



ANAIIS DO 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO
CBC2007

SETEMBRO / 2007

ISBN 978-85-98576-17-6

© 2007 - IBRACON



Teor de Cloretos Proximos a Superficie do Concreto em Ambientes Maritimos

Chloride content next to the surface of concrete in marine environments

Andre Tavares da Cunha Guimarães (1); Pedro Castro (2); Jorge Nunes (3)

(1) Professor Doutor, Departamento de Materiais e Construção, FURG, Rio Grande, RS – atcg@vetorial.net

(2) Investigador Titular, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida, Yucatán, Mexico – pcastro@mda.cinvestav.mx

(3) Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, FURG

Resumo

Um dos **mais** importante **fator** que influenciam a **penetração** de cloretos no concreto é a concentraçgo em ambos tipos de **perfis**: com a presença ou **não** de um **pico**. Neste trabalho discute-se a concentraçgo superficial de cloretos para alguns micro-ambientes. **Baseado nestas** discussbes, valores de concentraçbes **superficiais são** propostas para serem utilizadas em modelos de vida util de estruturas de concreto. **Mais** dados **são necessários** para tornarem estes modelos **mais** precisos.

Palavra-Chave: cloreto, concreto, difusão, durabilidade

Abstract

One of the most important factors influencing chloride penetration in concrete is the superficial concentration in both: with the presence or not of a peak. This work discusses the surface chloride concentration for several micro-environments. Based on this discussion, surface concentration values are proposed to be used in service life models of concrete structures. More data are needed to make this models more precise.

Keywords: chloride, concrete, diffusion, durability



1 Introdução

A intensidade de penetração de uma frente de ataque por ions cloreto e dependente da qualidade do concreto e do ambiente em que este esta inserido.

Na equação da segunda lei de Fick (eq. 1), a qualidade do concreto tem relação inversa com o valor do coeficiente de difusão (D), sendo que o ambiente tambem apresenta influência sobre este, através da temperatura, precipitação e umidade relativa.

$$\frac{C_{Ct} - C_0}{C_s - C_0} = \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D.t}} \quad (\text{Equação 1})$$

sendo:

C_{Ct} - concentração para um tempo t e distância x da interface;

C_0 - concentração inicial no concreto;

D - coeficiente de difusão, considerado constante.

O ambiente tambem tem influência sobre o valor de teor de cloretos na superfície da estrutura, onde a salinidade do ambiente, vento, temperatura, insolação e precipitação são fatores importantes.

Em função do ambiente que o concreto esteja inserido o valor de C_s pode apresentar grandes variações.

Na Fig. 1 são simulados dois perfis de cloretos, um para valor de C_s de 3% e outro para o valor de C_s de 1%, considerando um mesmo valor de coeficiente de difusão ($D = 1,48 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$) e a mesma idade ($t = 50$ anos).

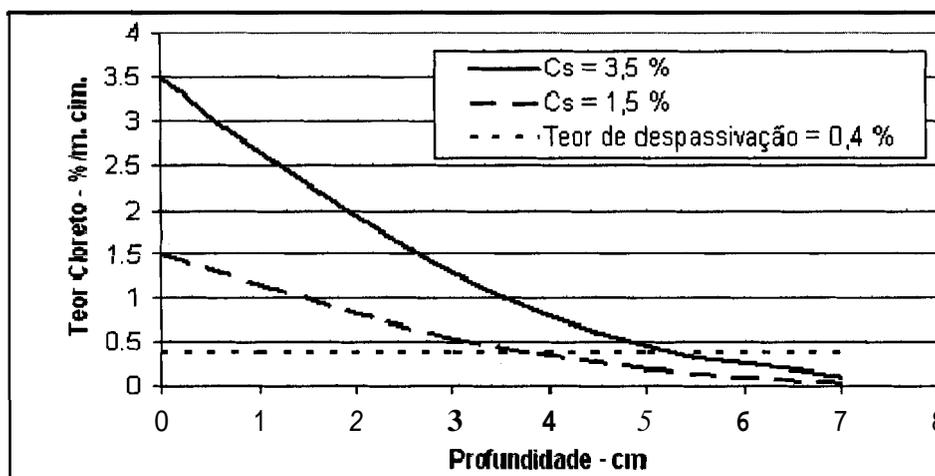


Figura 1 – Perfis para diferentes valores de C_s , $D = 1,48 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ e $t = 50$ anos

Neste exemplo, a frente de ataque por cloretos para C_s de 3,5% atinge uma profundidade de 51 mm e para C_s de 1,5% atinge a profundidade de 40 mm, na idade de 50 anos. Para atingir a profundidade de 51 mm, no mesmo exemplo e considerando $C_s = 1,5\%$, são necessários aproximadamente 81 anos, ou seja, 31 anos a mais que para $C_s = 3,5\%$. Portanto ha uma grande influência do valor de C_s sobre a vida útil da estrutura.



2 Formação do Teor de Cloreto na Superfície do Concreto - C_s

Na atmosfera salina um dos mecanismos mais decisivos no acúmulo de cloretos junto a superfície e o efeito de secagem e molhagem.

Alguns perfis formam picos, ou seja, o teor de cloreto aumenta da superfície da estrutura para o interior do concreto até uma determinada profundidade, diminuindo a partir deste ponto (CASTRO, 1999).

MEIRA (2004) demonstra em corpos-de-prova expostos em ambiente marítimo que durante a formação de perfis de cloretos com picos (C_p), nas primeiras idades os valores do teor de cloretos no pico aumentam com a idade. Observou também que este aumento é menor em idades mais avançadas.

GUIMARÃES e HELENE (2006) observaram em zona predominantemente de respingo, de cais de porto marítimo, a tendência do teor no pico (C_p) estabilizar em idades mais avançadas. Obtiveram valores medidos de C_p de 0,57% e 0,60% de teor de cloretos em relação a massa de concreto para idades de 22 anos e 27 anos respectivamente. A pequena diferença está dentro do erro possível do ensaio. Observa-se também que ambas as curvas de regressão apresentaram valores de 0,59% em relação a massa de concreto, que em relação ao traço do concreto equivale a 3,5% de cloretos em relação a massa de cimento.

O mesmo deve ocorrer com o valor de C_s . Embora este fato não esteja confirmado, pode-se deduzir que em idades avançadas o aumento de C_s seja muito pequeno. Como o valor de C_s é normalmente considerado constante na eq. 1, utilizando valor de C_s de estruturas com idade superior a 20 anos, por um lado tende a estimar a mais a vida útil, pois este valor deve aumentar para idades superiores, e por outro lado tende a estimar a menos a vida útil, já que este valor é inferior nas primeiras idades. Portanto o erro na estimativa da vida útil devido a considerar C_s observado em estruturas com idade superior a 20 anos deve ser pequeno, visto que estes efeitos são contrários e pequenos, principalmente quando o valor de C_s aumenta mais rapidamente nos primeiros cinco anos.

Como os mecanismos de formação dos picos devem ser mais compreendidos, pois ainda é difícil de prever quando estes surgem, este estudo tem como objetivo permitir estimar o valor do teor de cloretos na superfície (C_s) com a finalidade de estimar a vida útil de uma estrutura na fase de projeto. Somente será destacado a formação de perfil formando pico em zona de maré e respingo para estruturas localizadas em pontos de ligação de estuário com o mar, onde o perfil com pico pode ser observado e entendida sua formação com mais facilidade.

3 Valores Históricos de C_s em zona de nevoa junto a água do mar

Nesta seção serão analisados valores de C_s obtidos em zona de nevoa estruturas pesquisadas com mais de 20 anos de uso.

3.1 Primeiro estudo de caso – GUIMARÃES (2000)

Neste estudo foram pesquisados elementos estruturais de um cais localizado no extremo sul do Brasil, em porto marítimo da cidade do Rio Grande – RS.

Foram pesquisados quatro pontos em cotas diferentes em relação ao nível médio da água do mar. O primeiro ponto, denominado PS, e o segundo, denominado PI, ANAIS DO 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2007 – 49CBC0030



encontram-se a uma distância do nível medio da agua de 2,02 m e 0,52 m, respectivamente.

Através de medidas de maregrafo proximo aos pontos pesquisados e considerando que o respingo atingia a altura de 0,5 m (valor este proximo ao medido por BRETANHA (2004)), GUIMARÃES (2000) estimou que na cota 2,02 m comporta-se como zona de nevoa durante todo ano e na cota 0,52 m comporta-se como zona de nevoa em 85,3% dos dias do ano e como zona de respingo 14,8%.

A distância no sentido horizontal da agua do canal do Rio Grande e nula para todos os pontos, sendo que a media anual da salinidade da agua do canal do Rio Grande proximo ao cais e de 9,71 ‰, sendo o da agua do mar de 34 ‰.

O concreto dos pontos PS e PI foi executado com agregado graúdo de origem granitica britada com diâmetro maximo ($D_{máx}$) de 38 mm e a areia e quartzosa. O aglomerante utilizado e pozolânico com 34% de cinza volante (CP IV-32), com um consumo de 403 kg/m³ e teor de C₃A inferior a 8%. A relação a/c e de 0,44 obtendo-se um f_{ck} de 23,4 MPa, conforme NBR 7680-83 - Extração, preparo, ensaio e analise de testemunhos de estruturas de concreto. Com 22 anos de uso (idade da extração) apresentou resistência media a compressão de 55 MPa, massa especifica de 2275 kg/m³ e absorção por imersão e apos fervura de 5,28 % conforme ASTM C 642-90 - Standard test method for specific gravity, absorption, and voids in hardened concrete.

Com os perfis de teor de cloretos dos pontos PS e PI foram obtidos valores de teor de cloretos em relação a massa de cimento proximo a superficie da estrutura de 3,1% e 3,7%, respectivamente.

O terceiro ponto, denominado ES, e o quarto ponto, denominado EI, estão localizados a 0,12 m e -0,18 m do nível medio da agua.

Através das medições diarias durante o ano de 1992, do maregrafo localizado proximo a estrutura pesquisada e com sistema de canaletas própria para medir a maxima altura diaria de respingo, BRETANHA (2004) classificou os micro-ambientes dos pontos ES e EI. No ponto ES são predominantes os dias de zona de nevoa (50%) e zona de respingo (45%) e poucos dias de zona de mare (5%). No ponto EI silo predominantes os dias de zona de respingo (58%) e os dias de zona de mare (35%) e poucos dias de zona de nevoa (7%), sendo os dias de zona submersa praticamente desprezível.

O concreto destes pontos foram executados com cimento pozolânico CP IV – 25, com relação a/c de 0,41, obtendo f_{ck} de 19 MPa e resistência a compressão media aos 22 anos de 45 MPa.

Os perfis dos pontos ES e EI formaram pico sendo obtidos valores de C_p de 3,5% e 2,4%, nas profundidades de 12,5 mm e 7,5 mm, respectivamente.

O pico nestes pontos provavelmente deve-se ao fato de observar-se as maiores mares nas estações de inverno e primavera, justamente quando ha maiores precipitações. Nestas estações do ano a agua junto a estrutura de concreto apresenta salinidade praticamente zero durante aproximadamente quatro meses do ano. Nos pontos ES e EI incidem grandes massas de agua devido estarem em zona de mare ou zona de respingo muito forte em muitos dias destas estações do ano. Portanto, esta massa de agua sem cloreto pode provocar a desalilização do concreto mais superficial, provocando a formação de perfis com pico.

3.2 Segundo Estudo de Caso – CASTRO et al. (2001)

A ponte sobre o Lago de Maracaibo, com 8678 m de comprimento, foi pesquisada com 33 anos de idade.

O concreto foi executado com uma relação a/c de 0,40 e consumo de cimento entre 300 kg/m³ e 400 kg/m³. Foram extraídos testemunhos de uma coluna e obtidos os teores de cloretos para diversas alturas e profundidades (Fig. 2).

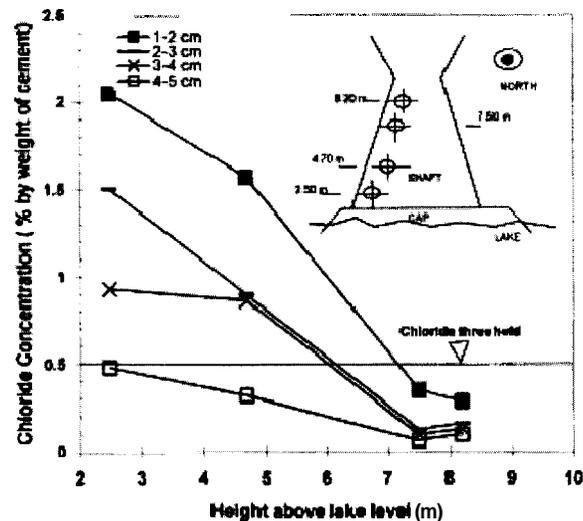


Figura 2 - Teores de cloretos para diversas alturas e profundidade de uma coluna da ponte sobre o Lago de Maracaibo (CASTRO et al., 2001)

Para o ponto de menor altura em relação a água do lago (2,50 m), foi obtido por regressão um valor de C_s de 3,2% de teor de cloretos em relação a massa de cimento. Para tanto, foi obtido perfil teor de cloreto versus profundidade referente ao ponto localizado na altura de 2,50 m (Fig. 3).

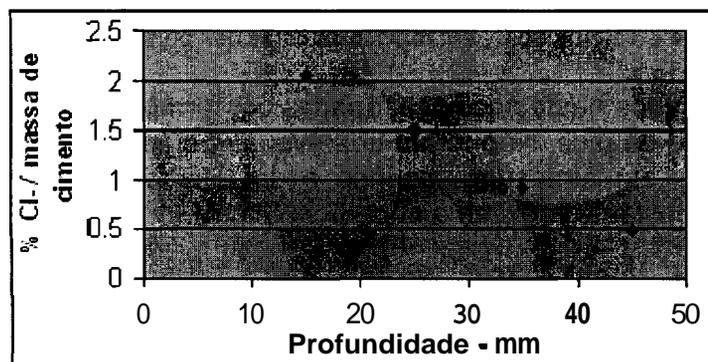


Figura 3 – Perfil de cloretos para zona de atmosfera a 2,50 m de altura da água, baseado nos dados de CASTRO et al. (2001)



3.3 Terceiro Estudo de Caso – Pereira (2003)

Foram pesquisadas duas plataformas de petróleo, construídas em concreto, no litoral do Rio Grande do Norte – Brasil (offshore).

Estas plataformas foram executadas no sistema de fôrmas deslizantes com resistência a compressão de projeto (f_{ck}) de 35 MPa, relação a/c de especificada para os costados de 0,42 e cimento Portland comum CP-32, com teor máximo de C_3A de 8%.

Durante a pesquisa nas plataformas PUB-02 e PAG-02, com aproximadamente 25 anos de idade, foram realizados ensaios, obtendo-se os seguintes valores: resistência a compressão média entre 51,1 MPa e 63,3 MPa, conteúdo de cimento entre 495 kg/m³ e 600 kg/m³ e porosidade entre 8,5 % e 13,5 %.

Na Fig. 4 observam-se os valores de C_s obtidos para nos perfis de cloretos em função da cota e da posição geográfica dos pontos pesquisados.

Para um total de 44 pontos, apenas três apresentam valores de C_s superiores a aproximadamente 3,8%, sendo que para todas as posições geográficas há pontos que são superiores a 3,0%. A altura não representa fator que influencie no teor de cloretos na superfície da estrutura, para os limites pesquisados.

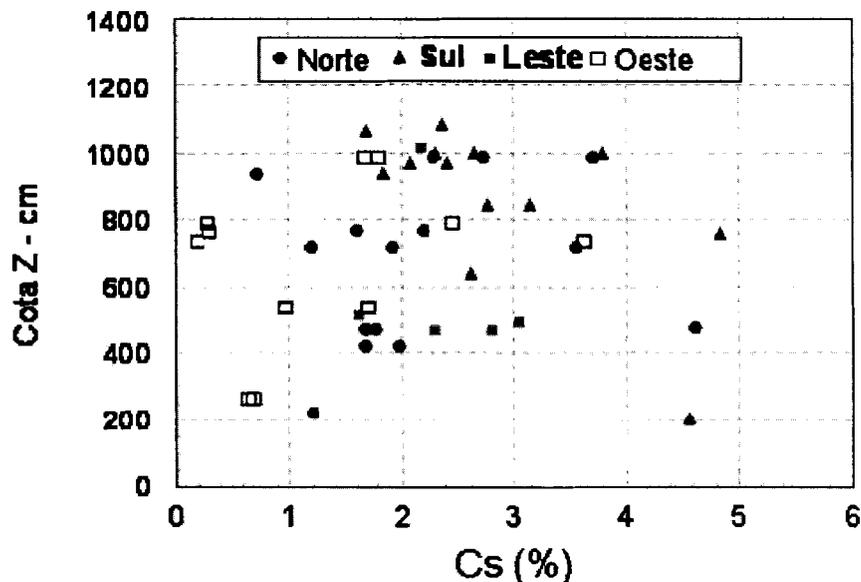


Figura 4 – Valores de C_s em relação as cotas dos pontos pesquisados

Em 55 perfis apresentados nesta pesquisa, apenas um formou pico e outros dois mostram tendência de formação de pico. Não foram observados perfis com pico na grande maioria dos perfis localizados em atmosfera marinha e em offshore, mesmo para perfis com extração de amostra bastante próxima a superfície (5mm).

3.4 Comparação dos resultados

A Tabela 1 mostra as principais características dos concretos pesquisados e valores de C_s para zona de nevoa para pequenas alturas em relação a água do mar.



Tabela 1 – Características dos concretos pesquisados e valores de C_s para zona de nevoa salina

Pesquisa	Local	Clima	F_{ck} MPa	a/c	Cimento	Consumo Cimento kg/m ³	Idade (ate pesquisa) anos	C_s %
Guimarães s2000	Sul Brasil	Sub- tropical	23,4	0,44	Pozolânico CP IV-32	403	22	3,1
Castro et al., 2001	Nordeste Venezuela	Tropical	--	0,40	--	300 - 400	33	3,2
Pereira 2003	Nordeste Brasil	Tropical	35	0,42	Portland comum	495 - 600	25	3,8*

* Valor superior a 93% dos teores de C_s obtidos na pesquisa

C_s considerado na Tabela 1 para a pesquisa de PEREIRA (2003) e um valor superior a 93% dos obtidos no estudo das plataformas.

Nota-se que mesmo para concretos com diferentes características o valor do teor de cloretos na superfície da estrutura não são muito divergentes.

As construções localizadas na saída de grandes estuários, como a de GUIMARÃES (2000) e CASTRO et al. (2001), apresentam concretos com características comuns, mas a primeira localizada em clima sub-tropical e a segunda em clima tropical. Estas duas pesquisas apresentaram valores de C_s muito parecidos.

A estrutura offshore (PEREIRA, 2003) apresentou valor de C_s ligeiramente maior, ou seja, 3,8%.

4 Variação de C_s com a Distância em Relação a Água do Mar

NUNES et al. (2004) pesquisando estruturas de concreto em uso, com idades superiores a 15 anos e diferentes distâncias da água do mar obteve o gráfico da Fig. 5.

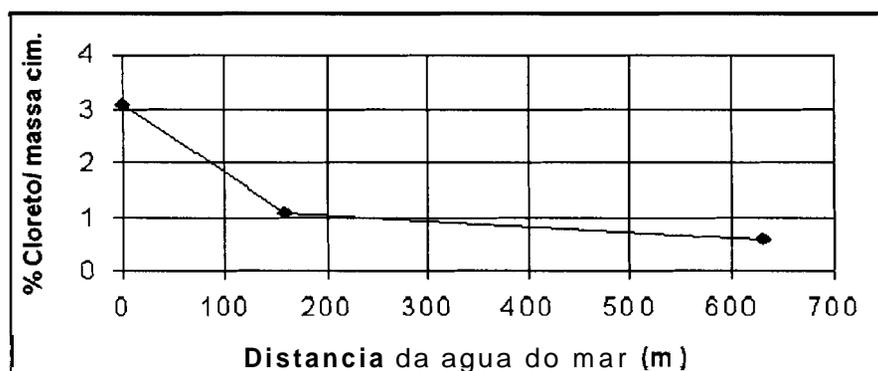


Figura 5 - Teor de cloreto em relação a massa de cimento nas camadas mais externas da estrutura de concreto em função da distância da água do mar – TECON: $C_s = 3,1\%$ e distância de zero metros; EMA: $C_s = 1,1\%$ e distância de 160 m; Terminal Turístico: $C_s = 0,6\%$ e distância de 630 m (NUNES et al., 2004)



No caso de lançar curvas por regressão para os valores de NUNES et al. (2004) os modelos apresentam uma grande redução para o valor de C_s para estruturas junto a água do mar até a distância de 10 metros. Após esta distância o valor de C_s , em função da distância da água do mar, diminui mais lentamente. Portanto as retas da Fig. 5 se apresentam como um modelo mais confiável para o momento, pois apresentam valores maiores, entre os pontos pesquisados, comparados com valores de curvas obtidos por regressão.

5 Variação de C_s com a Altura em Relação a Água do Mar

A altura em relação a água do mar também tem apresentado influência no teor de C_s . Utilizando o método de regressão pelo mínimo quadrado para valores de CASTRO et al. (2001), conforme Fig. 2, calculou-se de C_s de 3,2%, 2,26%, 0,64% e 0,44% de cloreto em relação a massa de cimento respectivamente para alturas de 2,5 m, 4,7 m, 7,5 m e 8,2 m em relação a água do Lago de Maracaibo.

Utilizando-se estes valores foi obtido o modelo da Fig. 6.

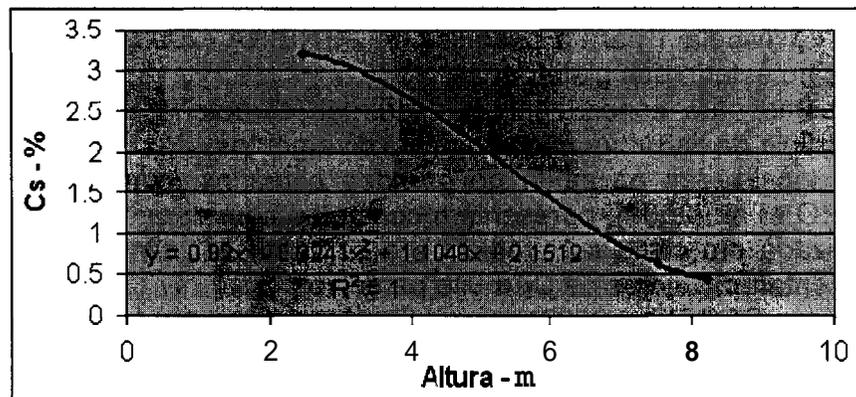


Figura 6 – Modelo da influência da altura sobre o valor de C_s obtido com valores de CASTRO et al. (2001)

BARBOSA et al. (2004) encontraram valores de aproximadamente 0,50% de teor de cloreto em relação a massa de cimento para o andar térreo de um edifício localizado a 700 m da água do mar na praia de Santos – Brasil. Após a execução da estrutura de concreto, nos anos 70, a obra foi abandonada até a data da pesquisa (2004). Do segundo pavimento ao nono pavimento obteve teor próximo a 0,23%, o que corresponderia aproximadamente a uma altura entre 5 m e 25 m mais o desnível do terreno até o nível da água do mar. No 18º pavimento obteve um teor de 0,12%. Nesta edificação, a redução de C_s com a altura é menor. Este fato pode estar relacionado com as características da nevoa salina que chega a distância de 700 m, a qual deve estar mais dissipada e mais leve que junto à linha da água do mar, envolvendo a estrutura de forma mais homogênea. CASTAGNO et al. (2004) obteve o valor de 0,18% de teor de cloreto em relação a massa de cimento a 40 metros de altura e distância horizontal de 500 m da água, em torre de concreto com 30 anos de idade e f_{ck} previsto em projeto de 15 MPa.



Os valores de BARBOSA et al. (2004) e CASTAGNO et al. (2004) confirmam a influência da altura em relação a água do mar sobre o valor de C_s , sendo que o primeiro também confirma a influência da distância.

Para zonas localizadas entre zonas de mare e zona de variação de mare os valores variaram de 2,4% a 3,7% de teor de cloretos em relação a massa de cimento, conforme GUIMARÃES (2000).

O trabalho de PEREIRA (2003) mostra que a altura, para as cotas pesquisadas em zona de nevoa, não influencia no valor de C_s para estruturas de concreto offshore.

6 Proposta de Modelo

Os valores propostos para C_s de estruturas junto a água do mar são baseados nos dados das obras com idade superior a 20 anos e os valores de C_s em zona de nevoa afastada da água do mar são baseados em dados de obras com idade superior a 15 anos e com variações próximas a de corpos-de-prova.

A Tabela 2 apresenta valores de C_s sugeridos para estimativa de vida útil de projeto.

Tabela 2 – Valores estimados de teor de cloretos na superfície do concreto - C_s

Estrutura junto a costa			Estrutura offshore
Distancia da água do mar - m (h = 2m)	C_s - zona de nevoa - % (Cl / massa cim.)	C_s - entre zona de respingo e zona de mare - % (Cl/massa cim.)	C_s - zona de nevoa em estrutura - % (Cl / massa cim.)
Zero	3,2	3,8	
160	1,1		
680 a 5000	0,6		
<ul style="list-style-type: none"> - Interpolar para valores intermediários para distâncias até 680 m; - Desconsiderar ambiente marítimo para distâncias superiores a 5000 m; - Para altura entre 2,0 m e 8,2 m considerar: $C_s = 0,02h^3 - 0,3241h^2 + 1,1048h + 2.1512$ Onde: h - altura em relação a água do mar em metros; - Para h > 8,2 m, considerar $C_s=0,6\%$ 		Para zonas de respingo e mare localizados junto a estuários, recomenda-se considerar a formação de pico. Sugere-se a transferência de $x = 0$ para ponto do pico e $C_p=3,8\%$. Pode-se, nestas condições utilizar a equação tradicional de segunda lei de Fick para estimar a vida útil de projeto: $\frac{C_{cl} - C_o}{C_s - C_o} = \text{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D.t}}$	Não considerar influência da variação de altura
		Na falta de valores, pode-se adotar o valor de 15 mm para profundidade do pico para concreto de $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$; sem formação de pico (profundidade de zero mm) para $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$, e interpolar para valor de resistência à compressão entre 30 e 50 MPa. No caso de utilizar concretos com $f_{ck} < 20 \text{ MPa}$, ou em condições diferentes as aqui descritas, o valor de C_p deve ser pesquisado. No caso de locais onde já são observados picos em maiores profundidades, estas devem ser consideradas.	

OBS: Como atualmente não é possível relacionar as pesquisas sobre a influência da altura com a influência da distância da água do mar, deve-se usar uma ou outra influência, podendo optar pelo menor valor obtido. Desta forma não será considerada sobreposição das influências, para a qual haveria muita incerteza.



7 Considerações Finais

A alguns anos, os valores de C_s eram considerados menores que os propostos na Tabela 2, para estruturas junto a água do mar. Entretanto, a vida útil utilizando os modelos daquela época era superestimada (GUIMARÃES, 2000).

Pesquisas recentes colaboram para o melhor entendimento de fatores que influenciam na penetração de íons cloreto no concreto, como, tipo de materiais, técnicas de execução e características do ambiente e micro-ambiente.

No caso da influência do ambiente, além da temperatura e sua variação sazonal, pesquisas apontam a grau de saturação do concreto e sua variação sazonal como forte fator de influência na difusão de cloretos (GUIMARÃES, 2000; CLIMENT et al., 2002; NIELSEN e GEIKER, 2003; GUIMARÃES e HELENE, 2005). Considerando estes fatores estima-se valor de vida útil mais próximo a realidade (GUIMARÃES e HELENE, 2005).

Considerando a distância e a altura do elemento estrutural em relação a água do mar também se aumenta a estimativa de vida útil de estruturas mais afastadas da água do mar, como se tem observado em edificações em uso (CASTRO et al., 2001; GUIMARÃES e HELENE, 2006).

Portanto, acredita-se que os valores sugeridos na Tabela 2 venham a colaborar para a obtenção de modelos mais precisos de vida útil do concreto para ambiente marítimo em regiões de clima tropical e sub-tropical.

Este estudo deve ter continuidade visando obter mais dados sobre o valor do teor de cloreto junto a superfície do concreto, aumentando a precisão da estimativa de C_s e C_p , além de identificar quando e como surgem os perfis de cloreto com pico.

8 Referências

ANDRADE, C.; SAGRERA, J. L.; SANJUAN, M. A. Several years study on chloride ion penetration into concrete exposed to Atlantic Ocean water. **Second International Rilem Workshop on Testing and Modelling the Chloride Ingress Into Concrete**. Paris, RILEM, 2000.

BARBOSA, P.; HELENE, P.; PEREIRA F.; GRULLÓN M.; MEDEIROS M.. Influência de ciclos de molhamento e secagem, da altura e do posicionamento de pilares no teor de íons cloreto presentes no concreto de estrutura com 30 anos de idade, **Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica – SEMENGO**. Rio Grande, FURG, 2004.

BRETANHA, S. **Variação do grau de saturação do concreto em ambiente marítimo**. Rio Grande, 2004. Dissertação (Mestrado), Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Engenharia Oceanica.

CASTRO P, **Corrosion por cloruros en el concreto armado**, Mexico, D. F., 1995. Tese (Doutorado), Universidad Nacional Autónoma de Mexico.

CASTAGNO JR, R.; GUIMARÃES, A. T. C.; HELENE, P. R. L. . Penetração de cloretos em estruturas com secagem e molhagem em zona de nevoa, **Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica – SEMENGO**. Rio Grande, FURG, 2004. CD



ANAIIS DO 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO
CBC2007

SETEMBRO / 2007

ISBN 978-85-98576-17-6

© 2007 - IBRACON



CASTRO, P.; DE RINCON, O. T.; PAZINI, E. J.. Interpretation of chloride profiles from concrete exposed to tropical marine environments. Cement and Concrete Research, v.31, p. 529-37, 2001.

CLIMENT, M. A.; VERA, G.; LÓPEZ, J. F.; VIQUEIRA, E.; ANDRADE, C. A test method for measuring chloride diffusion coefficients through nonsaturated concrete – Part I: The instantaneous plane source diffusion case. Cement and concrete Research, v 32, p. 1113-1123, 2002.

GUIMARÃES, A. T. C.. Vida útil de estruturas de concreto **armado** em ambientes marítimos. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo - PCC/USP, Engenharia Civil.

GUIMARÃES, A. T. C.; HELENE, P. R. L. . Comportamento ao Longo do Tempo de um Perfil de Cloretos Formando Pico, **48º** Congresso Brasileiro do Concreto, Rio de Janeiro, IBRACON, 2006. CD

GUIMARÃES, A. T. C.; HELENE, P. R. L.. Diffusion of Chloride Ions in Unsaturated Concrete: Forecast of Service Life in a Wet-Dry Environment. Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing - SP-229. Olinda, ACI, 2005.

MEIRA, G. R.. Agressividade por cloretos em **zona** de atmosfera **marinha** frente ao problema da **corrosão** em estruturas de concreto **armado**. Florianópolis, 2004. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina – PPGEC, Engenharia Civil.

MEIRA, G. R.; PADARATZ, I. J., ALONSO, M. C., ANDRADE, M. C.. Agressividade por Cloretos em Estruturas de Concreto em Ambientes de Atmosfera **Marinha**, **45º** Congresso Brasileiro do Concreto. Vitória, IBRACON, 2003. CD

NIELSEN, P. E.; GEIKER, M. R. Chloride diffusion in partially saturated cementitious material. Cement and Concrete Research, v33, p. 133-138, 2003.

NUNES; J. L. O.; GUIMARÃES, A. T. C.; SILVEIRA, B. P.; GUIMARÃES, D. L. C.; OLIVEIRA, M. T.; RODRIGUES, N. D.. Intensidade de ataque de cloretos: considerações sobre a distância do concreto em relação a água do mar, Seminario e Workshop em Engenharia Ocednica – SEMENGO. Rio Grande, FURG, 2004. CD

PEREIRA, A. C.. Metodos probabilisticos para la **predicción** de la vida util de estructuras de hormigon: influencia del factor variabilidad espacial en el **caso** de plataformas offshore en Brasil. Madrid, 2003. Tesis Doctoral. Universidad Politecnica de Madrid, Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales Y Puertos, Ingeniero Civil.