6 - Resultados dos ensaios em cps de argamassa no estado endurecido

TRAÇOS	MASSA ESPECÍFICA (kg/dm ³)			ÍNDICE DE VAZIOS (%)		ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)		RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL (MPa)		RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DIAMETRAL (MPa)	
	Seca	Saturada	Real	Imersão	Fervura	Imersão	Fervura	7d	28d	7d	28d
	A	1,64	1,97	2,6	32,4	37,0	20,0	22,3	1,0	1,1	0,17
B	1,69	2,02	2,5	31,9	33,1	19,1	19,5	4,0	6,0	0,65	0,75
C	1,72	2,03	2,5	30,4	30,8	17,6	17,9	7,7	11,5	1,45	1,58

As Figuras 4.2, 4.3 e 4.4, apresentadas a seguir, mostram os resultados dos ensaios de capilaridade e de absorção de água realizados, para cada tipo de argamassa. Em cada uma delas, são mostrados os resultados dos quatro cps ensaiados para cada traço. São apresentados os ajustes de equações lineares realizados para cada cp, assim como o coeficiente médio de absorção por capilaridade (kg/m².min^{1/2}), calculado a partir do ajuste de uma equação linear ao conjunto dos dados obtidos para os quatro cps.

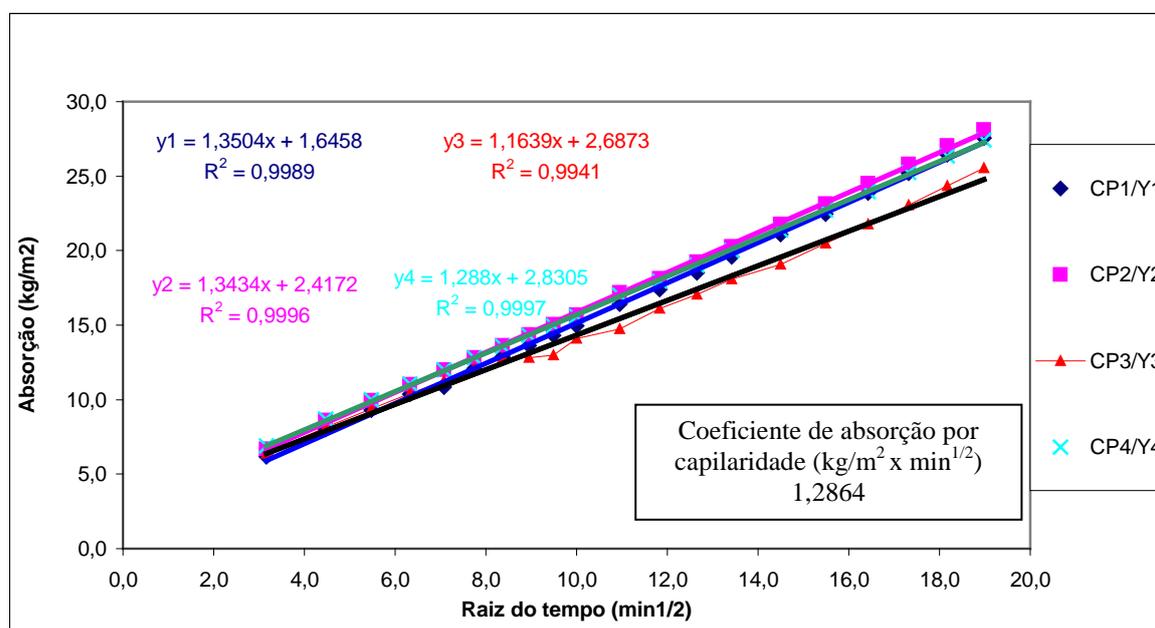


Figura 4.2 – Resultados dos ensaios de capilaridade do traço de argamassa “A”

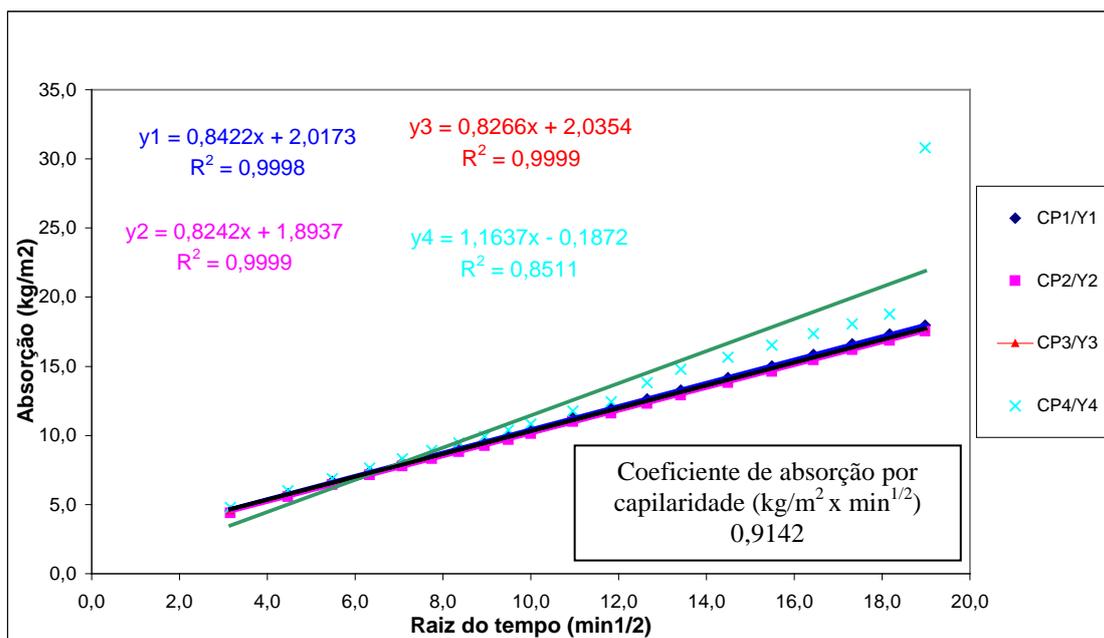


Figura 4.3 – Resultados dos ensaios de capilaridade do traço de argamassa “B”

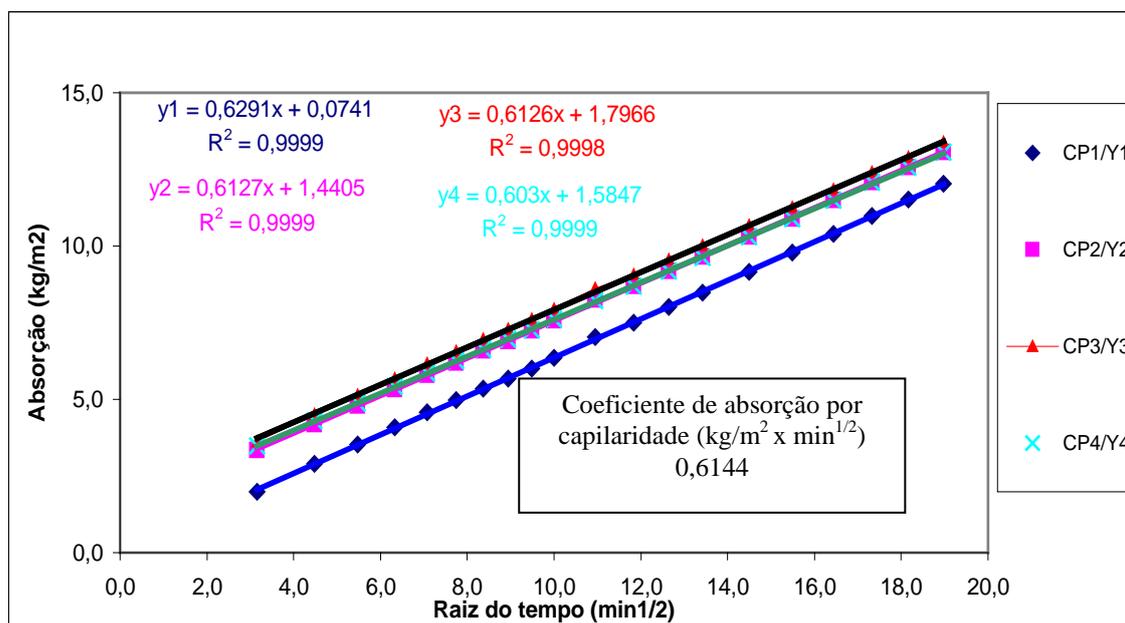


Figura 4.4 – Resultados dos ensaios de capilaridade do traço de argamassa “C”

4.3 - ANÁLISE DA DEPOSIÇÃO DOS SAIS – TÉCNICA ANALÍTICA

Para análise da deposição dos íons cloreto, sulfato e nitrato foi utilizada a metodologia analítica por cromatografia iônica.

Os ensaios foram realizados tanto nas amostras líquidas obtidas com o sensor de vela úmida quanto nas amostras de pó obtidas a partir dos corpos-de-prova de argamassa expostos nas estações de monitoramento.

4.3.1- Análise da deposição dos sais no sensor de vela úmida

Os teores de sais atmosféricos provenientes tanto do spray marinho (caso fundamentalmente dos cloretos e parte dos sulfatos) quanto de emissões antropogênicas (sulfatos e nitratos), que se depositaram sobre o sensor de vela úmida nos períodos de amostragem contínuo de cinco meses (entre os meses de agosto/2000 e janeiro/2001), estão apresentados nas Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9 a seguir.

Os resultados apresentados já estão deduzidos dos valores médios dos ensaios em branco da gaze e da rolha de borracha. Estes materiais foram determinados e analisados no início da pesquisa, durante a etapa de definição dos materiais que seriam utilizados na confecção do sensor de vela úmida.

Na maioria das estações, o procedimento de retirada e recolocação dos sensores era executado em um intervalo inferior a 3 horas. Entretanto, no caso da estação 6 - Arembepe, a distância para ir e voltar ao ponto de coleta, no município de Camaçari, e o local de análise (o LAQUAM, em Salvador), era de aproximadamente 90 km. Isto inviabilizou a utilização do procedimento padrão com um único sensor. Neste caso, decidiu-se programar a substituição do sensor durante todas as etapas de amostragens.

As coletas ou substituições das velas nas várias estações foram executadas de forma sincronizada, facilitando o trabalho de amostragem e racionalizando os gastos de tempo e combustível.

Na Tabela 4.7 são apresentados os resultados das deposições de cloreto nos vários períodos de coleta, a média destas deposições e o respectivo desvio padrão.

Tabela 4.7- Deposição seca de cloreto na vela úmida

Cl ⁻ (mg/m ² .d)												
Período/ Estação (metros)	15 a 22/08	22 a 29/08	29 a 05/09	05 a 12/09	12 a 26/09	26 a 10/10	10 a 31/10	31 a 30/11	30 a 21/12	21 a 23/01	Média	Desvio Padrão
1(71,6)	31,0	79,5	40,3	35,1	58,2	69,3	48,7	50,9	26,7	21,9	46,2	18,8
2(137,6)	12,9	14,6	8,19	9,38	14,6	7,32	8,95	7,86	2,88	6,01	9,3	3,8
3(143,4)	29,3	5,87	14,1	67,2	30,2	53,5	3,37	3,16	1,89	2,29	21,1	23,5
4(531,9)	5,48	4,86	4,76	7,67	3,75	3,76	3,43	3,07	3,49	2,12	4,2	1,5
5(787,7)	4,21	4,78	3,56	3,31	2,68	2,04	1,62	4,28	0,94	1,25	2,9	1,4
6 ¹ (1165,4)	3,11	3,34	2,71	6,13	2,17	1,88	1,16	1,57	1,07	3,02	2,6	1,5
7(2225,5)	6,08	5,20	5,10	5,19	5,21	4,58	4,79	4,09	3,12	2,76	4,6	1,0
8 ² (2645,0)	3,11	3,01	1,85	1,94	1,95	1,92	0,98	1,33	0,97	1,02	1,8	0,8
9(47047)	3,19	2,50	2,71	2,28	1,78	20,0	1,39	1,56	0,97	0,84	3,7	5,8

Na Tabela 4.8 são apresentados os resultados das deposições de sulfato total nos vários períodos de coleta, a média destas deposições e o respectivo desvio padrão.

Tabela 4.8- Deposição seca de sulfato total

SO ₄ ²⁻ (mg/m ² .d)												
Período/ Estação (metros)	15 a 22/08	22 a 29/08	29 a 05/09	05 a 12/09	12 a 26/09	26 a 10/10	10 a 31/10	31 a 30/11	30 a 21/12	21 a 23/01	Média	Desvio Padrão
1(71,6)	8,39	13,9	12,2	7,51	9,88	10,3	8,41	9,03	6,17	4,66	9,1	2,7
2(137,6)	4,12	2,19	3,95	3,95	3,75	3,08	3,15	2,89	1,98	1,90	3,1	0,8
3(143,4)	9,56	5,42	8,69	12,2	8,10	7,92	4,65	5,67	5,57	3,42	7,1	2,7
4(531,9)	5,68	3,00	4,74	5,14	3,75	3,45	3,45	4,85	5,42	2,40	4,2	1,1
5(787,7)	8,00	3,40	3,95	3,16	2,77	3,08	2,69	4,94	3,78	2,04	3,8	1,7
6 ³ (1165,4)	2,18	4,61	3,16	6,72	1,98	1,22	1,79	2,15	1,83	2,57	2,8	1,7
7(2225,5)	5,68	6,62	4,74	4,35	5,73	6,06	4,95	6,58	6,62	3,74	5,5	1,0
8 ⁴ (2645,0)	4,51	6,22	3,95	5,93	4,74	5,69	4,95	4,85	4,97	3,32	4,9	0,9
9(47047)	4,51	5,42	3,95	3,95	2,96	5,13	3,60	3,95	3,78	2,08	3,9	1,0

Na Tabela 4.9 são apresentados os resultados das deposições de nitrato total nos vários períodos de coleta, a média destas deposições e o respectivo desvio padrão.

Embora o nitrato não seja um íon de origem marinha e tenha um potencial agressivo menor que os demais, conforme já explicitado anteriormente, decidiu-se analisar estes dados devido ao fato destes íons estarem presentes na atmosfera das estações monitoradas e serem determinados automaticamente na cromatografia iônica juntamente com o cloreto e o sulfato.

¹ Município de Camaçari

² Município de Lauro de Freitas

³ Município de Camaçari

⁴ Município de Lauro de Freitas

Tabela 4.9- Deposição seca de nitrato na vela úmida

Período/ Estação (metros)	NO ₃ ⁻ (mg/m ² .d)										Média	Desvio Padrão
	15 a 22/08	22 a 29/08	29 a 05/09	05 a 12/09	12 a 26/09	26 a 10/10	10 a 31/10	31 a 30/11	30 a 21/12	21 a 23/01		
1(71,6)	2,01	1,54	2,17	1,66	0,83	0,92	0,89	0,99	0,59	1,26	1,3	0,5
2(137,6)	2,50	1,54	1,66	1,66	1,08	1,16	0,72	0,99	0,49	0,35	1,1	0,8
3(143,4)	3,00	1,54	1,66	2,17	1,34	1,64	0,89	1,17	0,77	0,52	1,5	0,7
4(531,9)	2,50	1,54	1,66	2,17	0,83	1,64	1,22	1,35	0,77	0,44	1,4	0,6
5(787,7)	2,01	1,04	2,17	1,66	1,08	0,92	2,57	1,08	0,41	1,10	1,4	0,7
6 ⁵ (1165,4)	2,01	4,54	1,66	1,66	1,60	1,16	0,55	1,35	0,77	0,40	1,6	1,2
7(2225,5)	2,01	2,04	2,17	1,66	0,83	0,92	0,72	0,64	0,77	0,35	1,2	0,7
8 ⁶ (2645,0)	6,96	2,04	2,17	1,66	1,08	0,92	0,72	1,17	0,59	0,77	1,8	1,9
9(47047)	2,01	1,54	1,66	1,66	1,08	1,16	0,89	0,72	0,59	0,48	1,2	0,5

Para melhorar comparar as taxas de deposição nas várias estações, apresenta-se, na Figura 4.5, um gráfico com a tendência de deposição dos sais do aerossol atmosférico na Região Metropolitana de Salvador, no período de agosto de 2000 (período chuvoso) a janeiro de 2001(período seco), medidos utilizando o sensor de vela úmida, em função da distância do mar para cada estação de amostragem.

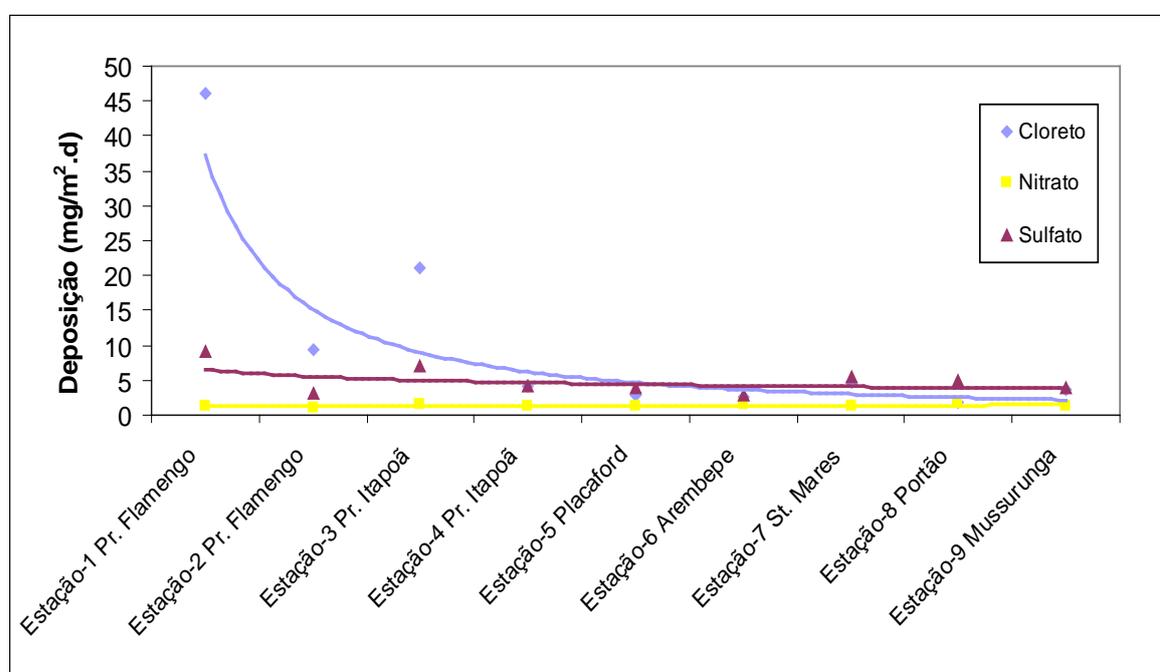


Figura 4.5 – Representação gráfica da tendência de deposição seca de íons Cl⁻, SO₄²⁻ e NO₃⁻ nas várias estações de monitoramento. (Dados referentes ao período de coleta compreendido entre os meses de agosto/2000 e janeiro/2001)

⁵ Município de Camaçari

⁶ Município de Lauro de Freitas

A Figura 4.6 apresenta as médias de deposição seca de cloreto, sulfato e nitrato em função das estações de monitoramento. Variações não esperadas na deposição média de cloretos, nas estações 2 e 7 principalmente, e de sulfatos, podem ser melhor visualizadas neste gráfico de barras. Analisando os dados apresentados no gráfico verifica-se que as deposições dos sais de cloreto na estação 1 (Praia do Flamengo), localizada a 72m da praia, na estação 2 (Praia do Flamengo), localizada a 138m da praia, e na estação 3 (Praia de Itapoã), localizada a 143m da praia, possuem os maiores valores de deposição seca de Cl^- , medidas nos sensores de vela úmida. Estas tendências serão discutidas no Capítulo 5.

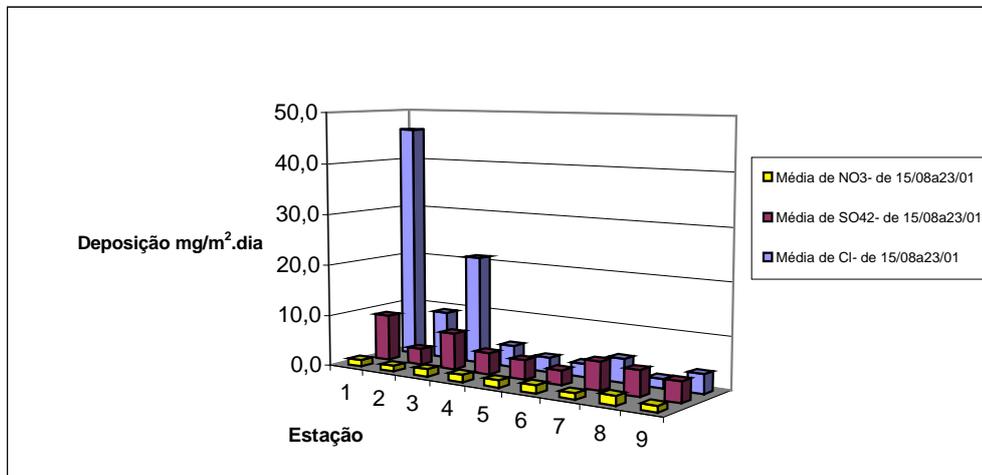


Figura 4.6 - Deposição de Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^- por estação

Na Figura 4.7 são apresentados os gráficos, em formato de pizza, referentes à deposição média de cloretos (Cl^-), nitratos (NO_3^-) e sulfatos (SO_4^{2-}) nas estações 1 (Praia do Flamengo), 4 (Praia de Itapoã) e 9 (Praia de Piatã), que se encontram, respectivamente, à menor distância (72m), à distância intermediária (532m) e à distância maior do mar (4705m), representando portanto o espectro de comportamento esperado nas 9 estações monitoradas na Região Metropolitana de Salvador.

Verifica-se, analisando a Figura, que os cloretos e sulfatos têm um comportamento, em termos quantitativos oposto entre si, ou seja, o teor de deposição de cloreto decresce e o de sulfato cresce com a distância do mar. Essa tendência de distribuição espacial apresentada por estes sais será discutida no Capítulo 5 desta dissertação.

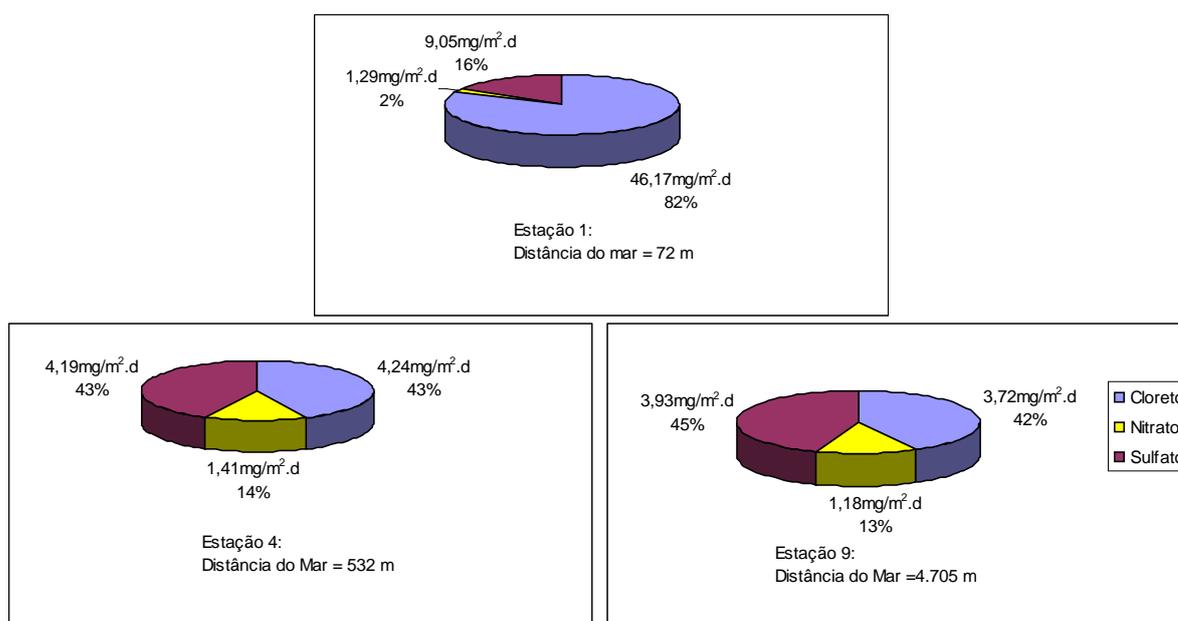


Figura 4.7 - Percentual médio de deposição seca de ânions em amostras coletadas via sensor de vela úmida nas estações 1, 4 e 9 (Dados referentes ao período de 15/08/2000 a 23/01/2001).

Tendo em vista que o sulfato determinado nos ensaios de cromatografia iônica era o sulfato total (originário tanto do spray marinho quanto de outras fontes), e considerando que a presente pesquisa visava determinar o potencial agressor do aerossol marinho, foi considerado necessário separar e estimar a parcela de íon sulfato originado do spray marinho. Para tanto foi necessário fazer a determinação da concentração de sódio (íon utilizado como traçador marinho) em todas as amostras de deposição obtidas a partir do sensor de vela úmida. Estas análises foram feitas por fotometria de chama e as equações utilizadas para cálculo da concentração do sulfato do spray marinho (SO_4^{2-} sm) foram as seguintes:

$$[SO_4^{2-}]_{nss} = ([SO_4^{2-}]_T - 0,06024 \times [Na^+]) \quad (7)$$

onde,

nss = “non sea salt” = não do sal marinho

$[SO_4^{2-}]_{nss}$ = concentração molar* de sulfato na amostra de deposição, não originado do spray marinho; (também chamada de concentração de SO_4^{2-} em excesso, $[SO_4^{2-}]_{exc}$)

$[Na^+]$ = concentração molar de sódio na amostra de deposição

$0,06024 = ([SO_4^{2-}]/[Na^+])_{\text{água do mar}}$ = razão molar entre concentrações de SO_4^{2-} e Na^+ na água do mar.

* As concentrações molares neste trabalho são dadas em $\mu\text{mol/L}$ ($\mu\text{mol/L} = (\mu\text{g/mL} \div \text{massa molecular}) \times 10^3$)
Exemplo: $0,77 \mu\text{g } SO_4^{2-}/\text{mL} = (0,77 \div 96) \times 10^3 = 8,02 \mu\text{mol/L}$

Os resultados dos cálculos da deposição de sulfato do spray marinho, e do sulfato em excesso, isto é, aquele proveniente de outras fontes, após a execução dos ensaios de fotometria de chama para determinação da concentração de sódio em cada amostra, estão apresentados na Tabela 4.10, mostrada a seguir. Os resultados estão organizados de forma a apresentar os dados nos vários períodos de coleta.

Tabela 4.10 – Concentração de sulfato do spray marinho e sulfato em excesso (SO_4^{2-} nss) amostrados via vela úmida nas estações de monitoramento

Período / Estação		SO_4^{2-} T ($\mu\text{g/mL}$)	SO_4^{2-} T ($\mu\text{mol/L}$)	Na^+ ($\mu\text{g/mL}$)	Na^+ ($\mu\text{mol/L}$)	SO_4^{2-} nss ($\mu\text{mol/L}$)	SO_4^{2-} nss ($\mu\text{g/mL}$)	SO_4^{2-} sm ($\mu\text{mol/L}$)	SO_4^{2-} sm ($\mu\text{g/mL}$)
Período de 15/08 a 22/08	E1	0,77	8,05	2,00	87,0	2,81	0,27	5,24	0,50
	E2	0,38	3,96	1,00	43,5	1,34	0,13	2,62	0,25
	E3	0,88	9,17	1,70	73,9	4,72	0,45	4,45	0,43
	E4	0,52	5,45	0,80	34,8	3,35	0,32	2,10	0,20
	E5	0,74	7,68	0,90	39,1	5,32	0,51	2,36	0,23
	E6	0,20	2,10	0,60	26,1	0,52	0,05	1,57	0,15
	E7	0,52	5,45	0,90	39,2	3,09	0,30	2,36	0,22
	E8	0,42	4,33	0,60	26,1	2,76	0,26	1,57	0,15
	E9	0,42	4,33	0,80	34,8	2,23	0,21	2,10	0,20
Período de 22/08 a 29/08	E1	1,28	13,3	4,20	182	2,31	0,22	11,0	1,06
	E2	0,20	2,10	1,30	56,5	-1,30	-0,12	3,41	0,33
	E3	0,50	5,20	0,70	30,4	3,36	0,32	1,83	0,18
	E4	0,28	2,88	0,60	26,1	1,30	0,13	1,57	0,15
	E5	0,31	3,26	0,70	30,5	1,43	0,14	1,83	0,18
	E6	0,42	4,42	0,70	30,5	2,60	0,25	1,83	0,18
	E7	0,61	6,36	0,80	34,8	4,26	0,41	2,10	0,20
	E8	0,57	5,97	0,80	34,8	3,87	0,37	2,10	0,20
	E9	0,50	5,20	0,50	21,8	3,89	0,37	1,31	0,12
Período de 29/08 a 05/09	E1	1,13	11,8	2,60	113	4,94	0,48	6,81	0,65
	E2	0,36	3,79	1,00	43,5	1,17	0,11	2,62	0,25
	E3	0,80	8,34	1,30	56,5	4,93	0,47	3,41	0,33
	E4	0,44	4,55	1,00	43,5	1,93	0,19	2,62	0,25
	E5	0,36	3,79	0,90	39,2	1,43	0,14	2,36	0,23
	E6	0,29	3,03	0,90	39,1	0,68	0,06	2,36	0,23
	E7	0,44	4,55	1,00	43,5	1,93	0,185	2,62	0,25
	E8	0,36	3,79	0,50	21,8	2,48	0,24	1,31	0,13
	E9	0,36	3,79	0,80	34,8	1,71	0,16	2,10	0,20

Tabela 4.10 – Concentração de sulfato do spray marinho e sulfato em excesso (SO_4^{2-} nss) amostrados via vela úmida nas estações de monitoramento (cont.)

Período de 05/09 a 12/09	E1	0,69	7,20	2,20	95,7	1,44	0,14	5,76	0,55
	E2	0,36	3,79	0,90	39,1	1,43	0,14	2,36	0,23
	E3	1,13	11,8	3,60	156	2,32	0,22	9,43	0,91
	E4	0,47	4,93	0,90	39,2	2,57	0,25	2,36	0,23
	E5	0,29	3,03	0,70	30,5	1,20	0,11	1,83	0,18
	E6	0,62	6,45	1,10	47,9	3,56	0,34	2,88	0,28
	E7	0,40	4,17	0,80	34,8	2,08	0,20	2,10	0,20
	E8	0,55	5,70	0,60	26,1	4,12	0,39	1,57	0,15
	E9	0,36	3,79	0,70	30,5	1,96	0,19	1,83	0,18
Período de 12/09 a 26/09	E1	1,82	19,0	5,80	252	3,76	0,36	15,2	1,46
	E2	0,69	7,20	1,90	82,6	2,23	0,21	5,00	0,48
	E3	1,49	15,5	3,30	143	6,90	0,66	8,65	0,83
	E4	0,69	7,20	0,90	39,2	4,85	0,47	2,36	0,23
	E5	0,51	5,31	0,50	21,7	3,99	0,38	1,31	0,13
	E6	0,36	3,79	0,50	21,8	2,48	0,24	1,31	0,13
	E7	1,06	11,0	0,90	39,1	8,64	0,83	2,36	0,23
	E8	0,87	9,10	0,50	21,7	7,79	0,75	1,31	0,13
	E9	0,55	5,68	0,50	21,8	4,38	0,42	1,31	0,13
Período de 26/09 a 10/10	E1	1,91	19,8	7,00	304	1,51	0,15	18,3	1,76
	E2	0,57	5,91	1,10	47,8	3,03	0,29	2,88	0,28
	E3	1,46	15,2	5,70	247	0,27	0,03	14,0	1,43
	E4	0,64	6,63	0,80	34,8	4,53	0,43	2,10	0,20
	E5	0,57	5,91	0,70	30,4	4,08	0,39	1,83	0,18
	E6	0,22	2,34	0,70	30,4	0,50	0,05	1,83	0,18
	E7	1,12	11,6	1,00	43,5	9,01	0,87	2,62	0,25
	E8	1,05	10,9	0,60	26,1	9,34	0,89	1,57	0,15
	E9	0,95	9,83	0,60	26,1	8,27	0,80	1,57	0,15
Período de 10/10 a 31/10	E1	2,33	24,2	7,40	321	4,82	0,463	19,389	1,863
	E2	0,87	9,06	1,80	78,3	4,34	0,42	4,72	0,45
	E3	1,29	13,4	1,00	43,5	10,8	1,03	2,62	0,25
	E4	0,95	9,92	1,00	43,5	7,30	0,70	2,62	0,25
	E5	0,75	7,76	0,80	34,8	5,66	0,54	2,10	0,20
	E6	0,50	5,16	0,70	30,5	3,33	0,32	1,83	0,18
	E7	1,37	14,3	1,10	47,8	11,4	1,09	2,88	0,28
	E8	1,37	14,3	0,70	30,5	12,4	1,19	1,83	0,18
	E9	0,99	10,4	0,70	30,5	8,52	0,82	1,83	0,18
Período de 31/10 a 30/11	E1	3,57	37,2	10,7	465	9,10	0,87	28,1	2,70
	E2	1,14	11,9	1,98	86,1	6,70	0,64	5,20	0,50
	E3	2,24	23,3	0,97	42,4	20,8	2,00	2,55	0,24
	E4	1,92	20,0	0,97	42,4	17,4	1,67	2,55	0,24
	E5	1,95	20,3	1,18	51,1	17,2	1,65	3,08	0,30
	E6	0,85	8,84	0,57	25,0	7,33	0,70	1,50	0,14
	E7	2,60	27,0	1,18	51,1	24,0	2,30	3,08	0,30
	E8	1,92	20,0	0,57	24,9	18,5	1,77	1,50	0,14

Tabela 4.10 – Concentração de sulfato do spray marinho e sulfato em excesso ($\text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}$) amostrados via vela úmida nas estações de monitoramento (cont.)

Período de 30/11 a 21/12	E1	1,71	17,8	4,29	186	6,53	0,63	11,2	1,08
	E2	0,55	5,70	0,87	38,0	3,41	0,33	2,29	0,22
	E3	1,54	16,0	0,57	25,0	14,5	1,40	1,50	0,14
	E4	1,50	15,6	0,87	38,0	13,3	1,30	2,29	0,22
	E5	1,04	10,9	0,47	20,6	9,63	0,92	1,24	0,12
	E6	0,51	5,27	0,47	20,6	4,03	0,39	1,24	0,12
	E7	1,83	19,1	0,77	33,7	17,0	1,64	2,03	0,19
	E8	1,38	14,3	0,47	20,6	13,1	1,26	1,24	0,12
	E9	1,04	10,9	0,47	20,6	9,63	0,93	1,24	0,12
Período de 21/12 a 23/01	E1	2,03	21,1	5,69	247	6,17	0,59	14,9	1,43
	E2	0,83	8,60	1,78	77,4	3,94	0,38	4,66	0,45
	E3	1,49	15,4	0,87	38,0	13,2	1,27	2,29	0,22
	E4	1,04	10,8	0,87	38,0	8,55	0,82	2,29	0,22
	E5	0,89	9,24	0,57	25,0	7,74	0,74	1,50	0,14
	E6	1,12	11,6	1,08	46,8	8,82	0,85	2,82	0,27
	E7	1,63	16,9	0,97	42,4	14,4	1,38	2,55	0,25
	E8	1,44	15,0	0,47	20,6	13,8	1,32	1,24	0,12
	E9	0,90	9,40	0,47	20,6	8,16	0,78	1,24	0,12

A Figura 4.8, a seguir, mostra uma representação gráfica do comportamento do sulfato $\text{SO}_4^{2-}_{\text{sm}}$ e $\text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}$ componentes do aerossol atmosférico local com a distância, em metros, do mar.

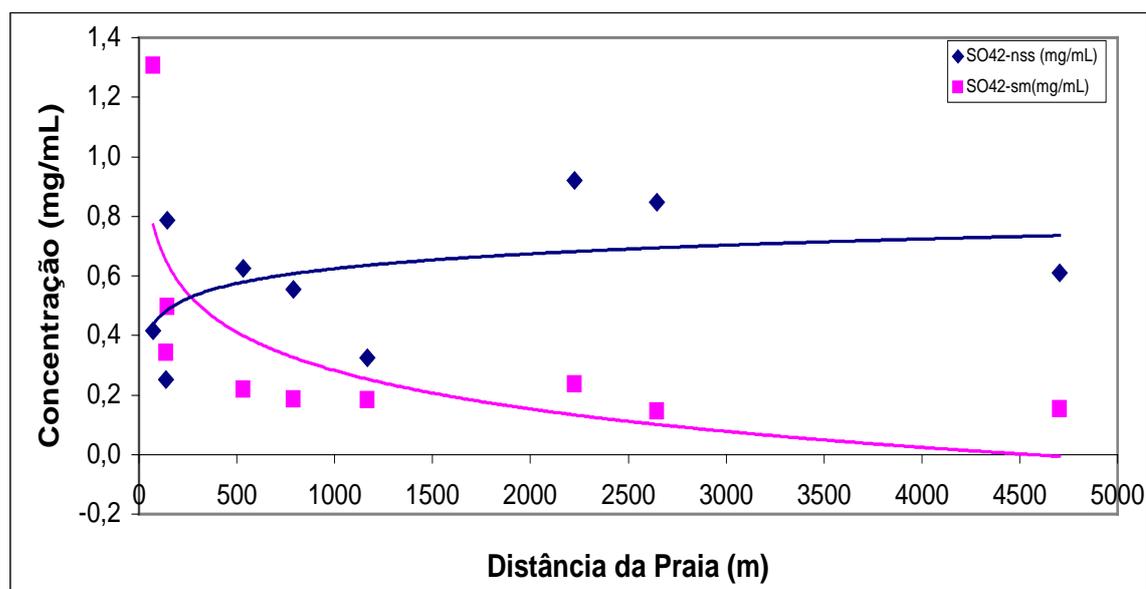


Figura 4.8 – Comportamento do sulfato do spray marinho e sulfato em excesso com a distância do mar (RMS, Agosto/2000- Janeiro/2001)

4.3.2- Análise da taxa de deposição seca dos sais nos cps de argamassa

Para complementar os dados de agressividade potencial foram realizados, além dos ensaios nas amostras retiradas dos sensores de vela úmida, ensaios em cps de argamassa expostos às mesmas condições. Para garantir a confiabilidade dos resultados foi investigado preliminarmente a presença de sais nos materiais utilizados na confecção das argamassas e no manuseio dos cps. A Tabela 4.11 apresenta os resultados das análises de brancos para cloretos e sulfatos realizadas em corpos-de-prova confeccionados com as argamassas de traços A, B e C, sem exposição ao ambiente marinho, tendo sido protegidos em sacos plásticos até a retirada de amostras.

Tabela 4.11 – Concentração de Cl^- e SO_4^{2-} medidas em diferentes posições de corpos-de-prova de argamassa dos vários traços, não expostos.

Valor de Branco [$\mu\text{g/g}$]						
Amostra	Traço A		Traço B		Traço C	
	Cl^-	SO_4^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}
1	18,8	172,6	21,6	250,4	27,7	375,1
2	17,8	156,3	20,7	287,2	28,7	364,9
3	15,4	182,9	22,1	285,2	27,3	367,0
4	21,1	168,6	23,5	313,8	26,8	377,2
5	21,1	203,3	23,5	223,8	25,8	362,9
Média	18,8	176,7	22,3	272,1	27,7	369,4
Desvio Padrão(s)	2,4	17,7	1,2	35,2	1,5	6,4
LD(*)	< 7,2	< 53,1	< 3,6	< 105,6	< 4,6	< 19,2

(*) Limite de Detecção = Quantidade mínima detectável = 3 x desvio padrão do branco

Como se pode observar na tabela acima, os cps continham, em média, aproximadamente 19, 22 e 28 $\mu\text{g Cl}^-/\text{g}$ e 177, 272 e 369 $\mu\text{g SO}_4^{2-}/\text{g}$. As concentrações relativamente altas de sulfatos originalmente nos corpos-de-prova (ensaios em branco) foi atribuída à presença de gesso (sulfato de cálcio hidratado) no cimento, provavelmente devido à sua adição ao clínquer⁸ durante a moagem do mesmo, visando regular a pega. Esta hipótese se confirma quando verifica-se que a quantidade de sulfato no branco é proporcional ao consumo de cimento, para cada traço analisado, como segue: *traço A, consumo de cimento de 108 kg/m³ (177 $\mu\text{g/g}$ de SO_4^{2-} no branco), traço B, consumo de cimento de 207kg/m³ (272 $\mu\text{g/g}$ de SO_4^{2-} no branco) e traço C, consumo de cimento de 287 kg/m³ (369 $\mu\text{g/g}$ de SO_4^{2-} no branco).*

⁸ clínquer-mistura de calcário e argila após processo de calcinação a uma temperatura média de 1300°C

A determinação do cloreto depositado nos corpos-de-prova de argamassas foi feita através da análise de amostras de pó obtidas através de perfurações nos cps, realizadas com furadeira de bancada e broca de vídia. As quantidades do pó foram retiradas de cada posição de perfuração e o pó coletado foi imediatamente armazenado em frascos de polietileno com capacidade de 20 g, conforme mostra a Figura 4.9.



Figura 4.9 – Armazenamento do pó para análise de cromatografia iônica.

Para visualização dos pontos amostrados nos corpos-de-prova apresenta-se, na Figura 4.10, um croquis esquemático, dos furos realizados para coleta de pós. As perfurações eram feitas com o equipamento apresentado no capítulo 3 Figura 3.12. A profundidade dos furos foi definida em função do comprimento útil da broca, ficando estipulada em 4 cm. As posições foram escolhidas pois representavam pontos próximos à face mais exposta (anterior), à face oposta (posterior) e ao centro, onde a penetração de íons devia ser menor, pois se dava apenas a partir do topo. Desta forma buscou-se verificar como a ação agressiva se exercia. Os teores de sais do aerossol atmosférico decorrentes do spray marinho que se depositaram sobre a superfície dos corpos-de-prova das argamassas, expostos durante cinco meses nas áreas das estações de amostragem, estão apresentados nas Tabelas 4.12 e 4.13. Foram subtraídos dos valores apresentados nas tabelas os valores médios de branco apresentados na Tabela 4.11.

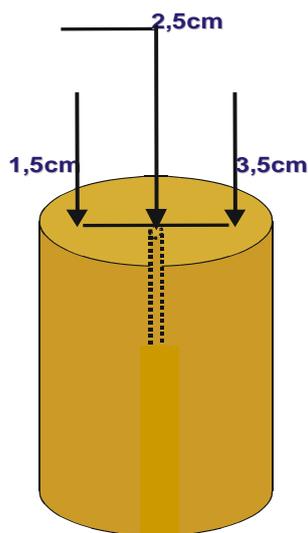


Figura 4.10 - Localização dos furos de amostragem do pó nos cps de argamassa

Tabela 4.12 – Faixas de concentração de cloreto depositado nos cps expostos nas 9 estações da Região Metropolitana de Salvador.

TRAÇO DA ARGAMASSA	IDADE (dias)	$\mu\text{g Cl/g}$ DEPOSITADO NO CP		
		POSIÇÃO NO CP (mm)		
		15	25	35
A	3	13-318	13-210	8-271
B	3	12-258	12-291	14-286
C	3	6-177	<4,6 ^(*) -135	6-243
A	28	<7,2 ^(*) -169	<7,2 ^(*) -242	<7,2 ^(*) -261
B	28	33-175	<3,6 ^(*) -102	13-134
C	28	<4,6 ^(*) -206	<4,6 ^(*) -160	<4,6 ^(*) -174

(*) Menor que o Limite de Detecção

Tabela 4.13 – Faixas de concentração de íons sulfato depositados nos cps expostos nas 9 estações da Região Metropolitana de Salvador

TRAÇO DA ARGAMASSA	IDADE (dias)	$\mu\text{g SO}_4^{2-}/\text{g}$ DEPOSITADO NO CP		
		POSIÇÃO NO CP (mm)		
		15	25	35
A	3	342-1227	285-958	227-1246
B	3	651-2401	612-1651	584-2093
C	3	477-1919	496-1611	707-2015
A	28	316-828	352-1359	<53,1 ^(*) -820
B	28	1288-1612	750-1793	581-1986
C	28	533-1177	133-1296	614-1328

(*) Menor que o Limite de Detecção

Nas Tabelas 4.14 e 4.15 apresentam-se os resultados das análises de concentrações de sais tipo cloreto e sulfato oriundos do aerossol atmosférico local, depositados ou transportados para o interior dos corpos-de-prova, nas idades de 3 e 28 dias. Foram abatidos os respectivos valores de branco determinados nas amostras não expostas.

Tabela 4.14 - Concentração de cloretos e sulfatos totais em diferentes posições nos cps de argamassa expostos após 3 dias de cura (em $\mu\text{g/g}$)

Estação / Traço da Argamassa	POSIÇÃO DAS EXTRAÇÕES DO PÓ NOS CORPOS-DE-PROVA					
	15mm		25mm		35mm	
	Cl-	SO ₄ ⁻²	Cl-	SO ₄ ⁻²	Cl-	SO ₄ ⁻²
1A	318	362	210	400	271	266
1B	258	1016	291	978	286	997
1C	177	727	135	727	243	784
2A	219	1227	205	958	214	1246
2B	230	2401	159	1651	244	2093
2C	121	1919	73	1611	158	2015
3A	134	400	73	708	92	342
3B	84	843	117	824	88	785
3C	78	477	40	496	59	765
4A	15	400	22	285	8	227
4B	12	757	17	920	14	584
4C	6	938	<4,6	611	6	707
5A	15	439	13	554	18	544
5B	24	747	17	776	45	709
5C	42	1073	28	698	37	755
6A	22	535	13	381	18	612
6B	21	949	12	612	28	930
6C	39	1130	<4,6	602	11	957
7A	36	727	39	717	22	487
7B	35	1132	28	987	35	1026
7C	68	1323	21	1323	61	1380
8A	18	342	41	458	18	458
8B	17	651	19	882	19	862
8C	21	1044	6	1159	51	1313
9A	13	352	13	535	10	525
9B	24	949	33	1045	26	997
9C	21	1025	<4,6	573	35	1034

Tabela 4.15 - Concentração de cloretos e sulfatos totais em diferentes posições nos cps de argamassa expostos após 28 dias de cura (em µg/g)

Estação / Traço da Argamassa	POSIÇÃO DAS EXTRAÇÕES DO PÓ NOS CORPOS-DE-PROVA					
	15mm		25mm		35mm	
	Cl-	SO ₄ ⁻²	Cl-	SO ₄ ⁻²	Cl-	SO ₄ ⁻²
1A	169	416	242	658	261	511
1B	175	1532	102	1793	134	581
1C	206	970	160	914	174	1120
2A	74	640	128	678	74	<53,1
2B	75	1513	<3,6	824	102	1405
2C	33	1154	33	915	33	614
3A	33	641	37	696	19	471
3B	47	1347	29	750	34	1419
3C	24	728	6	635	5	782
4A	27	456	14	352	29	518
4B	33	1420	24	890	24	1425
4C	21	1053	28	133	5	755
5A	30	578	39	1359	34	493
5B	44	1288	8	978	44	1198
5C	19	533	12	636	28	690
6A	68	407	89	585	48	474
6B	63	1330	10	790	33	1181
6C	18	689	14	861	25	916
7A	46	316	41	354	32	493
7B	49	1396	6	1005	35	1536
7C	30	562	<4,6	764	73	812
8A	<7,2	828	23	753	43	661
8B	54	1377	47	1134	63	1986
8C	39	700	210	1159	53	1081
9A	<7,2	698	<7,2	745	<7,2	820
9B	35	1612	26	1518	13	1892
9C	<4,6	1177	16	1296	<4,6	1328

Nas Figuras 4.11 e 4.12, mostradas a seguir, apresentam-se as concentrações de cloreto e sulfato total, determinadas nos corpos-de-prova expostos nas estações de monitoramento, em função da posição de retirada da amostra.

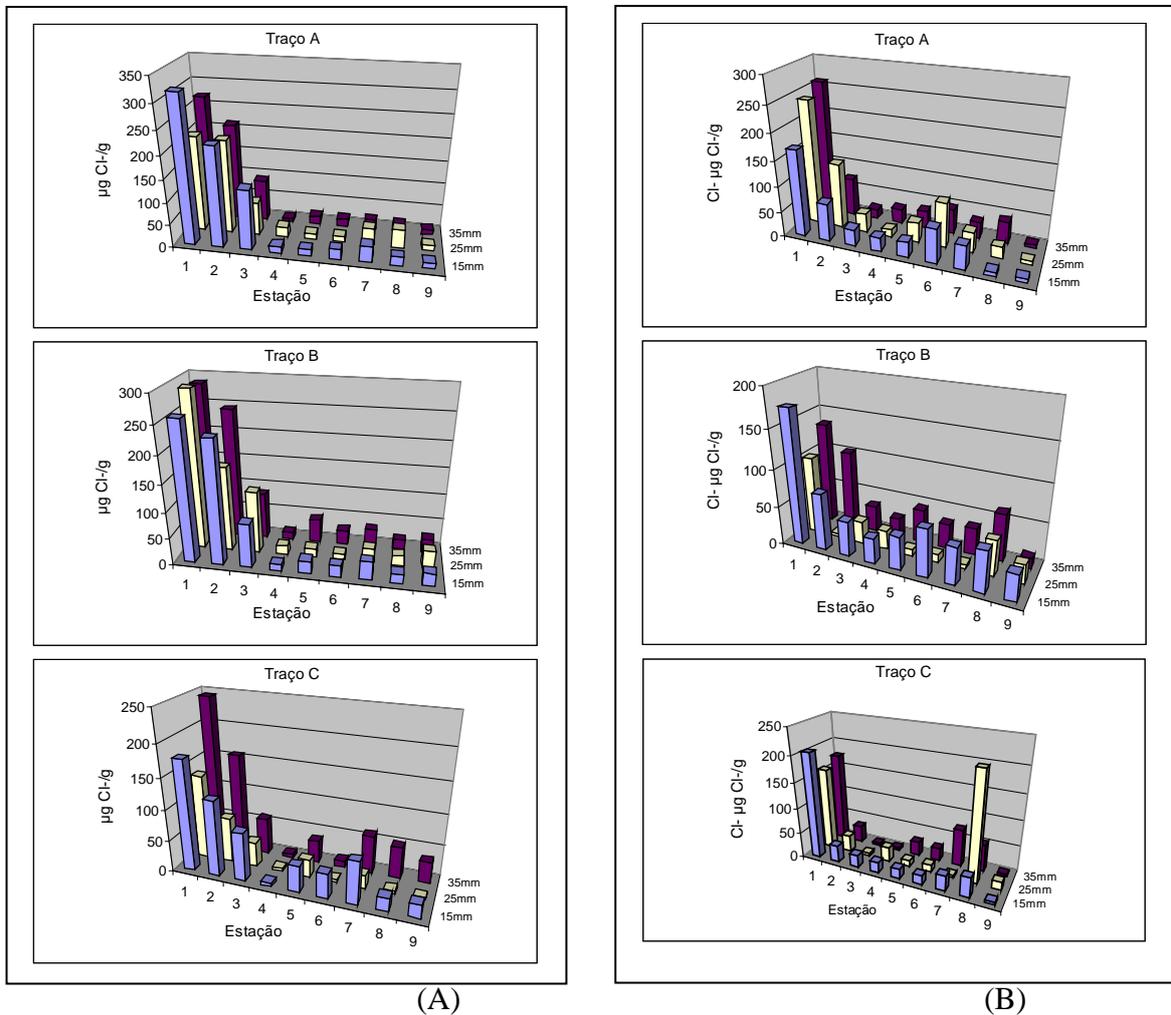


Figura 4.11 – Concentração de cloretos em diferentes posições medidas nos corpos-de-prova de argamassa moldados e expostos a (A) 3 dias e (B) 28 dias, durante 5 meses, nas estações de monitoramento

A Figura 4.12 apresenta as concentrações de sulfato total medidas nos corpos-de-prova de argamassa moldados e expostos a 3 e 28 dias nas estações de monitoramento, com relação à deposição e difusão dos sais de SO_4^{2-} dos traços A, B e C respectivamente.

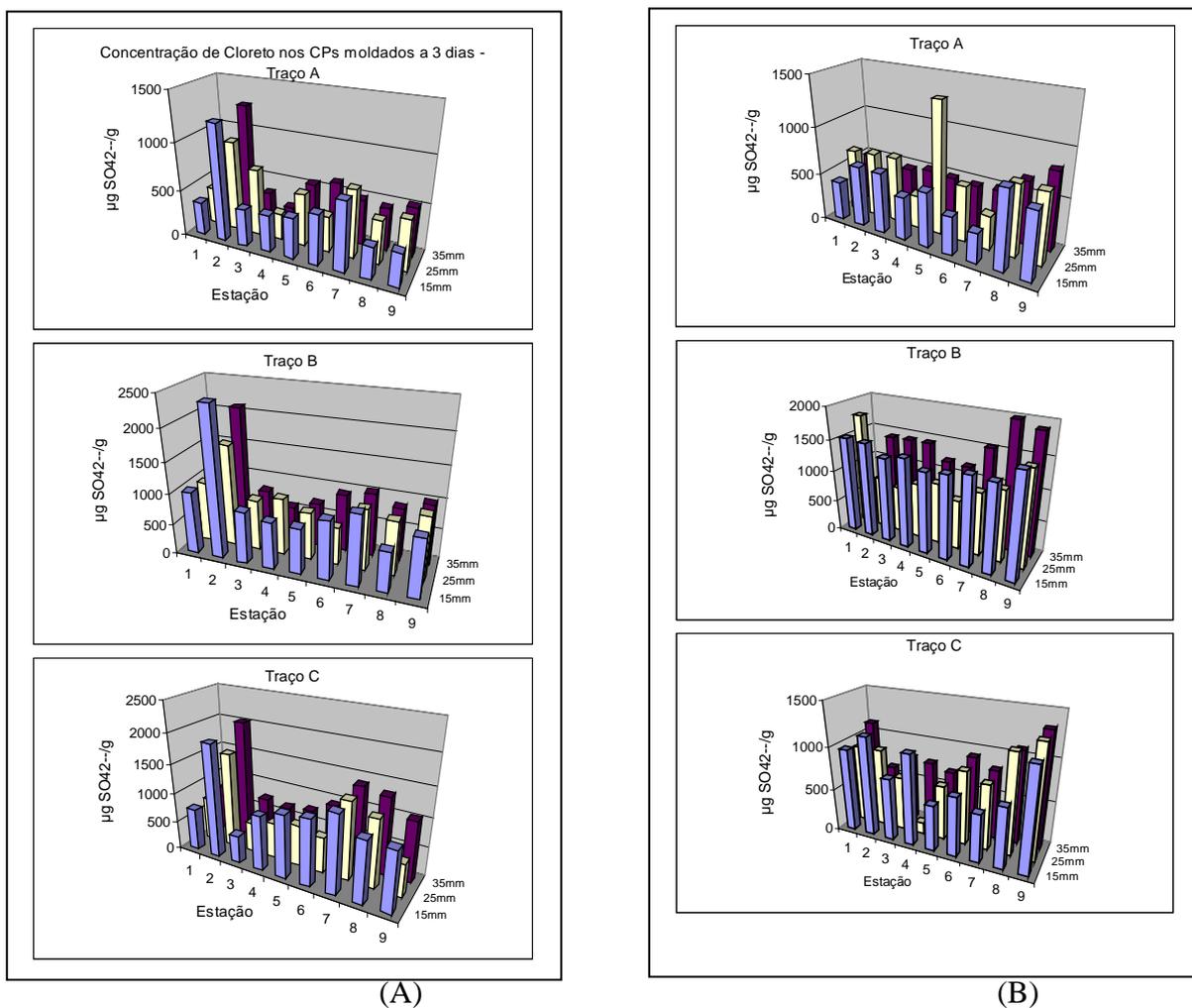


Figura 4.12 – Concentração de sulfatos totais em diferentes posições medidas nos corpos-de-prova de argamassa moldados e expostos a (A) 3 dias e (B) 28 dias, durante 5 meses, nas estações de monitoramento

Capítulo 5 - Análise dos Resultados

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Apesar de importantes, estudos sobre o comportamento das argamassas típicas utilizadas na região de Salvador, especialmente quanto à sua interação com o meio ambiente, são ainda bastante escassos. Diversos parâmetros técnicos que possibilitariam estabelecer critérios e especificações para o uso destes materiais vem sendo estudados. Trabalhos como o proposto nesta pesquisa possuem portanto um caráter inovador, pois espera-se que a análise de seus resultados permita estabelecer com maior clareza como se desenvolvem as relações de interação dos materiais de construção, no presente caso, argamassas de revestimento regionais, com o meio ambiente.

Como já foi anteriormente mencionado, por não se dispor de especificações normalizadas pela ABNT ou outra instituição normalizadora em nível nacional ou internacional, a avaliação da qualidade das argamassas contendo argilo-mineral (arenoso), estudadas neste trabalho, foi feita por métodos comparativos, o que é tecnicamente aceito em pesquisas e trabalhos técnico-científico, devido à escassez de parâmetros que possibilitem avaliar absolutamente o desempenho de argamassas convencionais (à base de cal), comparadas às não convencionais, principalmente aquelas que contém adições.

Como discutido no capítulo 1, este estudo visa avaliar a variação espacial do potencial de agressão do aerossol marinho na Região Metropolitana de Salvador e determinar a resistência potencial à ação degradante dos íons contidos neste aerossol de tipos variados de argamassa, utilizadas como revestimento em situações diferenciadas, tais como fachadas externas, fachadas internas e revestimentos ditos impermeáveis.

Três tipos de argamassa são normalmente reconhecidas por norma: industrializadas, inorgânicas e com cal. A norma NBR 13281 (ABNT, 1995) é normalmente empregada para

definir as especificações para as argamassas industrializadas, utilizadas para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos. Já a norma NBR 13749 (ABNT,1997) é utilizada para as argamassas inorgânicas utilizadas com o mesmos objetivos. Um dos principais parâmetros especificados para avaliar a adequação das argamassas à base de cal, utilizadas como revestimento, é a resistência de aderência à tração, como especifica a norma NBR 13528 (ABNT, 1995). As argamassas escolhidas e selecionadas para serem testadas nesta pesquisa pertencem a este último grupo, pelas razões discutidas no capítulo 3.

5.2 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

A seguir são discutidos os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais constituintes das argamassas utilizadas nesta pesquisa, apresentados no capítulo 4.

5.2.1 - Análise do Aglomerante

A análise dos resultados de caracterização do cimento Portland CP II 32 F, material constituinte das argamassas ensaiadas, foram realizados com base nas normas da ABNT.

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física e mecânica do cimento se encontram de acordo com as especificações da norma brasileira e indicam que o mesmo pode ser considerado adequado para o uso pretendido.

5.2.2 - Análise dos agregados

Como agregado foram utilizados areia e arenoso. A análise dos resultados quanto à caracterização de cada um deles é apresentada a seguir.

Caracterização da Areia

A areia empregada nos traços de argamassa é bastante usada nas edificações de Salvador e sua região metropolitana. Este material foi caracterizado como agregado miúdo e avaliado para uso em concreto e argamassa segundo a NBR 7211 da ABNT. Todos os resultados obtidos indicaram que o mesmo é adequado para uso em concreto e argamassa.

Caracterização do Arenoso

O arenoso, vindo de uma das jazidas mais exploradas atualmente no município de Salvador (jazida Schindler), foi caracterizado como uma adição mineral adequada para uso em argamassas. Este material foi caracterizado pelo Centro Tecnológico da Argamassa (CETA) da Universidade Federal da Bahia (UFBA) conforme descrito no capítulo 3. Os resultados destas determinações foram considerados satisfatórios e são compatíveis com os valores preconizados pelas especificações da ABNT, conforme apresentado no capítulo 4.

5.2.3 - Análise da Água

A água utilizada neste trabalho era completamente isenta de sais, pois passou por um processo de destilação e deionização que a livrou de eventuais impurezas prejudiciais ao concreto e às argamassas. A quantidade de água dos traços atendeu o índice de consistência previamente fixado.

Os critérios utilizados para a definição da consistência de referência, parâmetro responsável pela trabalhabilidade das argamassas, foram explicitados no item 3.1.4. O valor do índice de consistência estipulado foi de 250 ± 5 mm, valor que foi plenamente atendido durante os estudos experimentais de dosagem, conforme pode-se verificar examinando a Tabela 16, constante do capítulo 4.

5.3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Os traços das argamassas A, B e C, estabelecidos para este trabalho, apresentaram um comportamento, no estado fresco, compatível com as características pré-estabelecidas de consistência, retenção de água e ar incorporado. Durante todo o período de manuseio dos traços o material se comportou com homogeneidade e coesão, critérios fundamentais para o uso das argamassas em revestimentos na indústria da construção civil.

Os traços estipulados para o experimento apresentaram consumo variável de cimento por metro cúbico, tendo o traço mais pobre (A) um consumo de cimento de 108 kg/m^3 , o traço médio (B) um consumo de cimento de 207 kg/m^3 , e o traço mais rico (C) um consumo de cimento de 287 kg/m^3 .

Os comportamentos reológicos das argamassas confeccionadas com os traços A, B e C foram semelhantes em termos de consistência (um valor único foi adotado para todas as argamassas na etapa de dosagem) e no poder de retenção de água.

Este comportamento se justifica pelo fato da adição do argilomineral (arenoso) conferir uma maior plasticidade à mistura e acarretar uma redução da exsudação[⊕], que é a propriedade inversa do poder de retenção de água. Isto advém da existência de um elevado teor de finos, em relação à argila, no material arenoso, conforme já foi explicado por Oliveira (2000).

Verificou-se ainda que os traços A, B e C apresentaram porcentagem de ar aprisionado decrescente, ou seja, o traço de menor consumo de cimento (A), que tem um menor teor de partículas com dimensões inferiores a 0,075mm, é o que apresenta maior teor de ar aprisionado, implicando em um maior índice de vazios. Já o traço C apresenta o menor teor de ar aprisionado, o que se justifica por ser o traço de argamassa com menor relação a/c, o que eleva o teor de finos e causa a densificação da matriz, reduzindo o teor de vazios do material, o que colabora para o comportamento representado na Figura 5.1.

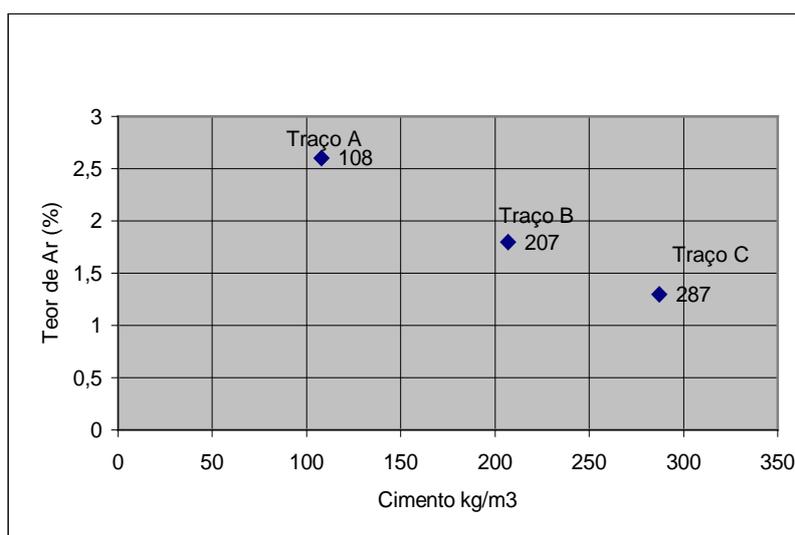


Figura 5.1 – Relação entre o consumo de cimento e teor de ar aprisionado dos traços de argamassa expostos nas estações de monitoramento

Com relação ao coeficiente de absorção por capilaridade (um indicador da permeabilidade e da presença de vazios nos corpos-de-prova) dos três traços das argamassas, verificou-se que o traço que apresentou maior coeficiente de absorção foi o traço “A”, considerado o mais permeável de todos os traços adotados nesta pesquisa. Este mesmo traço apresenta também um maior índice de vazios por imersão e por fervura, confirmando a característica de ser o traço de maior porosidade, conforme mostrado na Tabela 4.6.

[⊕] Fluxo de ascensão característico da água. (Scanduzzi, 1986)

Nos ensaios de coeficiente de absorção por capilaridade, o traço mais poroso foi o que apresentou maior coeficiente angular, com um valor aproximado de 1,29. Isto comprova que este é o traço com maior absorção de água (traço A).

O traço C teve um comportamento que caracteriza os traços menos permeáveis, apresentando o menor coeficiente angular, com um valor de aproximadamente (0,61), ou seja um coeficiente de absorção por capilaridade típico de um traço de baixa porosidade, comprovando com isso os resultados já apresentados de absorção por imersão e por fervura, além do ensaio de índice de vazios já analisado neste capítulo. Ainda, com relação ao coeficiente de absorção, o traço “C” também teve o melhor comportamento, apresentando o menor valor de índice de vazios após imersão e fervura.

Com referência às características físicas e mecânicas das argamassas estudadas, no estado endurecido, verificou-se que os corpos-de-prova de argamassa apresentaram uma evolução compatível com o aumento do consumo de cimento por metro cúbico, nas idades de 7 e 28 dias. Embora a resistência a compressão não seja um parâmetro técnico tão importante para se avaliar a qualidade da argamassa de revestimento, a mesma mantém uma relação indireta com a densidade do material e, conseqüentemente, está relacionada de alguma forma com a durabilidade. Como esperado, o traço de maior consumo (C) foi o que apresentou a maior resistência à compressão, enquanto a menor resistência à compressão foi a do Traço “A”. Na Figura 5.2, apresenta-se a evolução da resistência à compressão das argamassas de traços A, B e C, com relação as idades de 7 e 28 dias.

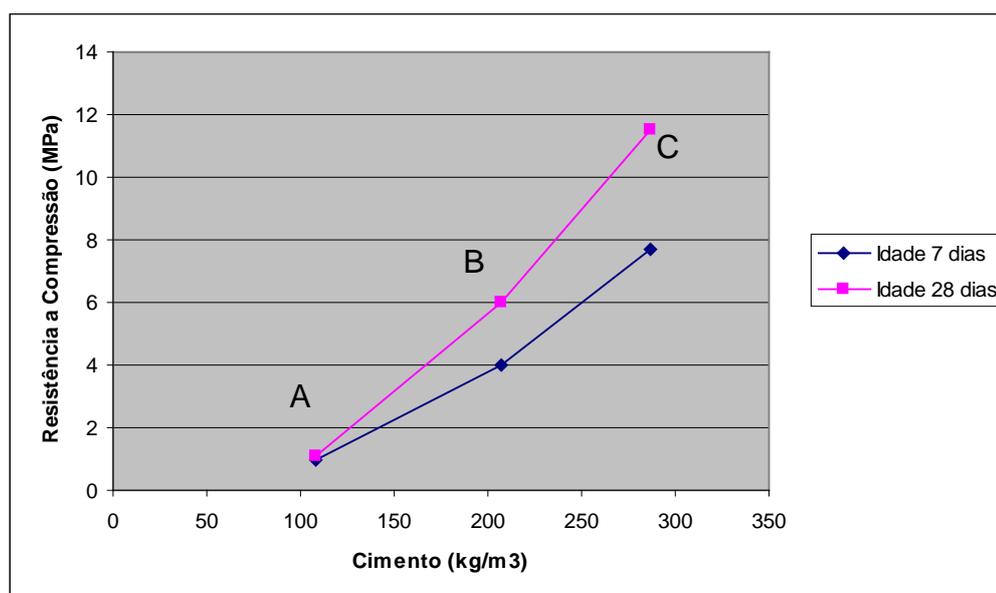


Figura 5.2 – Resistência à compressão das argamassas nas idades de 7 e 28 dias em função do consumo de cimento

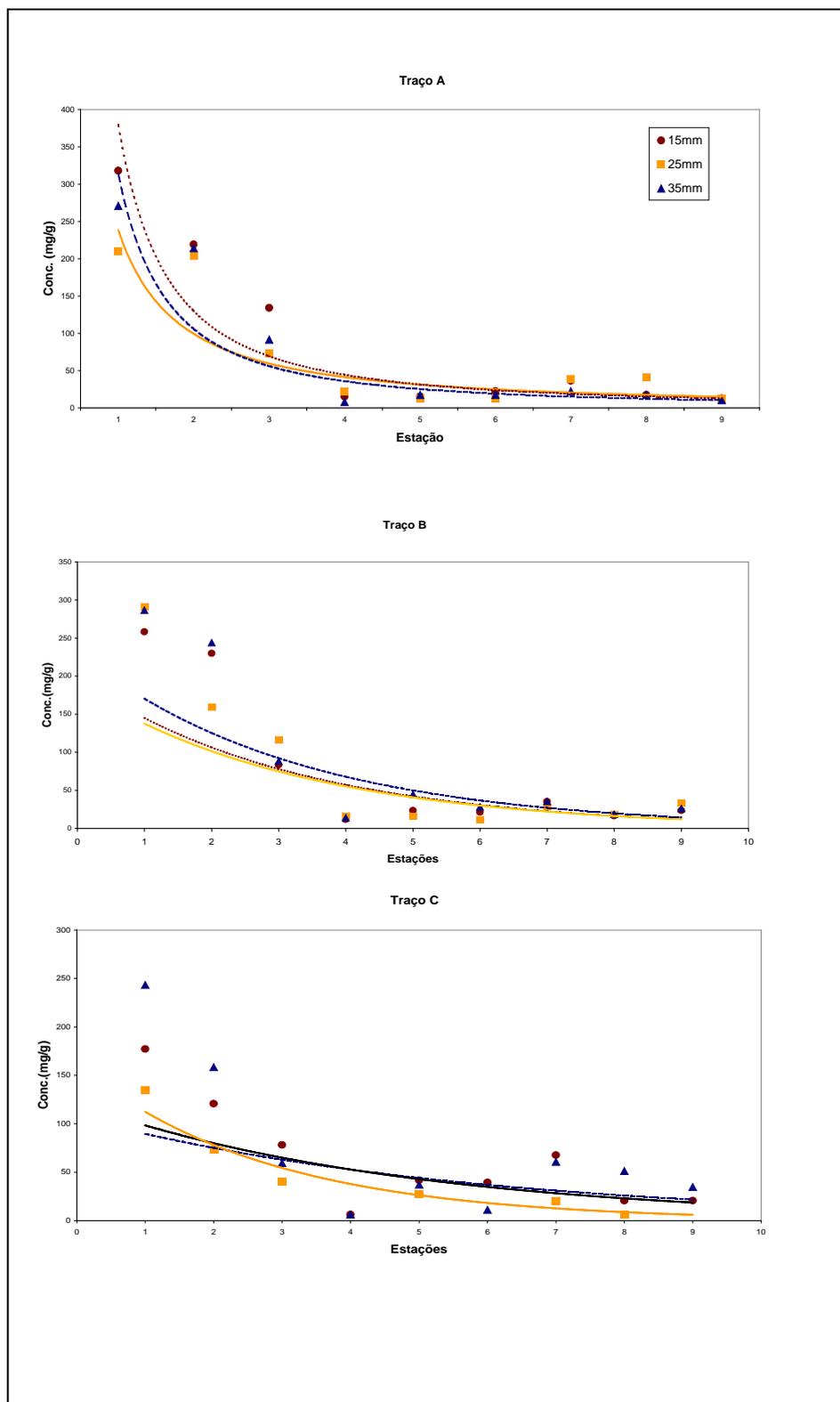
5.4 - ANÁLISE DA TAXA DE DEPOSIÇÃO DE SAIS NA VELA ÚMIDA E NOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSAS

O controle da deposição de sais provenientes do aerossol atmosférico foi realizada de forma contínua e sistemática. Como já foi apresentado nos capítulos 3 e 4, foi empregado um dispositivo de controle denominado sensor de vela úmida na monitoração das taxas de deposição. Os corpos-de-prova de argamassa, moldados com os traços A, B e C, foram mantidos em exposição contínua. As superfícies dos mesmos foram submetidas a condições semelhantes de deposição de sais àqueles da vela úmida. Os resultados coletados foram apresentados no capítulo anterior e a análise técnica destes valores é realizada a seguir.

O potencial de agressão foi tomado como a média da deposição seca na vela úmida e nos corpos-de-prova de argamassa expostos nas estações de monitoramento em função da distância do mar. Sabe-se que alguns fatores climáticos tipo velocidade e direção do vento e umidade relativa podem influenciar na taxa de deposição, fazendo com que a mesma varie ao longo do tempo. No entanto, dado o período limitado dos ensaios, decidiu-se trabalhar com a taxa de deposição média em cada período amostral e com o valor agregado para a duração total dos ensaios, que foi de cinco meses.

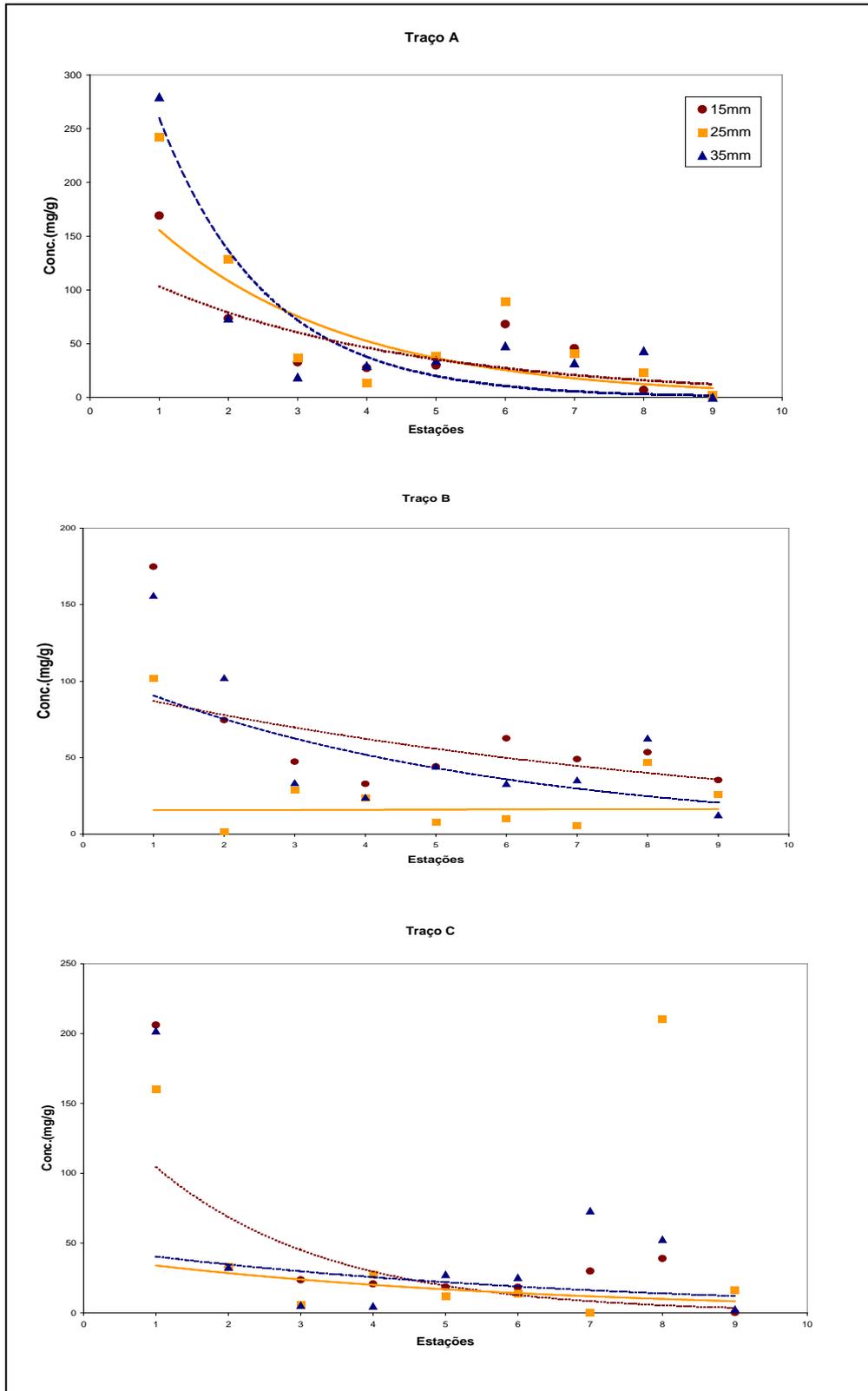
As Figuras 5.3 a e 5.3.b, construídas com base nos resultados das Tabelas 4.14 e 4.15, mostram que a tendência da deposição do cloreto nos corpos-de-prova foi , de forma geral, decrescente com relação à profundidade dos pontos analisados, isto é, a 15 mm houve mais deposição de cloreto, decrescendo a 25 e 35 mm. Comparando os gráficos das Figuras 5.10 a e 5.10 b verifica-se que a tendência de maior concentração de Cl^- ocorreram nos cps dos traços A e B, que são os traços mais porosos e permeáveis dos trabalhados neste experimento.

Focando a análise sobre o comportamento dos corpos-de-prova de argamassa dos traços B e C, expostos após um período de cura de 3 dias de sua moldagem, verifica-se uma redução dos níveis de concentração de cloretos ($\mu g/g$) do traço B para o traço C. Este comportamento se justifica em função do maior consumo de cimento no traço C e menor relação a/c, que se expressa numa menor porosidade, como já foi discutido. Isto, por sua vez, implica numa maior resistência à penetração de fluidos e, conseqüentemente, de íons em suspensão na atmosfera.



(a)

Figura 5.3a – Representação das linhas de tendência da concentração de clorets em corpos-de-prova expostos com 3 dias de moldados, por traço e por posição de extração (15, 25 e 35 mm)

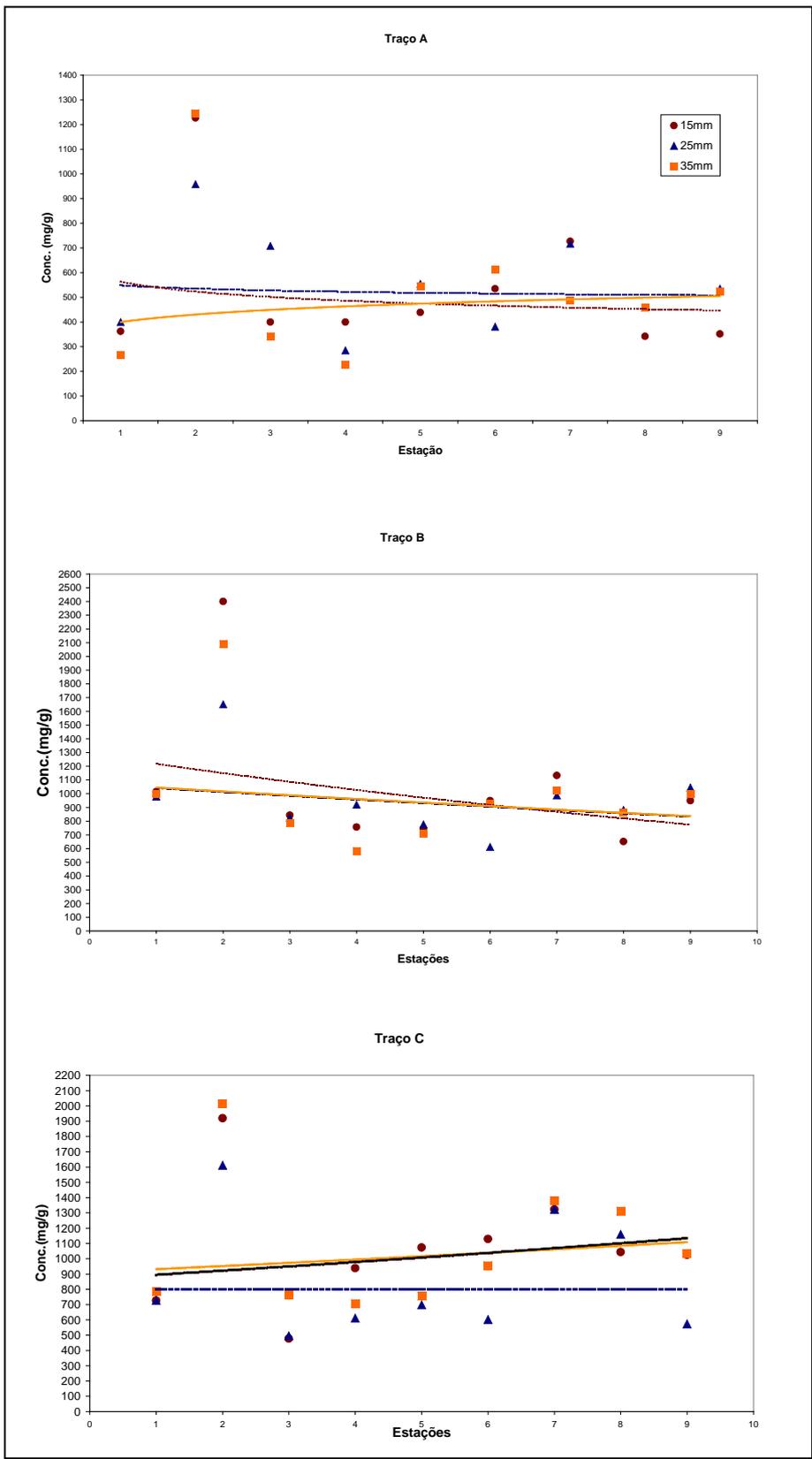


(b)

Figura 5.3b – Representação das linhas de tendência da concentração de cloretos em corpos-de-prova expostos com 28 dias de moldados, por traço e por posição de extração (15, 25 e 35 mm)

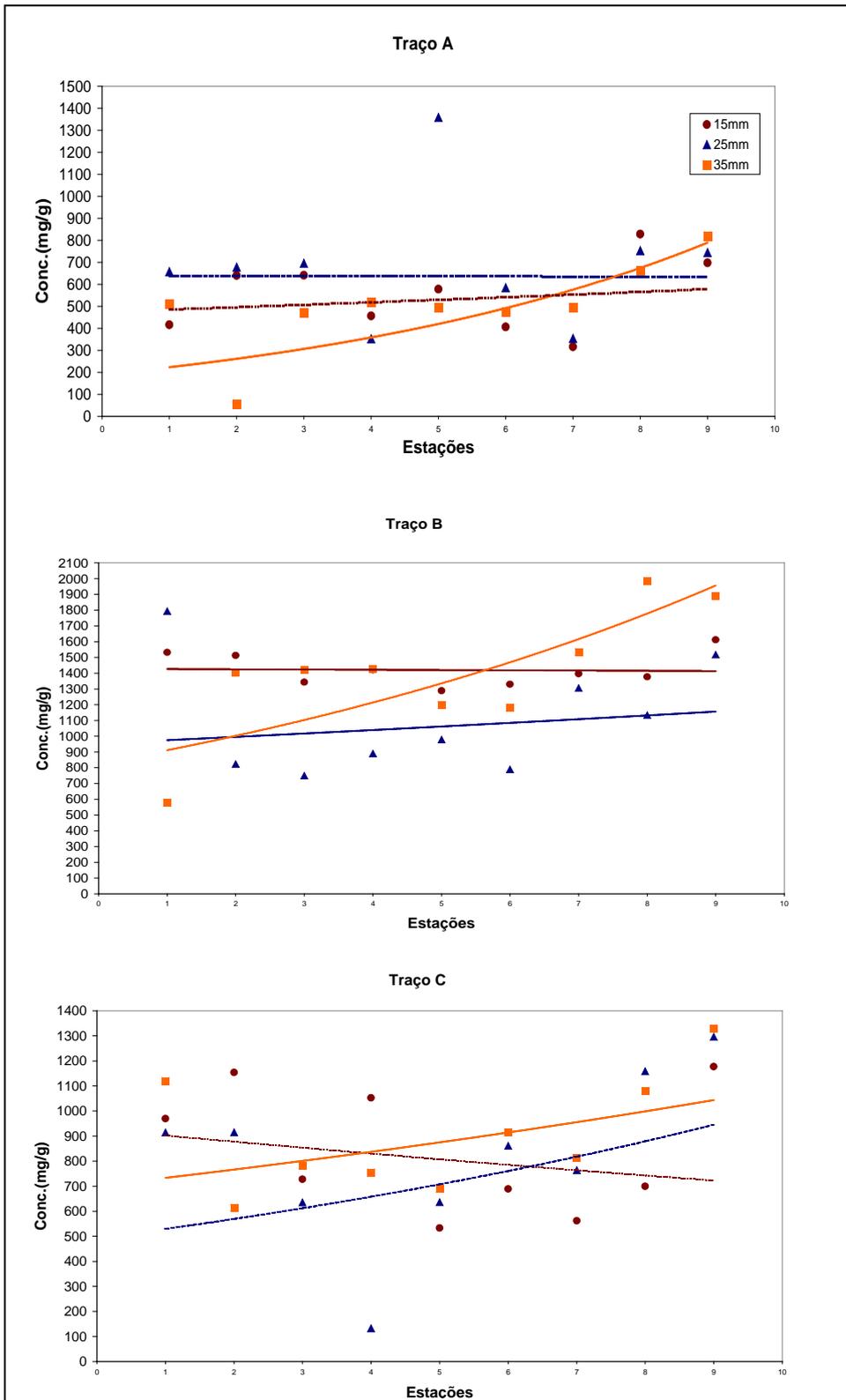
Nas Figuras 5.4a e 5.4b apresentam-se as linhas de tendência, em termos de concentração do sulfato, decorrentes da deposição e difusão destes íons nos cps de argamassa dos traços A, B e C, expostos nas estações de monitoramento após 3 e 28 dias de idade. Verifica-se uma certa dispersão dos resultados, não sendo possível identificar um padrão de comportamento tão claro quanto o apresentado pelos cloretos. Os resultados contudo permitem inferir que os valores de sulfato crescem do traço A para o traço C. Alguns fatores que poderiam justificar a dispersão de valores seriam as variações no consumo de cimento dos traços, as direções e velocidades do vento e a quantidade de íons sulfato gerados pela intensidade de tráfego de veículos diferentes e variadas em cada região, o que repercute na quantidade de partículas geradas e transportadas até a superfície dos materiais, justificando portanto alguns resultados atípicos.

Para análise dos resultados da influência da distância do mar, com relação a concentração de cloreto e sulfato foi feita uma análise estatística através do software estatístico ANOVA.



(a)

FIGURA 5.4a Representação das linhas de tendência da concentração de sulfatos em corpos-de-prova expostos com 3 dias de moldados, por traço e por posição de extração (15, 25 e 35 mm).



(b)

FIGURA 5.4b- Representação das linhas de tendência da concentração de sulfatos em corpos-de-prova expostos com 28 dias de moldados, por traço e por posição de extração (15, 25 e 35 mm)

Para verificar esta influência, foram analisados dados diários sobre a velocidade do vento na região em análise, coletados em intervalos de 1 hora, provenientes da estação meteorológica instalada na Central de Tratamentos de Efluentes de Camaçari - CETREL. A Tabela 5.1 apresenta as médias dos dados meteorológicos obtidos para os vários períodos de amostragem adotados para a vela úmida, durante os quais ocorreu a exposição dos corpos-de-prova de argamassa. Pode-se verificar, examinando os mesmos, que as médias são bastante estáveis, embora tenham ocorrido variações de velocidade entre 0,6 e 8,1 m/s no período de monitoramento deste trabalho. A faixa de variação de temperatura neste período foi de 18 a 31°C e a de umidade relativa do ar de 67 a 100%.

Tabela 5.1- Valores médios regionais da velocidade do vento (m/s), umidade relativa do ar (%) e temperatura (°C) no período de monitoramento

Período	15- 22/08	22- 29/08	29- 05/09	05- 12/09	12- 26/09	26- 10/10	10- 31/10	31- 30/11	30- 21/12	21- 23/01
Média da Velocidade do Vento (m/s)	2,58 ± 1,4	2,87 ± 1,6	3,03 ± 1,5	3,21 ± 1,4	3,07 ± 1,6	2,90 ± 1,8	3,05 ± 1,8	3,15 ± 1,7	3,43 ± 1,6	2,93 ± 1,7
Umidade Relativa do Ar (%)	89,9 ± 11	88,8 ± 13	85,2 ± 16	90,8 ± 10	85,7 ± 14	74,1 ± 17	79,2 ± 16	83,4 ± 17	81,5 ± 17	83,0 ± 16
Temperatura Média (°C)	22,4 ± 2,2	23,9 ± 2,7	24,1 ± 2,8	23,6 ± 1,7	24,2 ± 2,5	22,2 ± 3,1	24,5 ± 2,9	25,9 ± 2,9	25,6 ± 3,2	26,2 ± 3,0

A Figura 5.5 foi construída com o objetivo de analisar a influência da velocidade do vento na taxa de deposição de íons cloreto em uma das estações de amostragem. Como se pode observar, entretanto, esta influência não pôde ser observada de forma clara, visto que o parâmetro velocidade do vento apresentou uma certa constância durante o período de ensaio.

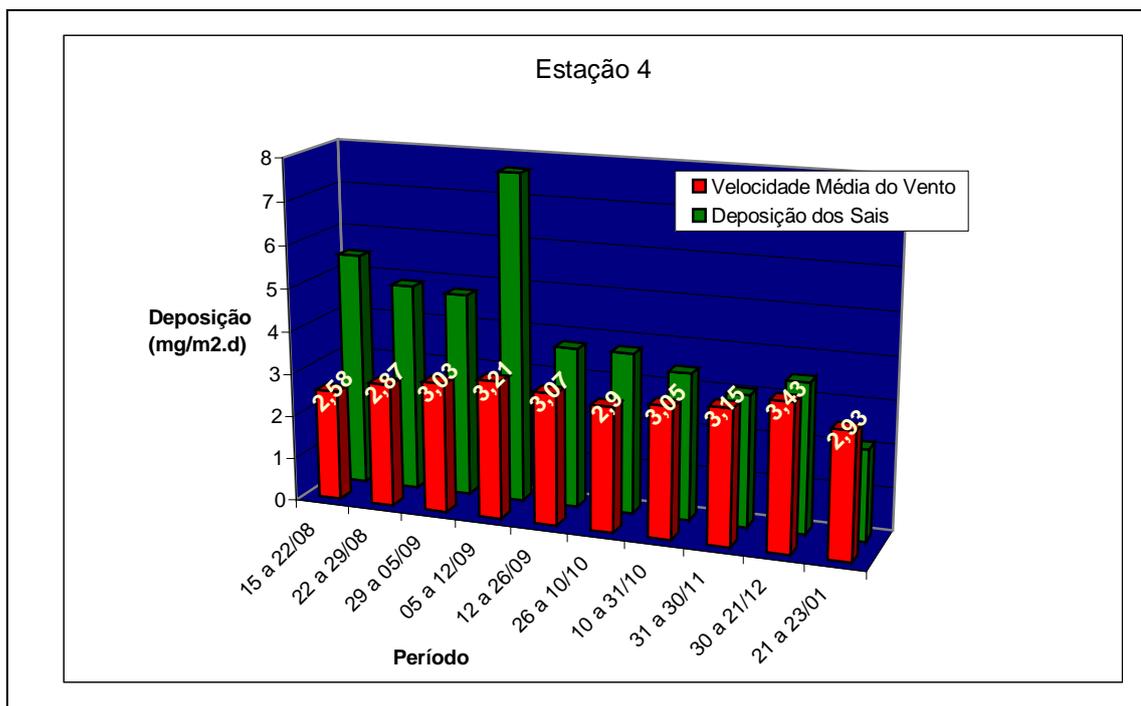


Figura 5.5 – Análise da influência da velocidade do vento na deposição de cloreto na estação 4 (localizada a 532m do mar)

5.4.1- Deposição de Sais na Vela Úmida

Os ensaios de cromatografia iônica utilizados para determinação qualitativa e quantitativa dos sais que se depositaram na vela úmida e nos corpos-de-prova de argamassa foram descritos nos itens 3.4, 3.5 e 3.6 e cujos resultados estão apresentados no Capítulo 4.

Os ânions determinados pela análise cromatográfica foram os cloretos, sulfatos e os nitratos. Os dois primeiros sais são característicos de ambientes marinho e podem ser considerados como os principais responsáveis pela agressividade do aerossol atmosférico sobre os materiais de construção, como discutido no capítulo 2. Isto é especialmente importante no caso das argamassas de revestimento e concreto armado aparente.

As avaliações quantitativas da deposição destes sais apresentaram uma tipologia de comportamento que indica uma certa dependência da taxa de deposição da distância do mar (local de emissão do spray marinho) às estações de monitoramento. Por exemplo, as taxas de deposição de cloreto apresentaram uma tendência decrescente à medida que as estações se afastavam do mar, sendo mais significativa e representativa as concentrações determinadas

através da vela úmida até uma distância de 500 metros do mar, o que representa aproximadamente três quadras distantes da linha do mar. (Figuras 5.6a; 5.6b; 5.6c e 5.6d).

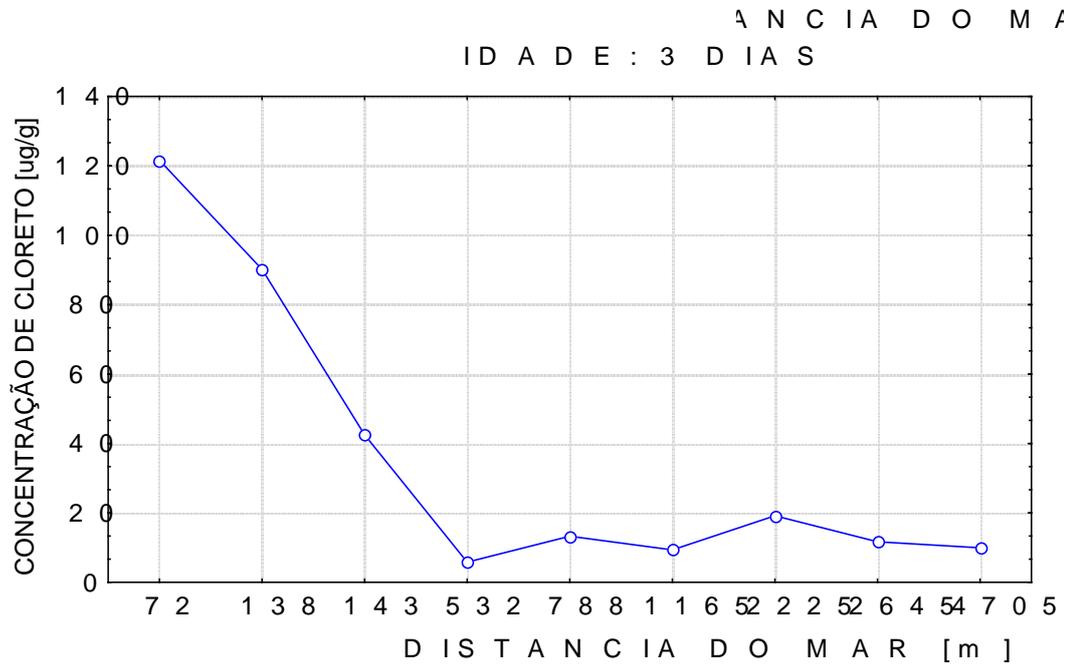


Figura 5.6a – Comportamento da distância do mar com relação ao cloreto

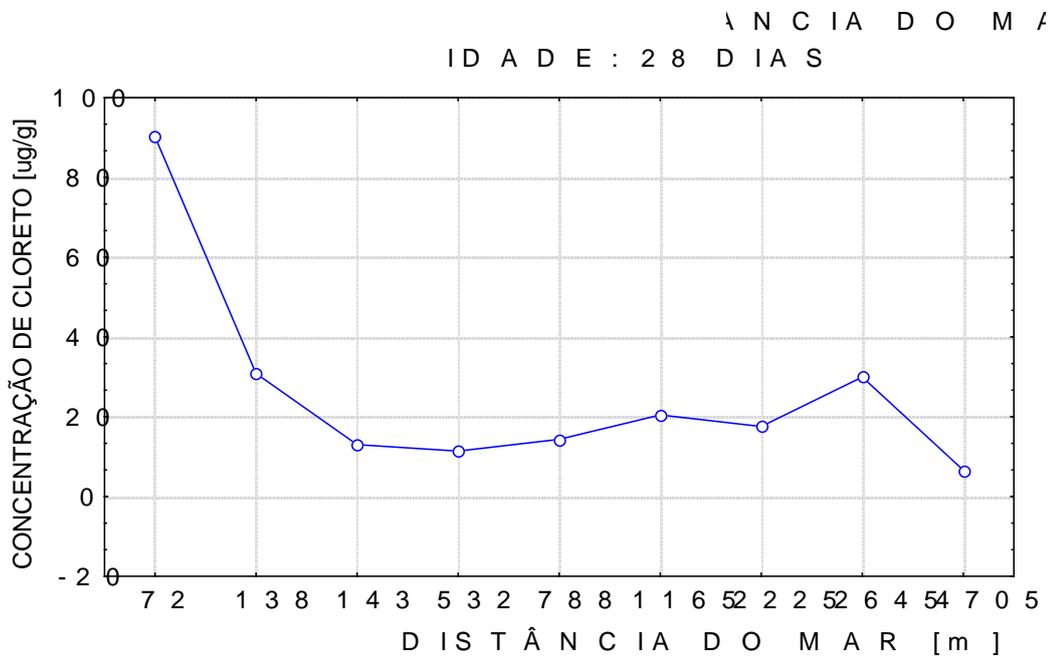


Figura 5.6b – Comportamento da distância do mar com relação ao cloreto

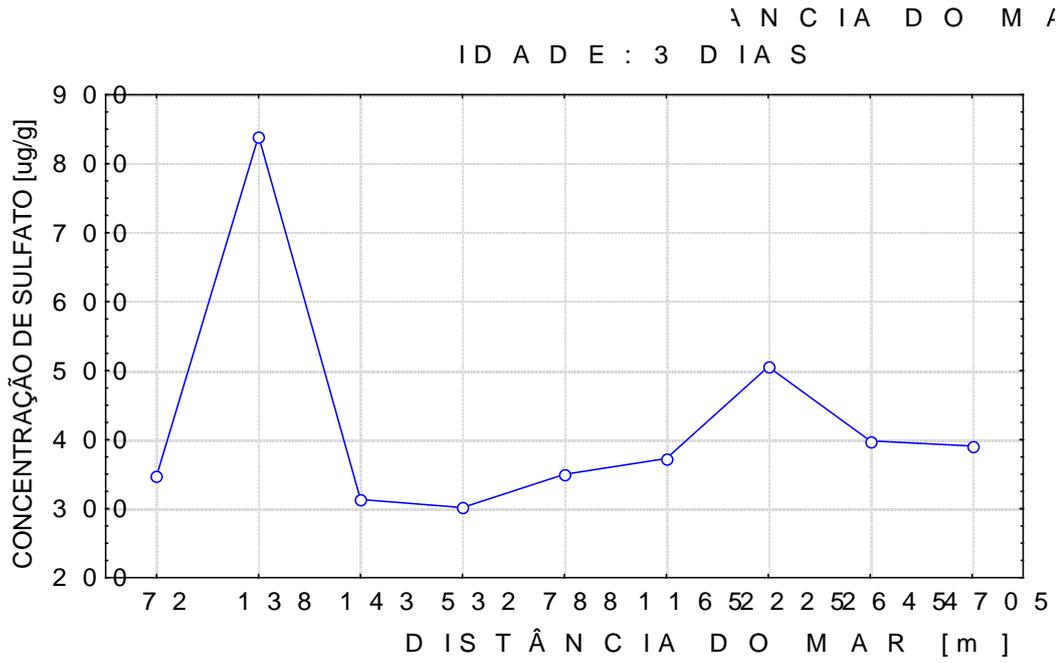


Figura 5.6c – Comportamento da distância do mar com relação ao sulfato

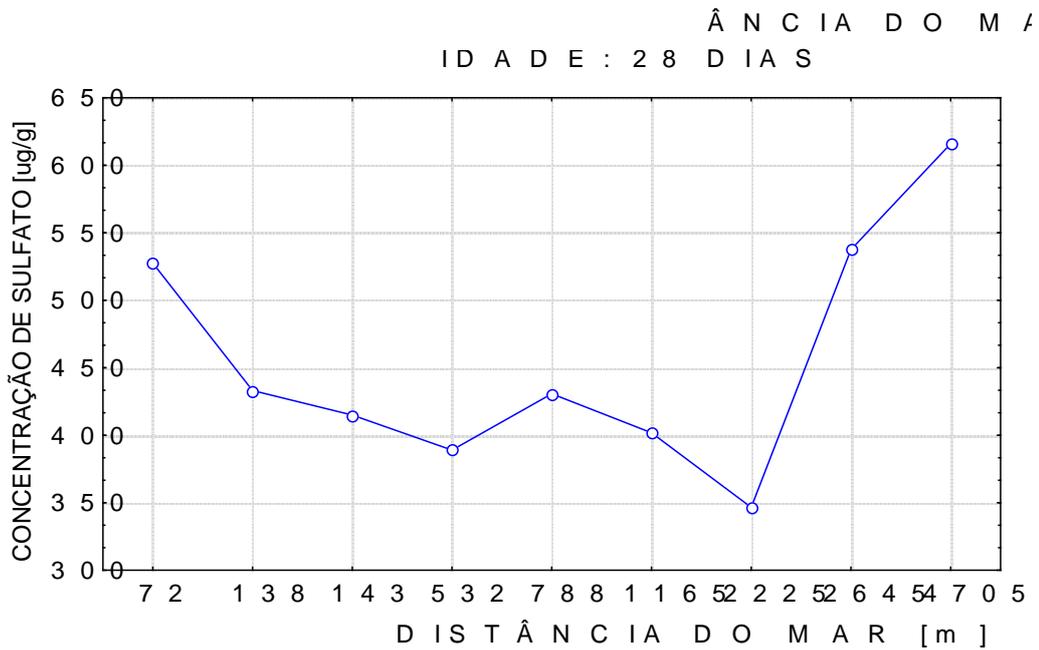


Figura 5.6d – Comportamento da distância do mar com relação ao sulfato

Na Figura 5.7 apresentam-se as deposições média de cloretos e a percentagem relativa a cada estação de monitoramento. Verifica-se que 79% do total das deposições de Cl^- são relativas às estações 1 (Praia do Flamengo), 2 (Praia de Itapoã) e 3 (Praia de Piatã), estações nas quais a distância do mar era inferior a 500 metros.

Na Figura 5.8 apresentam-se as taxas de deposição média de sulfato por estação, através do material coletado pela vela úmida. A variação percentual desta deposição foi de 6 a 21% nas nove estações monitoradas. Pela Figura 5.9 pode-se observar que o sulfato originado pelo spray marinho vai decrescendo com a distância do mar, enquanto que o sulfato complementar, não originado do spray, vai aumentando, devido ao crescimento da intensidade de tráfego de veículos e de atividades industriais. É interessante notar que as contribuições destas fontes para a deposição de SO_4^{2-} tendem a se compensar, gerando uma distribuição espacial bastante uniforme, como se pode ver na Figura 5.8.

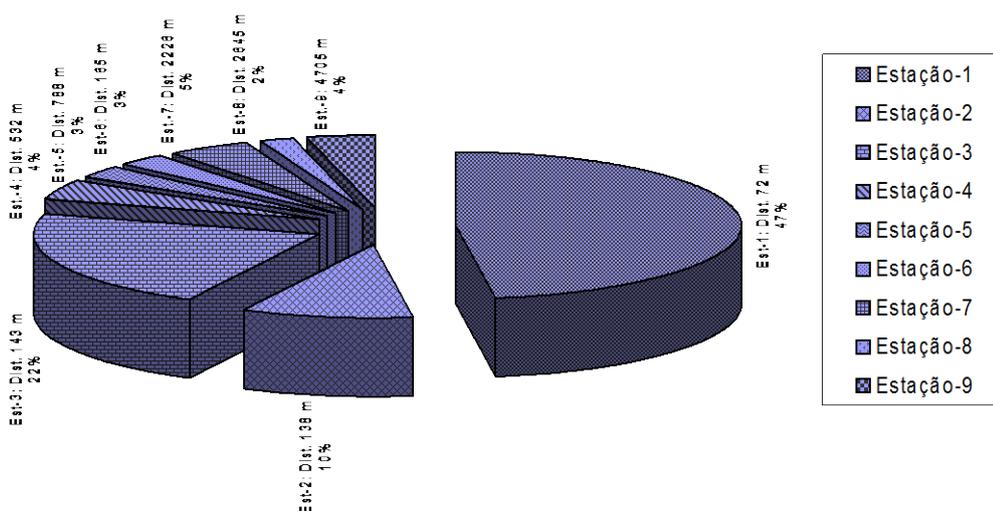


Figura 5.7 – Percentuais médios de deposição de cloretos. (período agosto/2000-janeiro/2001)

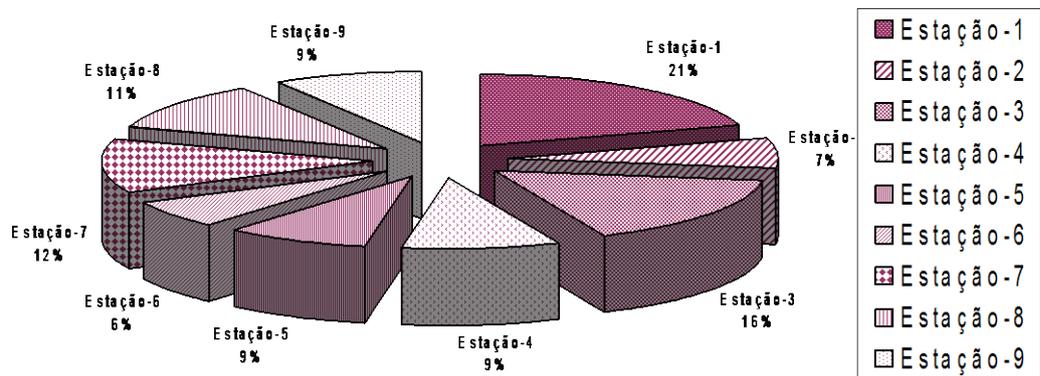
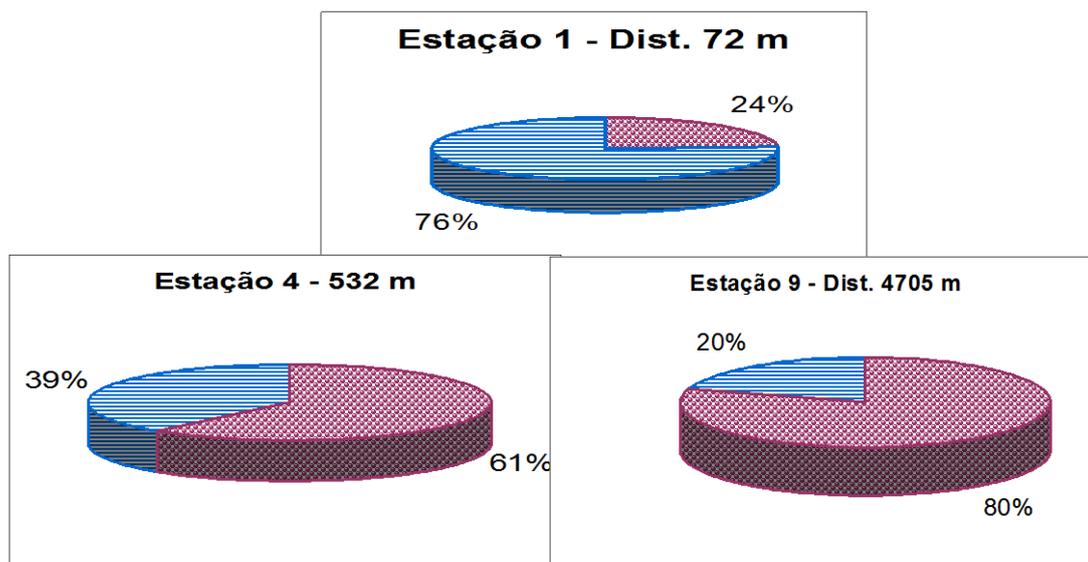


Figura 5.8 – Percentuais médios de deposição de sulfatos (período agosto/2000-janeiro/2001)

As curvas de correlação entre as concentrações de sais do spray marinho com o tempo comprovam a tendência da diminuição (redução) da concentração dos cloretos e sulfatos marinhos à medida que nos afastamos do mar, como se verifica nas Figuras 4.5 e 4.8. Contudo, mesmo até 5000 metros, distância da estação 9 ao mar, as deposições de cloretos são detectáveis e experiências já realizadas no LAQUAM (Campos, 1995) comprovam a presença destes sais em locais ainda mais distantes do que o monitorado neste trabalho.

Com relação aos sulfatos depositados na vela úmida, à medida que as estações de monitoramento se afastam do mar a concentração de sulfato marinho transportado e depositado na vela úmida diminui. A Figura 5.9 mostra que na estação 1 (Praia do Flamengo - 72m do mar), a contribuição de sulfato marinho é de 76%, enquanto que na estação 9 (Mussurunga - cerca de 4705m do mar), esta contribuição é de apenas 20% do valor detectado na estação 1, no mesmo período. Este fato se justifica principalmente pelo fato de que, à medida que as partículas de spray marinho vão sendo transportados, as mesmas acabam por se chocar e se depositar sobre as superfícies, ocorrendo uma gradual diminuição da concentração destes íons na atmosfera, ao tempo em que vai havendo um enriquecimento do aerossol atmosférico com partículas de sulfato provenientes de outras fontes, sendo uma das principais o aumento do tráfego de automóveis, que liberam compostos de enxofre que se transformam em sulfatos dispersos no ar, e que terminam por se depositar sobre todas as superfícies no ambiente construído.

Resultados não esperados de deposição de cloreto e sulfato verificados na estação 2 (vela úmida) é provavelmente decorrentes de barreiras à jusante desta estação: árvores de grande porte (coqueiros e amendoeiras) e grande quantidade de construções de edifícios residências. A Figura 5.9 mostra as taxas de deposição médias de sulfatos marinhos e de outras fontes nas estações 1, 4 e 9 (mais próxima, intermediária e mais distante do mar), o que evidencia tal comportamento.



Legenda:



Figura 5.9 – Percentuais médios de sulfato do spray marinho e sulfato provenientes de outras fontes em função da distância ao mar

Campos (1995) identificou dois tipos de distribuição de SO_4^{2-} nas massas de ar vindas do Atlântico; uma de origem natural, cuja fonte primária é o spray marinho, e a outra de outras fontes marinhas e antropogênicas, o que foi confirmado durante este trabalho.

5.4.2- Análise das Taxas de Deposição dos Sais nos Corpos-de-Prova

Os dados dos sensores de vela úmida permitiram avaliar o potencial agressivo da atmosfera e de sua distribuição espacial. Para verificar como esse potencial atuava sobre materiais diferentes foi realizada a segunda parte da pesquisa, que consistiu na exposição de três tipos de argamassa nas estações de monitoramento, permitindo que ocorresse a interação material/meio ambiente em condições naturais.

Após a exposição dos corpos-de-prova de argamassas, identificou-se o potencial de agressão dos sais marinhos sobre estes corpos-de-prova, através da determinação da concentração de cloretos e sulfatos no material. Deduzidos os valores correspondentes aos materiais utilizados na confecção das argamassas, os teores de sais diagnosticados seriam provenientes dos íons que penetram para o interior do material após a deposição em sua superfície. Estes valores, admite-se, deveriam ser proporcionais às características das estruturas de poros dos materiais, sendo maiores para os materiais mais permeáveis.

Para determinar as concentrações iônicas efetivas que se acumularam nas argamassas, os corpos-de-prova de argamassa foram perfurados conforme já descrito no item 4.3.2 do capítulo 4.

A Figura 5.11 mostra o equipamento usado para perfurar e retirar o material dos cp para análise

Analisando os dados apresentados no capítulo 4, Tabelas 4.12 e 4.13, verifica-se que as amostras compostas por argamassas com o menor consumo de cimento por metro cúbico, portanto maior relação a/c, traço A, foram as que incorporaram o maior teor de cloretos, 318 ($\mu\text{g/g}$) durante o experimento.

As amostras do traço C apresentaram a menor penetração desses sais durante o período de amostragem, possivelmente devido ao fato de este ser o traço menos permeável e menos poroso, dentre as amostras ensaiadas.

Nas Figuras 5.10 a e 5.10 b apresentadas a seguir, observa-se que o traço de argamassa C é o que apresenta menor valor de concentração de cloreto nos corpos-de-prova nas idades de 3 e 28 dias após cinco meses de exposição.

Já os corpos-de-prova dos traços de argamassas A e B foram os que apresentaram após correlação estatísticas ANOVA, maiores concentrações de cloreto para estas mesmas idades.

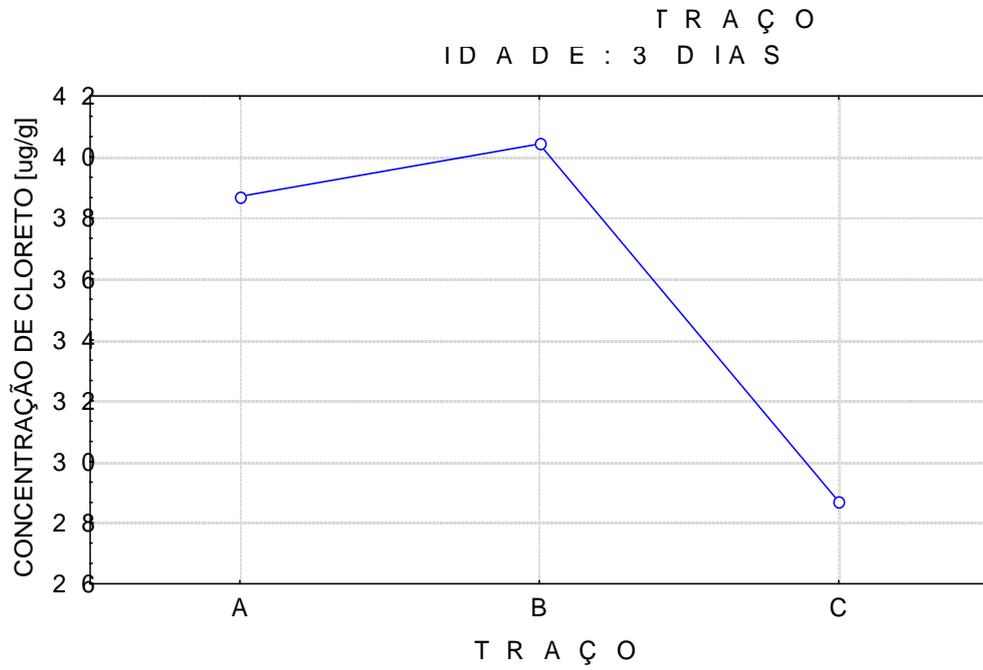


Figura 5.10a – Comportamento do efeito dos traços na concentração de cloreto

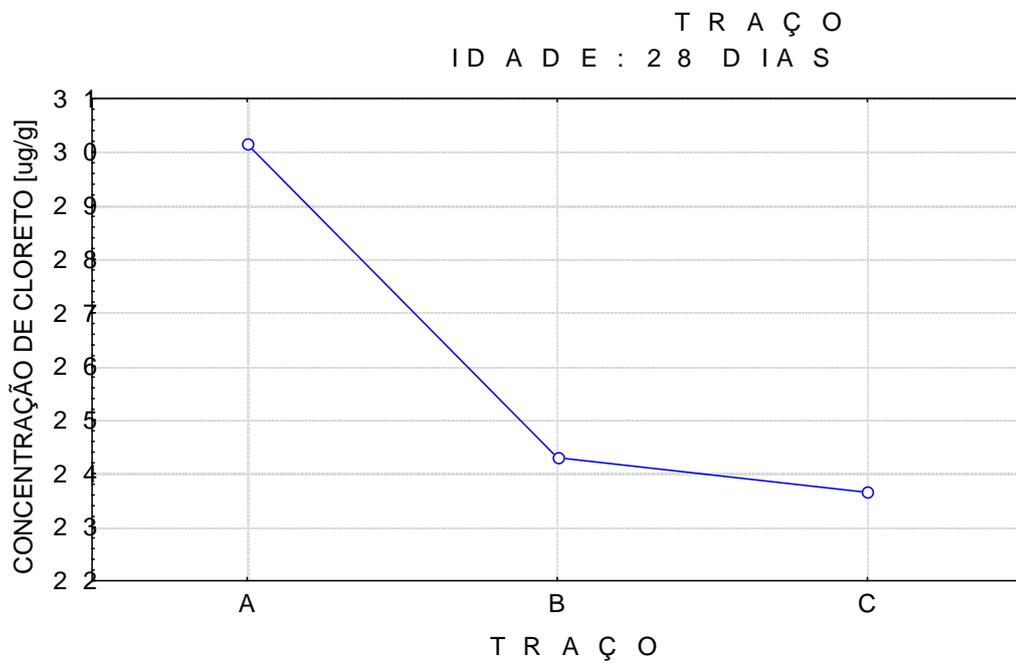


Figura 5.10b – Comportamento do efeito dos traços na concentração de cloreto



Figura 5.11 – Extração do pó nos corpos-de-prova

Identifica-se também que as concentrações de sais cloretos foram preferencialmente maiores nas amostras localizadas próximo às faces mais expostas ao vento. As menores concentrações foram detectadas no furo central, no qual havia uma menor influência das faces laterais. A maior concentração de cloreto foi 318 ($\mu\text{g/g}$) na posição de 15 mm e a menor concentração foi inferior ao Limite de Detecção na posição de 25mm, conforme pode-se verificar na Tabela 4.12. As Figuras 5.12 a e 5.12 b mostram o comportamento das argamassas quanto à posição de extração das amostras do pó e as concentrações de cloreto, obtidas pelo programa estatístico ANOVA.

Com relação aos sulfatos, as maiores concentrações foram as apresentadas pelo traço B (1986 $\mu\text{g/g}$ na posição de 35mm e a menor concentração inferior ao Limite de Detecção pelo traço A). As Figuras 5.11c e 5.11d apresentam as menores concentrações de sulfato na posição de 25mm que é o ponto central.

5.5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta pesquisa, com os sensores de vela úmida instalados nas estações de monitoramento, apresentaram valores médios de deposição de cloretos compatíveis com 86% dos resultados encontrados por Oladis at al (2000), em 14 estações de monitoramento da agressividade ambiental estudadas durante um ano na Venezuela.

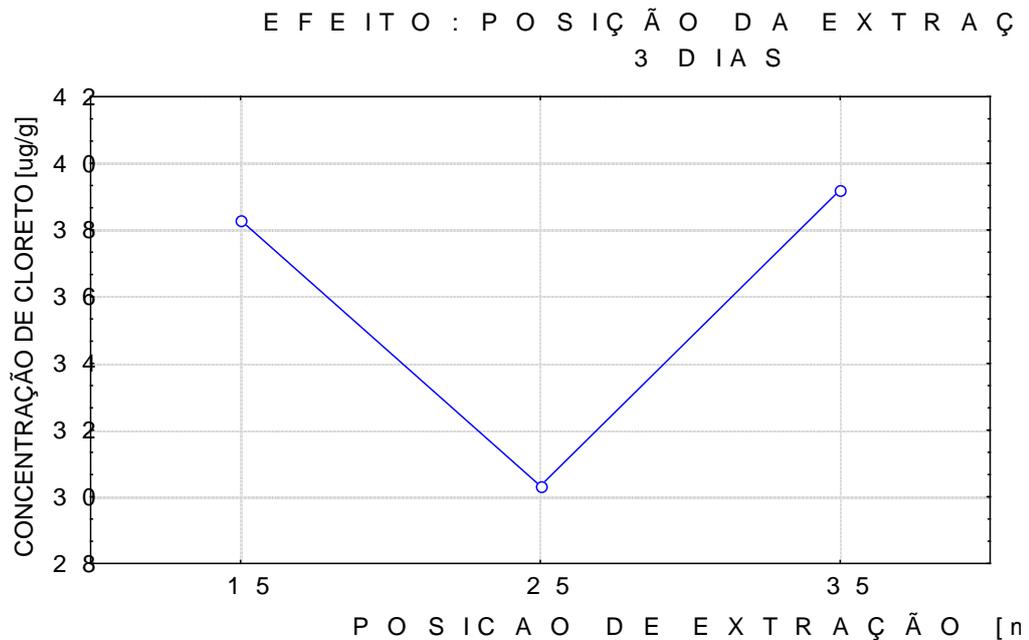


Figura 5.11a – Comportamento dos traços das argamassas com relação a posição de extração em CPs com 3 dias de moldados

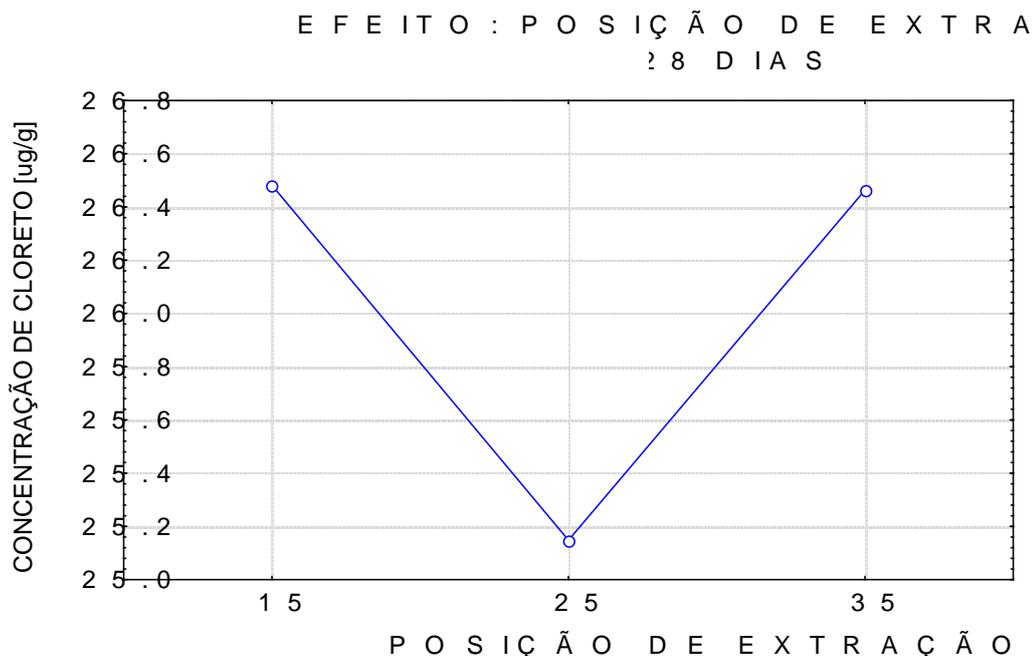


Figura 5.11b – Comportamento dos traços das argamassas com relação a posição de extração em CPs com 28 dias de moldados

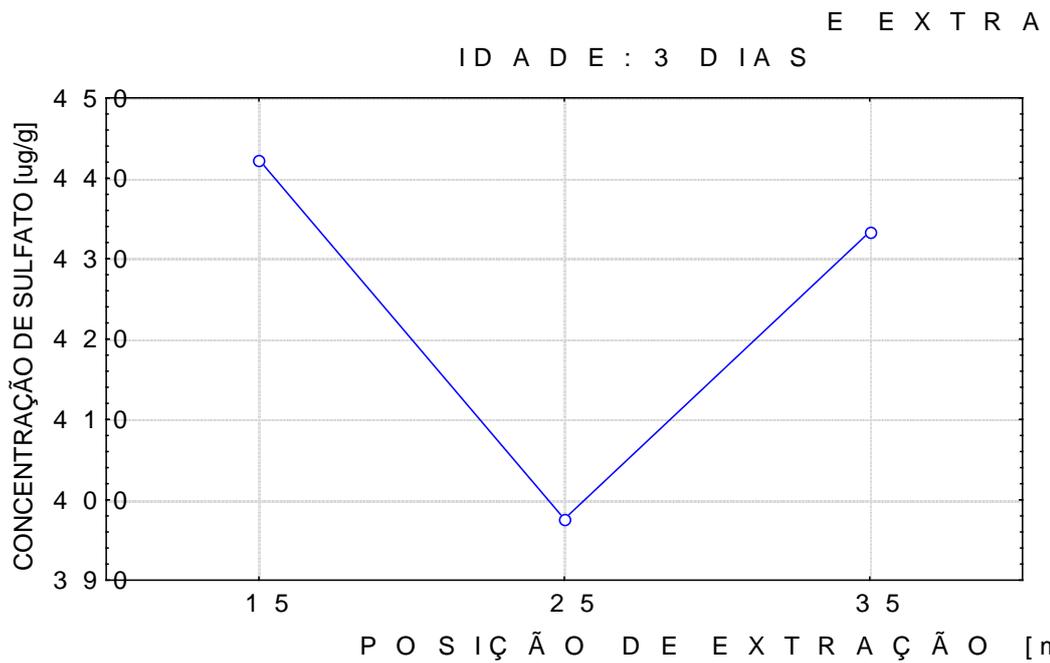


Figura 11c – Comportamento das argamassas com relação ao efeito posição de extração nos CPs

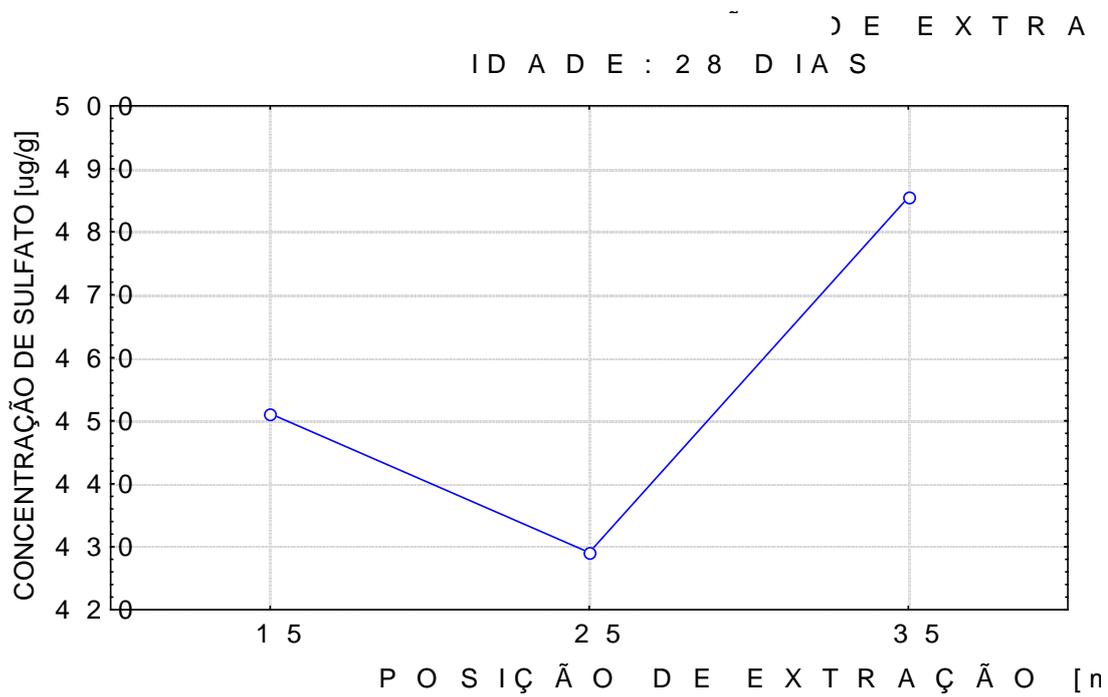


Figura 11d – Comportamento das argamassas com relação ao efeito posição de extração nos CPs

A velocidade média do vento (m/s), nestes dois sítios de experimento, Brasil e Venezuela, foi de aproximadamente 2,8 e 3,0 (m/s), respectivamente, sendo que as duas estações cujos valores de deposição seca para os cloretos apresentaram maior dispersão foram localizadas em áreas nas quais a velocidade do vento registrada foi bem maior (da ordem de 6,0 – 7,0 m/s) do que as velocidades médias encontradas em nosso país (que ficaram em torno de 3,0 m/s). Este comportamento induz à consideração de que a velocidade do vento, como discutido no capítulo 2, possa ser um parâmetro que aumenta a agressividade dos ambientes principalmente as áreas próximas as regiões marinhas.

Com relação à deposição seca dos sulfatos os resultados médios determinados por Oladis (2000) ficaram distribuídos numa faixa compatível aos encontrados nesta pesquisa.

Analisando esta coincidência dos dados, pode-se sugerir que a metodologia utilizada foi exitosa e que os sensores utilizados realmente se mostraram como ferramentas úteis para caracterização da agressividade ambiental. Isto abre a possibilidade de se ampliar as zonas monitoradas para se obter mapas ampliados de agressividade devido ao ambiente marinho. Estudos complementares quanto à reprodutibilidade dos resultados e a influência de variáveis como o vento, a altura do sensor e a umidade ambiental devem ser realizados.

Capítulo 6 - Conclusões e Recomendações

6.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Com base na análise dos resultados obtidos durante a realização da presente pesquisa, apresentados no capítulo 4 e discutidos no capítulo 5, podem ser traçadas uma série de considerações, como segue:

- A metodologia amostral empregada, apesar do seu tempo relativamente curto de duração, cerca de 150 dias, gerou bons resultados de deposição de sais do spray marinho tanto na vela úmida quanto nos corpos-de-prova, permitindo avaliar qualitativamente a agressividade do ambiente e o desempenho dos traços das argamassas com relação ao potencial de penetrabilidade dos sais nos traços estudados.
- Uma contribuição significativa deste trabalho refere-se à caracterização da distribuição espacial e quantitativa dos cloretos e sulfatos do aerossol atmosférico das áreas estudadas.
- Ficou evidenciado que a influência do mar é mais significativa nos primeiros 500 metros de distância da praia com relação à deposição de cloreto e sulfato (originado do spray marinho) na vela úmida e nos corpos-de-prova de argamassa.
- Enquanto na estação 2 (distância do mar: 138m; altitude 7,6m) os resultados foram mais baixos do que o esperado, na estação 7 (distância do mar: 2226m; altitude 41m), também atípica, os resultados contrariamente ao esperado, foram sempre mais altos, o que pode ser justificado pelo caminho totalmente

livre para o transporte das partículas atmosféricas até este local pela ausência de barreiras, devido à sua altitude.

- O potencial médio de agressão aos materiais expostos ao cloreto do aerossol marinho nas três primeiras estações (distância máxima de 500m) é aproximadamente 8 vezes maior do que para as outras 6 estações (> 500m).
- A agressividade da atmosfera da região monitorada depende da distância entre o material exposto e o mar, além do tipo do material, uma vez que as deposições e migrações de cloretos e sulfatos nos corpos-de-prova de argamassa expostos dependeram do consumo de cimento de cada traço.
- A argamassa de traço A permitiu maiores migrações dos sais cloretos por ser o traço mais pobre em cimento, ter maior porosidade e maior índice de vazios.
- Os dados relativos ao sulfato oriundo do spray marinho mostram que sua deposição decai à medida que a estação se distancia do mar (76% do SO_4^{2-} Total na estação 1 para 20% na estação 9 ou seja, redução de 56%); por outro lado, o sulfato proveniente de outras fontes aumenta naquela direção aproximadamente neste mesmo percentual.
- Apesar da simplicidade da confecção da vela úmida (dispositivo utilizado para coleta da deposição do spray marinho), associada ao seu baixo custo, os dados obtidos mostram-se confiáveis sendo a relação custo/benefício um dos atrativos desta pesquisa.
- Não se verificou, neste trabalho, uma correlação entre a velocidade do vento e a quantidade de sais depositados nas velas úmidas no período de agosto de 2000 a janeiro de 2001, sendo necessário novas investigações sobre o tema.

Os resultados mostram que a deposição dos sais nos revestimentos de argamassas, principalmente os de baixa qualidade, que são mais porosos e permeáveis e que permitem com mais facilidade a entrada dos agentes agressivos atmosféricos e de umidade ambiental, podem se deteriorar mais facilmente. Porém é importante salientar que não se deve só avaliar o aumento do teor de cimento pois como se sabe, as argamassas ricas em cimento resultam em revestimentos rígidos que tendem a fissurar aumentando conseqüentemente a entrada de agentes agressivos no material, aspecto este não foi avaliado neste trabalho.

6.2 - CONCLUSÕES

Tendo em vista as considerações sobre a pesquisa enumeradas no item anterior, pode-se concluir que:

- a) Os sensores de vela úmida podem ser usados para coletar dados sobre a agressividade atmosférica
- b) A influência dos cloretos e sulfatos do aerossol marinho é mais significativa nos primeiros 500 m de distância do mar com relação as deposições desses sais
- c) A deposição dos íons cloreto apresentaram uma tendência a decrescer da estação mais próxima do mar para as estações mais distantes
- d) Apesar de haver uma certa correspondência entre a deposição e migração dos cloretos e sulfatos nos corpos-de-prova dos traços das argamassas, pode-se afirmar que outros fatores como umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos e temperatura influi no desempenho da deposição e difusão destes sais nas argamassas
- e) Os íons sulfato, oriundos do aerossol marinho, decrescem à medida que se afasta do mar e esta redução na deposição é mais significativa a partir dos 500 metros do mar
- f) As argamassas com maior resistência à penetrabilidade de sais são as que foram dosadas com consumo de cimento em torno de 200 kg/m^3
- g) Com base nos resultados desta pesquisa pode-se afirmar que a ocorrência de patologias em diversos materiais, sobretudo em argamassas e concretos, são decorrentes da presença de sais do tipo cloreto, sulfato e nitrato no aerossol atmosférico
- h) A agressividade ambiental pode ser controlada parcialmente através de uma dosagem adequada. Isto se confirma quando se analisa que o traço que apresentou maior contaminação, evidenciando uma maior difusão de íons a partir da superfície, foi o traço A, caracterizado como o traço mais poroso e pobre em cimento (menor consumo por metro cúbico).

6.3 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como é natural, nenhuma pesquisa esgota o tema que se propõe estudar e este também foi o caso do presente estudo. Desta forma, considera-se que existe uma necessidade de realizar mais estudos para validar, complementar e ampliar os resultados obtidos neste trabalho.

Apesar dos bons resultados obtidos, o período de monitoramento da presente pesquisa foi limitado por questões de ordem prática. Desta forma não se pode acompanhar um ciclo anual completo de variações. Isto é um fator importante, pois sabe-se que a variação de parâmetros meteorológicos, tais como a velocidade e direção de vento e a umidade relativa, pode produzir alterações na taxa de corrosão em estruturas de concreto. Sugere-se, portanto, que uma avaliação do potencial agressivo como proposto na presente pesquisa, seja desenvolvida por um período maior de tempo. Uma análise multivariada dos dados climatológicos também deveria ser feita com o objetivo de verificar as possíveis correlações destes dados, isolando efeitos de variáveis climáticas.

A demanda por novos estudos se justifica ainda em virtude do fato do estudo envolver o uso de um material natural (arenoso), cuja utilização na engenharia civil é específica de determinadas regiões, e que ainda necessita ser melhor estudado sob vários aspectos, tais como em sua composição granulométrica, análise mineralógica e presença de impurezas. A realização de estudos complementares, contemplando estas variáveis, permitirá a ampliação do campo de conclusões e a generalização dos resultados obtidos.

Sugere-se também que seja ampliado o cenário dos estudos do comportamento das argamassas com adições de argilominerais utilizando aglomerantes hidráulicos (cimento Portland) com adições pozolânicas, com escórias e com baixos teores de C_3A .

No âmbito dos aditivos, considera-se que poderia ser interessante estudar e avaliar o efeito de incorporadores de ar e de plastificantes no desempenho de argamassas de revestimento, especialmente quanto a alterações na porosidade da matriz e possíveis interações com os íons agressivos provenientes do meio ambiente circundante.

Sugere-se ainda a realização de estudos ambientais de macro, meso e micro climas, nos locais de várias edificações, para determinação do potencial de agressividade do ambiente. Poderiam ser elaborados mapas de corrosividade atmosférica e avaliados os efeitos meterequímicos sobre os mais diversos materiais da construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. D. ; MELO, W. Z. – Deposições Atmosféricas Secas e Úmidas no Parque Nacional do Itatiaia Anais da 23ª Reunião Anual da SBQ, p.AB-092; Poços de Calda- Mg, 2000.
- ALVES, J. D. – Materiais de Construção 6ª Edição Ed da Universidade Federal de Goiás, Goiânia 1987
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM G140 – Standard Test Method for Determining Atmospheric Chloride Deposition Rate by WET Candle Method – In Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 1996.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM D 1193 – Standard Specification for Reagent Water - In Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 1992.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM D 2777 – Standard Practice for Determination of Precision and Bias of Applicable Test Methods of Committee D- 19 on Water 1998
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM D 4458 – Standard Test Method for Chloride Ions in Brackish Water, Seawater and Brines - In Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 1994.
- ANDRADE, C.- Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras 1ª Edição Ed. Pini - São Paulo, 1992.
- ANDRADE, J.; DAL MOLIN, D. - Influência da Agressividade Ambiental nas Patologias em Estruturas de Concreto Armado nas Cidades de Porto Alegre(RS) e Recife(PE) p. 127 a 134 Workshop - Durabilidade das Construções Anais Unisinos/ Ita/ Antac- São Leopoldo, 1997.
- ARANHA, P. M- S. - Avaliação das Estruturas de Concreto na Amazônia - Seminário UFG – Goiás, 1999.
- ASLAM, M. – Durability of Concrete in Sulphurous Atmosphere – MAY 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS (ABNT) NBR 7216 - Amostragem de agregados. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11578 - Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1992.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11579 - Cimento Portland: determinação da finura por meio da peneira 75 μ m (n° 200). Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12142 - Concreto: determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738 Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou Prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739 Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5753 - Cimento Portland Pozolânico: determinação da pozolanicidade. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118 – Projeto e execução de obra de concreto armado. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6474 Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211 - Cimento Agregado para Concreto. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7217 - Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7218 – Agregados: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7219 - Agregados: determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7222 Argamassa e Concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13281- Argamassa Industrializada para Assentamento de Paredes e Revestimento de Paredes e Tetos: Especificação. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7223 - Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7251 Agregados em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9776 - Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapmann. Rio de Janeiro, 1987.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9778 Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9779 - Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9833 - Concreto fresco: determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9941 - Redução de amostra de campo de agregados para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7220 - Agregados: determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7215 – Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13276 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de tetos - determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13529 - Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro, 1995.
- BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. - Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa – 1ª Edição Editora Tula Melo - São Paulo, 2000.
- BAUER, L. A. F. - Materiais de Construção V2 LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA 5ª Edição - Rio de Janeiro, 1994.
- BAUER, R. J. F. - Patologia em Revestimentos de Argamassa Inorgânica - p. 321 a 333 Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas Anais UFBA/UEFS Salvador, 1997.
- BICZOK, I. - La Corrosión del Hormigon y su Protección – 6ª Edição Bilbao, Urmo Ed. Espanha.
- CAMPOS, V. P. - Especificação Inorgânica de Enxôfre, Nitrogênio e Cloro na Precipitação Seca e Úmida no Recôncavo Baiano - Tese de Doutorado, Instituto de Química - UFBA Salvador, 1995.
- CÁNOVAS, M. F. - Patologia y Terapeutica del Hormigon Armado Ed. Dossat Espanha, 1988.
- CARASEK, H. - Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland a Substratos Porosos - Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo da Ligação - Tese de Doutorado USP- São Paulo, 1996.
- CARVALHO, C. R. ; CARVALHO, M. ; CARDEAL, Z. L. ; WITTENBURG, C. - Deposição Seca de Poluentes Atmosféricos Sobre Materiais Pétreos Ao Relento p.AB 93 – 23ª Reunião Anual Sociedade Brasileira de Química - Poços de Caldas, 2000.

- CASADO, A. L. J. - Execução e Inspeção de Alvenaria Racionalizada – 1ª Edição Ed Tula Melo, São Paulo, 2000.
- CASCUDO, O. - O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto 1ª Edição Ed. Pini - São Paulo, 1997.
- CEB BULLETIN D"INFORMATION N° 238, New Approach to Durability Desing, 1992.
- CINCOTTO, M. A. - Diretrizes Adotadas pela Comissão de Normalização de Revestimentos de Paredes e Tetos, Anais do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas - Goiânia, 1995.
- CINCOTTO, M. A. - Ação do Meio sobre o Concreto- p. 73 a 84 Anais Unisinos -Workshop Durabilidade das Construções- São Leopoldo, 1997.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA - Cartografia – Meio Ambiente - R.M. S. 2 - Mapas Técnicos, 2000.
- COUTINHO, A. S.; GONÇALVES, A. - Fabrico e Propriedades do Betão Ed. Lnecc volume III – Portugal, 1994.
- DAL MOLIN, D. - Fissuras em Estruturas de Concreto Armado - Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado de Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado UFRGS - Porto Alegre, 1988.
- EGLINTON, M. S. - Concrete and its chemical behaviour – Ed Thomas Telford Ltd. – Inglaterra, 1987.
- FELIU, S. M. - Corrosão Atmosférica de los Materiales Metalicos - Teoria y Practica de la Lucha Contra la Corrosion - Ed Grafimad S.A. Espanha, 1984.
- FERNANDEZ, J. A G. - Teoria y Prática de la Lucha contra la Corrosion 1ª Edição Ed Grafimad, S.A. – Espanha, 1984.
- FERREIRA, A. B. H. – Novo Dicionário da Língua Portuguesa Ed. Nova Fronteira Rio de Janeiro, 1975.
- FORTES, L. A. J. C. - Corrosão na Armadura do Concreto Armado: Influência dos Agentes Cloretos e da Carbonatação - Revista da Associação Técnica Científica Engenheiro Paulo de Frotin - São Paulo, 1995.
- GENTIL, V. - Deterioração de Concreto em Áreas Industriais - Boletim Técnico e Informativo da ABRACO p. 10 a 17, Rio de Janeiro, 1980.
- GUIMARÃES, E. A. - Avaliação da Capacidade Protetora da Resina de Óleo de Mamona contra Penetração de Agentes Agressivos no Concreto - Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil UNB- Brasília, 1997.
- HELENE, P. R. L. – Durabilidade do Concreto versus Agressividade do Meio Ambiente 1ª parte IPT/ D Ed. 43 Ed Pini 1980
- HELENE, P. R. L. – Corrosão em Armaduras para Concreto Armado- IPT Ed Pini, São Paulo, 1986
- HELENE, P. R. L. - Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado - Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Professor Livre Docente – São Paulo, 1993.
- HELENE, P. R. L. - Introdução da Durabilidade no Projeto das Estruturas de Concreto - p.31 a 42 Workshop Durabilidade das Construções, Unisinos, São Leopoldo, 1997.

- HELENE, P. R. L. - Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estrutura de Concreto -2ª Edição Ed. Pini, São Paulo, 1992.
- HUERTA, E. O. - Corrosión y Degradación de Materiales - Edição sem número Ed Sintesis S.A. Espanha, 1997.
- JOHN, V. M.- A construção e o meio ambiente- recycle. pcc.usp.br/artigosl.htm, São Paulo 1998.
- KLOSS, L. C.- Materiais de Construção Civil- 1ª Edição Ed Cefet – Paraná, 1996.
- KOLZOW, H. - Protección química de la construcción - edição sem número Editora Instituto Eduardo Torroja, Madrid – Espanha, 1971.
- LACERDA, A. M. C. - Umidade Ascendente em Alvenarias Tradicionais - Dissertação de Mestrado Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, 1988.
- LICHTENSTEIN, N. B. – Patologia das construções; procedimento para formulação do diagnostico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações Dissertação de Mestrado USP São Paulo, 1985
- LIMA, L. A. - Hormigones com Escorias de Horno Eléctrico como Áridos: Propiedades, Durabilidad y comportamiento Ambiental- Tesis Doctoral da Universitat Politècnica de Catalunya - Departament Denginyeria de la Construcció – Barcelona, 1999.
- LYTTELTON R. F. ; ANDRADE J. C. – Corrosão na Armadura do Concreto Armado; Influência dos Agentes Cloretos e da Carbonatação Revista Semestral da Associação Técnico-científica eng^o Paulo de Frontin 1995
- MACIEL, L.L.B.; SABBATINI, F.H.- Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa 1ª Edição Ed Tula Melo São Paulo, 2000.
- MARCHESAN, P. R.C.; SANTAROSA, D.; CAMPAGNOLO, J. L.; SILVA FILHO, L. C.; PACHECO, A. R.- Estudo da influência da aplicação de revestimentos no controle da corrosão- IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções; VI Congresso de Controle de Qualidade, Porto Alegre, 1997.
- MEHTA, P. K. - Concrete Technology for Sustainable Development - p. 3 a 16 Seminário Internacional, Avanços na Tecnologia do Concreto, UFG – Goiania, 1999.
- METHA, P. K. - Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais: Ed. Pini. São Paulo, 1994.
- METHA, P. K. - Durability of Concrete - Fifty Years of Progress - Volume I SP- 126 A.C.I- Ed V.M. Malhotra .
- MOURA, W. A. - Utilização de Escoria de Cobre como Adição e como Agregado Miúdo para Concreto - Tese de Doutorado Escola de Engenharia U.F.R.G.S. - Porto Alegre. 2000.
- NEVES, C. M.; ALMEIDA, A. H.; GOMES, A., RUAS JUNIOR, W.- A Influência do Caulim no Comportamento das Argamassas de Revestimento – p.219 a 225 Anais do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas Goiânia GO, 1995
- NEVES, C. M. M.- Comportamento de Argamassa Celulósica e Avaliação de seus efeitos na Qualidade Ambiental, Dissertação de Mestrado UFBA. Salvador, 2000.
- NEVES, C.; ALMEIDA, A. H.; LIMA, J.; ALMEIDA, T. - Influência de Cloretos e Sulfatos Solúveis nas Propriedades das Argamassas - p. 208 a 216 Anais II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas Salvador, 1997.

- NEVILLE, A. M.- Propriedades do concreto 2ª Edição Ed Pini São Paulo, 1997
- OLADIS, T. R. ; RINCÓN, A. ; ROMERO, M. ; SÁNCHEZ, M. ; RINCÓN, A I. ; PRATO, M. R., et al. - The atmospheric corrosivity maps in Venezuela - Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Vol. 23, Nº 1 – Venezuela, 2000.
- OLIVEIRA, H. P. –Uma introdução para o emprego racional das argamassas nos edifícios. Salvador- Tese para concurso à cátedra de Construções Cíveis e Arquitetura da Escola Politécnica da UFBA, 1959
- OLIVEIRA, A. G. - Influência dos Argilominerais nas Propriedades das Argamassas de Revestimento em Salvador: Uma contribuição à Qualidade Ambiental, Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica UFBA – Salvador, 2000.
- PETRUCCI, E. G. R. - Concreto de Cimento Portland 11ª Edição Ed. Globo- Rio de Janeiro, 1987.
- RODRIGUES, J. - Corrosão bacteriológica destrói o concreto de fundação – Revista Recuperar no 32 Ano 7 nov./dez. Ed. Thomastec pag. 4 a 10 Rio de Janeiro, 1999.
- SÁNCHEZ, R. M. I.; GARCÍA, M, F.- Influencia del medio Ambiente en el Deterioro de Materiales Calizos: Estudios Mediante Porosimetría De Mercurio - Revista Materiales de Construcción Volumen 49 junio Espanha, 1999.
- SCANDIUZZI, L.; ANDRIOLO, F. R.- Concreto e seus Materiais Ed. Pini, São Paulo, 1986
- SELISTRE, S. L. C.; SILVA FILHO, L. C; CAMPAGNOLO, J. L. - A utilização de Revestimentos no Controle da Corrosão - Anais da 12ª Reunião Técnica da A.A.T.H. La Plata p. 199 a 206- Argentina, 1995.
- SELMO, S. M. S. - Dosagem de Argamassas de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo de Fachada de Edifícios. Dissertação de Mestrado USP São Paulo, 1989.
- SERRANO, F. A - Patología de la Edificación El lenguaje de las grietas-edição sem número Ed Fundacion Escuela de la Edificación Espanha, 1999.
- SILVA, P. F. A. - Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana – 1ª Edição Ed. Pini São Paulo, 1995.
- SILVA FILHO, L. C. P. – Durabilidade do Concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microsilica Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia U.F.R.G.S. Porto Alegre, 1994
- SIMÕES, P. R. - Mecanismos de Intemperização dos Taludes Naturais das Formações Expansivas da Bacia Sedimentar do Recôncavo Baiano - Tese de Doutorado COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991.
- SJOSTROM, C. – Durabilit and Sustainable use of Building Materials Texto digitado 1996
- SOBRAL, H; OLIVEIRA, A; FERNANDES, M; CUNHA, N; NORRIS, V. –Relatório - Avaliação das Impurezas Salinas das Areias para Concreto- Relatório do Núcleo de Serviços Tecnológicos da U.F.BA- Salvador, 1986.
- SOROKA, I.; CARMEL, D. - Durability of External Renderings in a Marine Environment - Durability of Building Materials – Elsevier Science Publishers B.V. Amesterdan, 1987.
- SOUZA, G. F. - Eflorescências nas Argamassas de Revestimento, p. 344 a 356 - Anais do Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas UFBA/UEFS. Salvador, 1997.

- TALEGÓN, J. G; VICENTE, M.A. ; MOLINA, E. - Deterioro de monumento graníticos por cristalización de sales en ambiente urbano com baja contaminación – Revista Materiales de Construcción volumen 49 junio, 1999.
- TAVARES, T. M. - Avaliação de Efeitos das Emissões de Cádmió e Chumbo em Santo Amaro, Bahia- Tese de Doutorado USP- I. Q - São Paulo, 1990.
- THOMAS, E. - Trincas em Edifícios causa, prevenção e recuperação 1ª Edição Ed. Pini, São Paulo, 1989.
- TORRENT, R. - Diseño por Durabilidad. Técnicas de Ensayo y su Aplicación- Seminário de Durabilidade Instituto Eduardo Torroja - Madrid - Espanha, 2000.
- TRETHEWEY, K. R.; CHAMBERLAIN, J. - Corrosion for students of science and engineering – Third Impression Capítulos 1 e 2- Ed Longman Scientific e Technical England, 1992.
- TRISTÃO, F. A.; SIMON, L. M.; BUHLER, P. E.; ADAMS, B. - Análise das Causas de degradação dos Revestimentos das Alvenarias do Museu Nacional do Mar - Anais do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas p 385 a 391 Goiânia- GO, 1995
- UEMOTO, K. L.- Patologia: danos causados por eflorescência IPT/Ded 20 Tecnologia de Edificações IPT/Pini, São Paulo, 1984
- VAZQUEZ, E.; LIMA, L. - Curso Internacional de Resíduos Sólidos na Construção Civil, Escola Politécnica da UFBA – Salvador, 1998.
- VERÇOSA, E. J. - Patologia das Edificações 1ª Edição Ed. Sagra, pág. 112 Porto Alegre, 1991.
- VIEIRA, F. P.; KULAKOWSKI, M. P.; DAL MOLIN, D.; VILIELA, A. C. F. - Estudos de Durabilidade em Concretos e Argamassas com Adições de Sílica Ativa p. 107 a 116, Anais Unisinos, São Leopoldo, 1997.
- WARNECK, P. - Chemistry of the Natural Atmosphere. Academic Press, Inc. New York, 1988.