



DEPOSIÇÃO DE CLORETOES EM ZONA DE ATMOSFERA MARINHA: COMPORTAMENTO SAZONAL E SUA RELAÇÃO COM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Gibson Rocha Meira (1); M^a Carmen Andrade (2); Ivo José Padaratz (3); José Carlos Borba Jr. (1)

(1) Departamento de Construção Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba (CEFET – PB) – e-mail: gibson@jpa.neoline.com.br

(2) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

(3) Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – e-mail: ecv1@ecv.ufsc.br

RESUMO

Proposta: a presença de sais marinhos nas regiões no entorno do mar é fonte de degradação de estruturas de concreto armado devido ao processo de corrosão desencadeado pela presença de cloretoes. O objetivo deste trabalho é discutir a presença de cloretoes na zona de atmosfera marinha em função de parâmetros ambientais que possam indicar comportamentos sazonais bem como a sua interação com estruturas de concreto. **Método de pesquisa/Abordagens:** medidas de temperatura, umidade relativa, direção e intensidade do vento, medidas da deposição de cloretoes pelo método da vela úmida, extração de amostras pulverizadas de concreto por meio de ferramenta diamantada e medidas do teor de cloretoes por titulação potenciométrica. **Resultados:** a deposição de cloretoes sofre forte influência do vento com períodos claros de maior presença de cloretoes quando os ventos são mais intensos. A relação entre a deposição de cloretoes e a sua acumulação nas estruturas de concreto segue uma função da raiz quadrada da deposição acumulada. **Contribuições/Originalidade:** comportamento sazonal da presença de cloretoes em zona de atmosfera marinha e sua relação com parâmetros ambientais. Relação matemática entre cloretoes da névoa salina e aqueles que se acumulam no concreto.

Palavras-chave: aerosol marinho; cloretoes; concreto; deposição de sais.

ABSTRACT

Propose: Marine salt presence in regions close to the sea is a source of concrete structures degradation, due to corrosion process started with chlorides. The aim of this work is to discuss chlorides presence in marine atmosphere zone as a function of environmental parameters that can indicate seasonal behaviour of marine aerosol and its interaction with concrete structures. **Methods:** temperature, relative humidity, wind direction and wind speed measurements, chlorides deposition measurements by wet candle method, powered samples extraction of concrete specimens with diamond tool, chlorides content measurements by potentiometric titrations. **Findings:** chlorides deposition is hardly influenced by wind, with clear periods with higher chlorides presence when winds are stronger. The relation between chlorides deposition and its accumulation in concrete structures follows a square root function of accumulated deposition **Originality/value:** seasonal behaviour of chlorides presence in marine atmosphere zone and its relation with environmental parameters. Mathematical relation between chlorides from marine aerosol and those accumulated in concrete.

Keywords: chlorides; concrete; marine aerosol; salt deposition.

1 INTRODUÇÃO

A produção do aerosol marinho tem sua origem na ação do vento sobre a superfície do mar (FITZGERALD, 1991). Este mecanismo é mais efetivo na borda do mar, na zona de quebra das ondas, onde partículas maiores e em maior número são geradas. Após a sua produção, o aerosol marinho é transportado para o interior pelo vento. Durante este transporte, partículas que compõem o aerosol marinho, se depositam após terem coberto uma certa distância em relação ao mar, a depender da massa das partículas, das características do vento e da presença de obstáculos na sua trajetória (FITZGERALD, 1991; FELIU, et al., 1999; MORCILLO, et al., 2000).

O comportamento do aerosol tem forte relação com as características do vento. Desta forma, alterações no seu regime durante o ano se refletem no comportamento do aerosol marinho. De modo semelhante, alterações na temperatura e na umidade ambiental também podem influenciar nas concentrações de sais no aerosol marinho (ERIKSON, 1959).

Estudos sobre corrosão atmosférica normalmente apresentam relações entre a presença de sais na atmosfera e a taxa de corrosão (FELIU, et al., 1999). Outros estudos, centrados em parâmetros ambientais, mostram o decréscimo da concentração salina do aerosol quando é transportado na direção do continente (GUSTAFSSON e FRANZÉN, 1996). Por outro lado, estudos que mostram a relação entre a presença de cloretos na atmosfera e a durabilidade do concreto são escassos (MEIRA et al., 2003; 2005).

Este trabalho se insere nesse âmbito e caracteriza o aerosol marinho na costa de João Pessoa – PB, identificando sua relação com a durabilidade de estruturas de concreto em zona de atmosfera marinha.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento temporal do aerosol marinho em função das características climatológicas do ambiente estudado, bem como a sua interação com estruturas de concreto.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização ambiental

A caracterização ambiental foi realizada através do monitoramento de parâmetros climatológicos e de medidas de deposição salina.

Os dados climatológicos foram coletados através de uma estação climatológica pertencente ao governo brasileiro, localizada na região onde se desenvolveu a pesquisa. As variáveis empregadas nessa etapa foram: temperatura, umidade relativa, precipitação, velocidade do vento, direção do vento.

A deposição salina foi estudada através do ensaio da vela úmida, de acordo com as especificações técnicas apresentadas na norma ASTM G140 (ASTM, 1996). Os dispositivos empregados para esta avaliação foram expostos, simultaneamente, a 10, 100, 200 e 500 m do mar, de acordo com as coordenadas geográficas apresentadas na Tabela 1. A área escolhida para a realização das medidas era aproximadamente plana e livre de obstáculos, para minimizar o efeito de fricção com obstáculos nos resultados observados. As amostras obtidas no dispositivo da vela úmida, foram coletadas mensalmente e analisadas por titulação potenciométrica durante 22 meses. Período no qual também foram obtidos os dados climatológicos da pesquisa, exceto aqueles relativos ao vento (17 meses).

Tabela 1 -Coordenadas geográficas das estações de monitoramento.

Distância do mar (m)	Latitude	Longitude
10	7°1'42,9"	34°49'50,1"
100	7°1'42,2"	34°49'52,8"
200	7°1'41,0"	34°49'55,8"
500	7°1'47,2"	34°50'13,1"

3.2 Estudo da concentração de cloreto no concreto

Pilares de concreto, nas dimensões 0,15 x 0,15 x 1,40m foram moldados utilizando cimento CPIV, com adição de pozolana natural (Tabela 2) e relações água/cimento 0,65, 0,57 e 0,50. Os pilares foram curados em câmara úmida por sete dias, antes de serem expostos a 10, 100, 200 e 500 m do mar, de acordo com as coordenadas geográficas apresentadas na Tabela 1.

Após seis, dez, quatorze e dezoito meses de exposição, cilindros de concreto foram extraídos dos pilares, com o objetivo de obter perfis de cloreto. A extração foi realizada através de ferramenta diamantada, respeitando-se a direção dos ventos historicamente predominantes e tendo-se cuidado para evitar a lavagem superficial dos cloreto presentes na superfície do concreto, através do emprego de fita impermeável. Como resultado, obtiveram-se cilindros com 7 cm de diâmetro. A partir dos mesmos, o primeiro milímetro foi pulverizado e usado como amostra superficial. Amostras adicionais foram obtidas até a profundidade de 30 mm, perfazendo o conjunto de seis amostras de 5 mm na primeira extração e nove amostras de 3, 3, 2, 2, 3, 3, 4, 5 mm nas últimas três extrações. Para cada amostra, o teor de cloreto total foi determinado, empregando-se os procedimentos descritos pelo RILEM (2002).

Tabela 2 - Composição química do cimento (%)

CPIV-32	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	RI	PF
	2,96	29,34	5,72	2,40	48,40	3,44	0,37	2,17	22,67	4,18

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Climatologia

A região escolhida para a realização da pesquisa tem características de um clima tropical. A temperatura local apresentou variação aproximada entre 20 e 30 °C ao longo de todo o ano (Figura 1). A umidade relativa apresentou valores entre 60 e 80 % e uma tendência de valores mais elevados nos períodos de maior incidência de chuvas (Figura 2).

Os períodos de maior precipitação ocorreram entre março e junho, com um crescimento acentuado no final deste período (Figura 3). Os ventos predominantes ocorreram usualmente nas direções S-SE-E e a velocidade média do vento situou-se na faixa entre 1.5 e 3.5 m/s (Figura 4), com picos entre agosto e outubro.

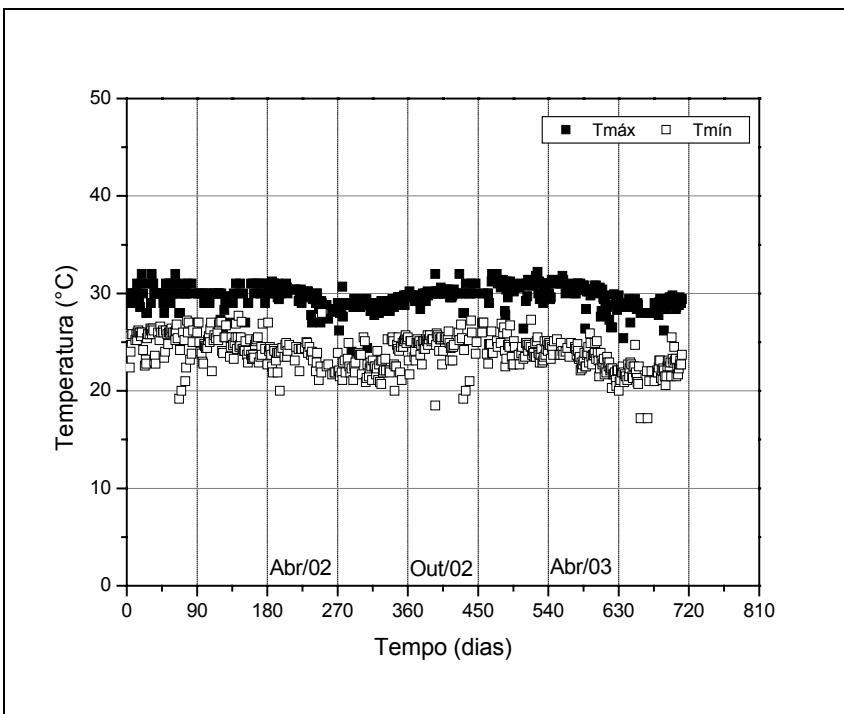


Figura 1 - Temperaturas máxima e mínima (diárias) durante o período estudado.

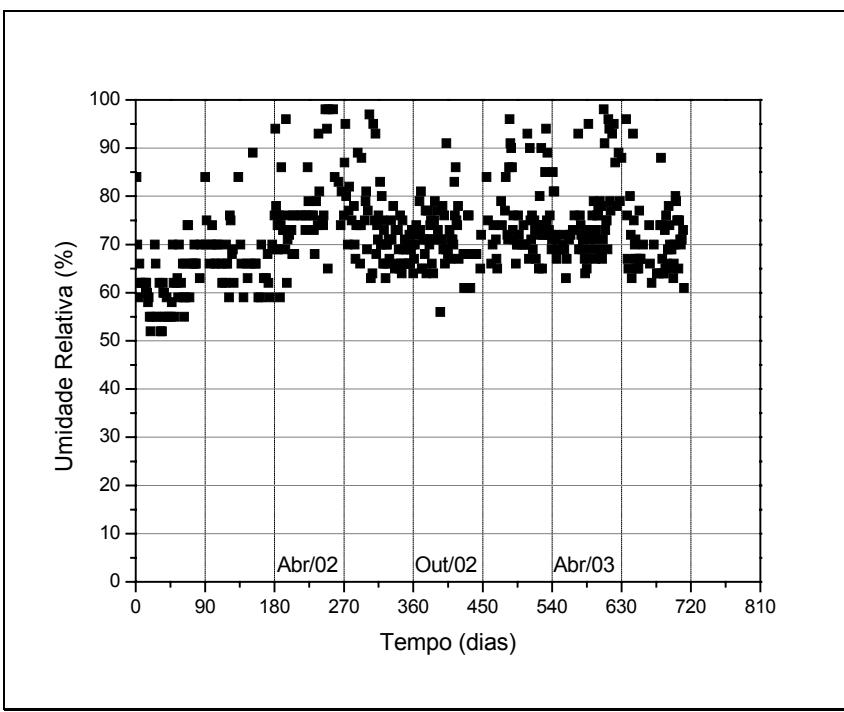


Figura 2 - Umidade relativa média diária durante o período estudado.

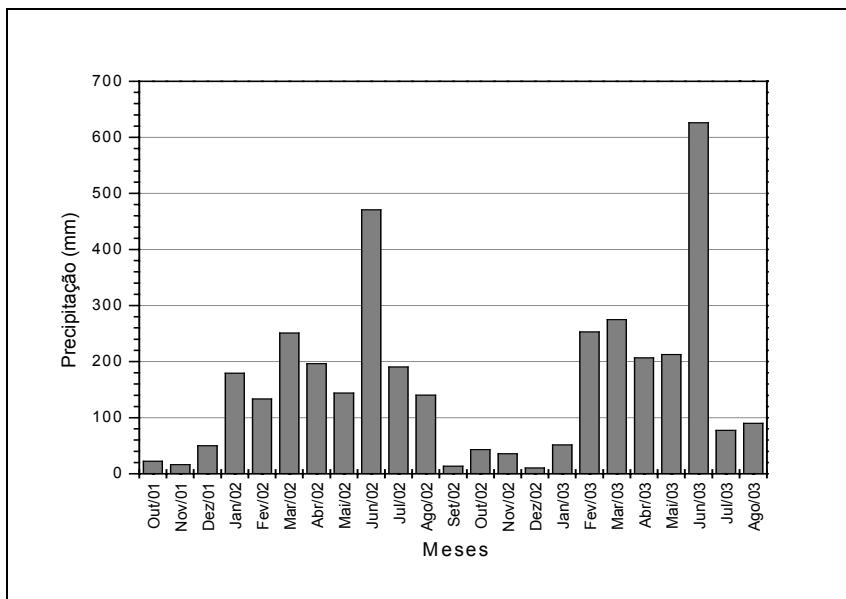


Figura 3 - Precipitação mensal durante o período estudado.

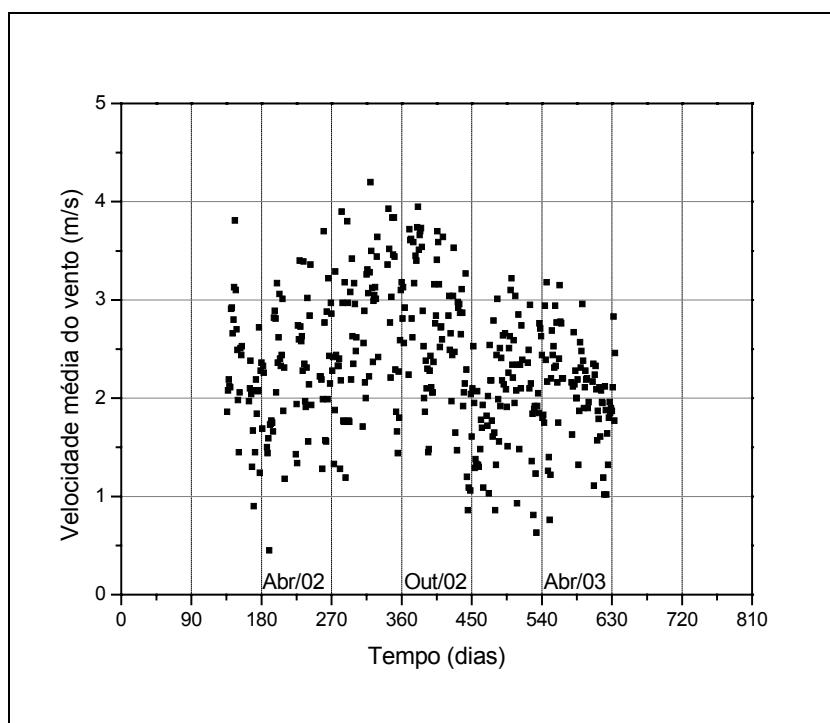


Figura 4 - Intensidade dos ventos durante o período estudado (valores médios diários).

4.2 Deposição salina

O comportamento da deposição salina revelou períodos com maior taxa média de deposição, alternados com períodos onde a deposição de cloretos cai significativamente. Nesse sentido, os períodos de maior crescimento estão associados aos momentos em que os ventos apresentam maior intensidade (nov-dez/01, ago-out/02) e vice-versa (Figura 5). Contudo, estas flutuações podem ser consideradas de baixa intensidade, se comparadas com resultados de outras publicações. Isto pode ser explicado pelo fato de que as velocidades do vento estiveram, em sua maioria abaixo dos 3 m/s, limite a partir do qual os efeitos do vento sobre o aerosol marinho são mais pronunciados (MORCILLO et al., 2000; MEIRA, 2005).

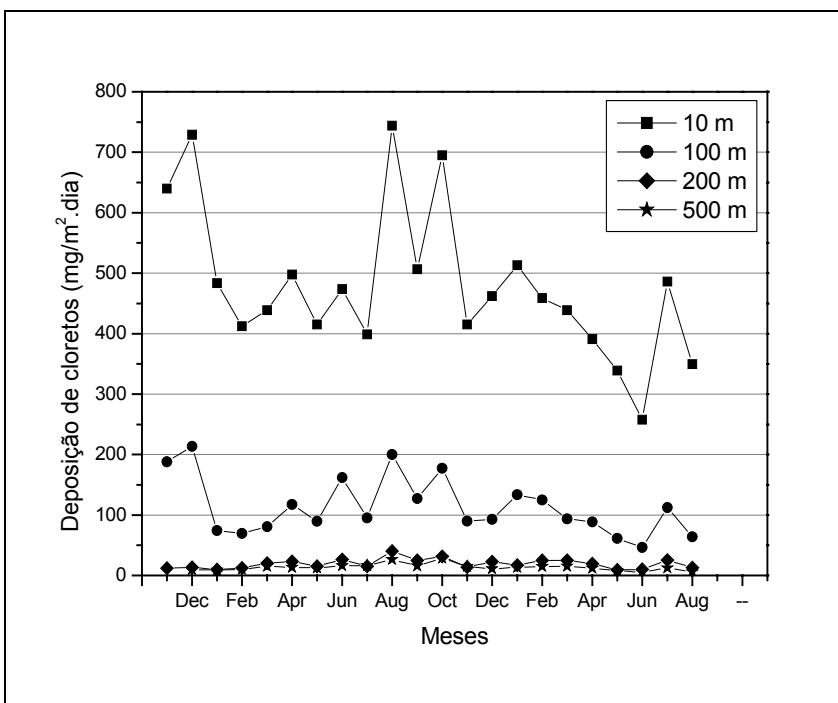


Figura 5 - Medida da taxa de deposição média de cloretos, nas distâncias de 10, 100, 200 e 500 m em relação ao mar.

De forma coadjuvante, também pode-se observar uma pequena diminuição da umidade relativa nos meses supra-citados, o que pode ter sido um fator contributivo no incremento da taxa de deposição, já que o efeito do vento é preponderante. Esse comportamento se explica pelo fato de que, em ambientes menos úmidos, há uma evaporação mais rápida da água arrastada no processo de geração do aerosol e este acaba sendo mais concentrado (ERIKSSON, 1959), sofrendo o efeito gravimétrico em menor intensidade. Por outro lado, é importante não perder de vista que o vento é, de longe, a variável climatológica mais importante no processo de geração e transporte do aerosol marinho.

Os resultados apresentados também demonstram uma clara redução nas concentrações de cloretos a partir dos 200 primeiros metros, indicando que a diminuição da agressividade por cloretos é mais importante nas primeiras faixas de terra. A partir desta distância, embora haja diferenças nas concentrações medidas, elas são menos pronunciadas e se situam na mesma ordem de grandeza.

Avaliando-se, de forma específica, a relação entre deposição salina e velocidade do vento, a Figura 6 mostra a tendência de crescimento acentuado das medidas de deposição salina a partir do patamar 3,0 m/s, conforme comentado. No que se refere à direção dos ventos, a sua predominância no quadrante S-E não possibilitou a observação de flutuações significativas nos valores de deposição salina em decorrência dessa variável.

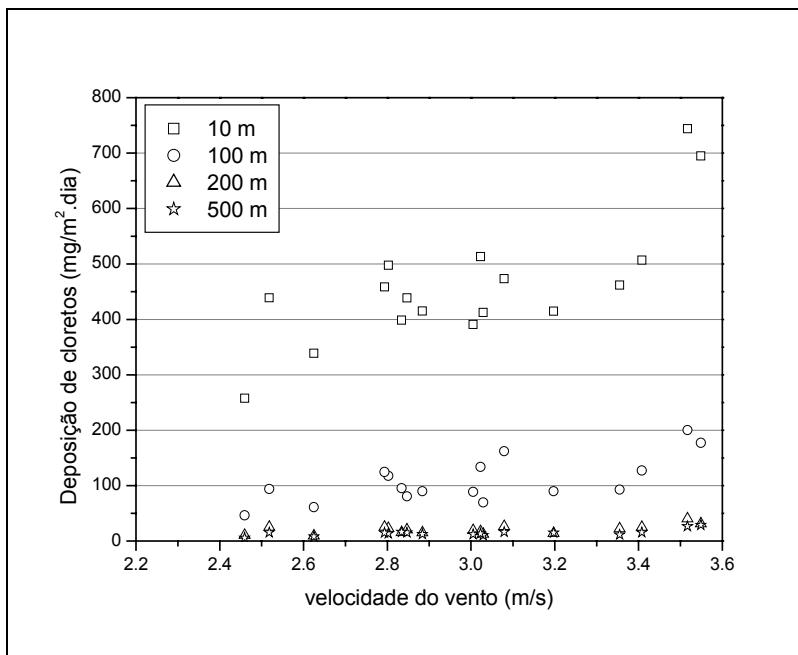


Figura 6 - Relação entre deposição de cloretos e velocidade média do vento (10, 100, 200 e 500m).

4.3 Concentração de cloretos no concreto

Durante o estudo experimental, foram obtidos perfis de cloretos para distintas distâncias em relação ao mar e períodos de exposição. Os mesmos apresentaram a clássica tendência de crescimento das concentrações de cloretos com o aumento da relação água/cimento e com o tempo.

Analizando a relação entre os cloretos acumulados no concreto e aqueles depositados na vela úmida, é possível visualizar uma relação direta entre essas duas variáveis. Contudo, esta relação não segue uma função linear. Isto fica claro através da Figura 7, que apresenta a relação para dez meses de exposição dos elementos de concreto.

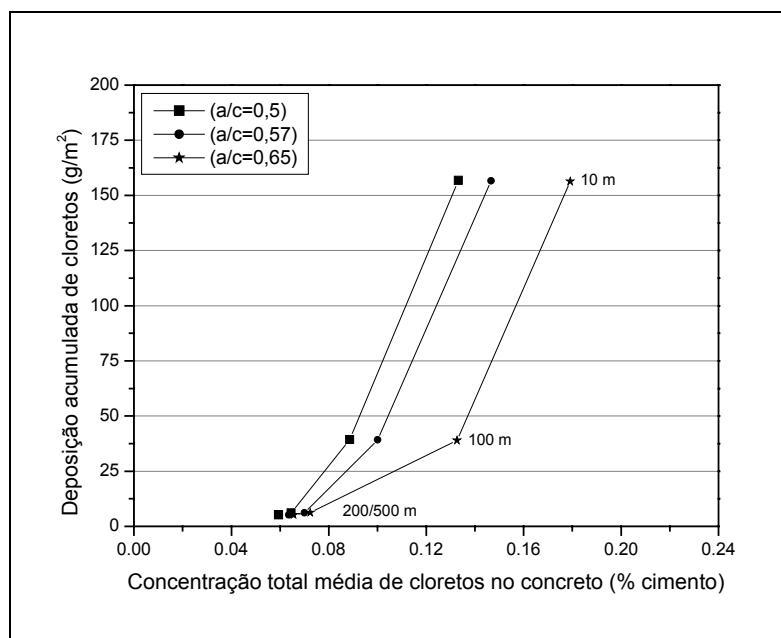


Figura 7 – Relação entre deposição acumulada de cloretos e concentração total média no concreto.

A penetração de cloretos no concreto, além da sua dependência em relação a outros parâmetros ambientais e ao material, está diretamente relacionada à concentração superficial de cloretos. Considerando que a concentração superficial de cloretos segue uma função de crescimento que se atenua com o tempo (COSTA e APPLETON, 1999), os cloretos acumulados no concreto respeitam esta relação não linear. Por outro lado, uma quantidade significativa dos cloretos presente no aerosol marinho não se deposita na superfície do concreto e, consequentemente, não o penetra (MUSTAFA e YUSOF, 1994). Desta forma, estes aspectos devem contribuir para explicar o comportamento observado.

De forma empírica, as relações entre a concentração total média de cloretos acumulada no concreto ao longo do tempo e a deposição acumulada de cloretos pode ser expressa através da expressão $C_{tot} = C_0 + k_{cl} \sqrt{D_{ac}}$, onde C_{tot} representa a concentração total média de cloretos acumulados no concreto, C_0 a concentração inicial de cloretos no concreto e D_{ac} a deposição acumulada de cloretos (soma mês-a-mês das medidas de deposição). A Figura 8 apresenta as curvas obtidas através de ajustes da expressão anterior aos dados experimentais, com boa aproximação ($r^2 > 0,94$). As expressões obtidas demonstram a atenuação de crescimento das curvas anteriormente citada, bem como a influência da relação a/c no crescimento dos valores de C_{tot} .

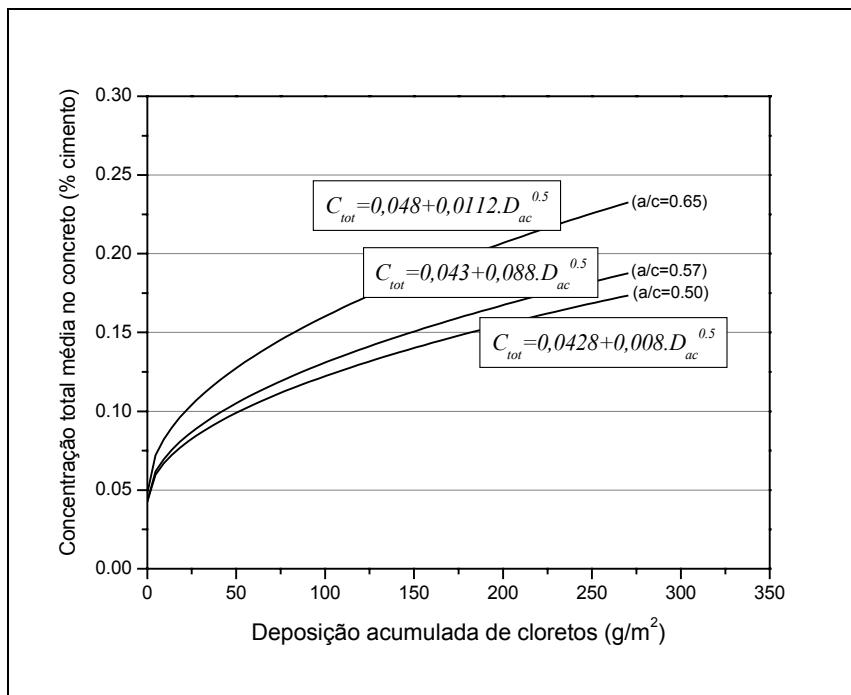


Figura 8 – Relação entre deposição acumulada de cloretos e concentração total média no concreto.

5 CONCLUSÕES

A presença de cloretos na zona de atmosfera marinha depende das características climatológicas do meio. Nesse sentido, o vento desenvolve influência preponderante na geração e transporte do aerosol, com efeito acentuado nas medidas de deposição de cloretos a partir do patamar de 3,0 m/s. Isto se reflete no comportamento temporal do aerosol, que apresenta períodos do ano com maior concentração salina, alternados com períodos de concentração inferior.

As medidas de deposição de cloretos pelo ensaio da vela úmida representam, indiretamente, a disponibilidade de sais na atmosfera para penetrar no concreto e, portanto, apresentam boa relação com a acumulação de cloretos no concreto. Desta forma, o afastamento do mar determina a redução acentuada na oferta de cloretos para penetrar no concreto. Contudo, esta redução, no concreto, ocorre

de forma mais lenta, indicando que a relação entre a deposição de cloretos e os cloretos que penetram no concreto não é linear.

A melhor relação entre estas duas variáveis é representada pela expressão expressão $C_{tot} = C_0 + k_{cl} \sqrt{D_{ac}}$, onde C_{tot} representa a concentração total média de cloretos acumulados no concreto, C_0 a concentração inicial de cloretos no concreto e D_{ac} a deposição acumulada de cloretos. Apesar de ser uma relação empírica, representa um avanço no sentido de buscar relacionar uma medida indireta da oferta de cloretos do ambiente com aqueles que se acumulam no concreto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G-140** (1996): Standard test method for determining atmospheric chloride deposition rate by wet candle method. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 1996.
- COSTA, A.; APPLETON, J. Chloride penetration into concrete in marine environment – part I: main parameters affecting chloride penetration, **Materials and Structures**, v. 32, p. 252-259, 1999.
- ERIKSSON, E. The yearly circulation of chloride and sulfur in nature: meteorological, geochemical and pedological implications. Part 1. **Tellus**, v. 2, n.4, p. 375-403, 1959.
- FELIU, S.; MORCILLO, M.; CHICO, B. Effect of distance from sea on atmospheric corrosion rate. **NACE**, v. 55, n. 9, p. 883-891, 1999.
- FITZGERALD, J. W. Marine aerosols: a review. **Atmospheric Environment**, v. 25A, n. 3/4, p. 533-545, 1991.
- GUSTAFSSON, M. E. R.; FRANZÉN, L. G. Dry deposition and concentration of marine aerosols in a coastal area, SW Sweden. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 6, p. 977-989, 1996.,
- MEIRA, G. R.; PADARATZ, I. J.; ALONSO, C.; ANDRADE, C. Effect of distance from sea on chloride aggressiveness in concrete structures in Brazilian coastal site. **Materiales de Construcción**, v. 53, n. 271-272, p. 179-188, 2003.
- MEIRA, G. R.; ANDRADE, C.; PADARATZ, I. J.; ALONSO, C.; BORBA Jr., J. C. Sea-salt model to marine atmosphere environment. In: *fib SIMPOSIUM STRUCTURAL CONCRETE AND TIME*, 2005, La Plata. **Proceedings...** Argentina: *fib*, 2005. p. 19-26.
- MORCILLO, M.; CHICO, B.; MARIACA, L.; OTERO, E. Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site. **Corrosion Science**, v. 42, p. 91-104, 2000.
- MUSTAFA, M. A.; YUSOF, K. M. Atmospheric chloride penetration into concrete in semi-tropical marine environment. **Cement and Concrete Research**, v. 24, n.4, p. 661-670, 1994.
- RILEM, “Analysis of total chloride content in concrete – RILEM TC 178-TMC”, **Materials and Structures**, 35 (2002): pp. 583-585.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, ao Instituto Eduardo Torroja, a Universidade Federal de Santa Catarina, ao Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba e ao engenheiro Clóvis dos Santos Lima Neto.