

# **Metodologia para obtenção de modelos de vida útil em estrutura marítima de concreto com idade avançada**

**André T. C. Guimarães<sup>1</sup>, Paulo R. L. Helene<sup>2</sup> & Valdecir A. Quarcione<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Materiais e Construção – FURG, Rio Grande, RS – atcg@mikrus.com.br*

<sup>2</sup>*Departamento de Construção Civil PCC/USP, São Paulo, SP – helene@pcc.usp.br*

<sup>3</sup>*Laboratório de Química de Materiais – IPT, São Paulo, SP – quarciva@ipt.br*

**RESUMO:** Esse trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de método para a obtenção de modelos de durabilidade em estruturas de concreto armado localizadas em ambiente marítimo. Este método foi desenvolvido realizando-se medições de profundidades de ataque de anidrido carbônico, íons cloreto e sulfato na estrutura de concreto do cais do Terminal de Containers localizado no complexo portuário da cidade do Rio Grande – RS, construção essa com 22 anos de idade. A partir das profundidades de ataque dos agentes agressivos e da idade da estrutura pesquisada são elaborados modelos em forma de ábacos onde obtém-se valores de cobrimentos das barras de aço em função da vida útil estabelecida em projeto para zona de névoa, zona de respingo e zona de maré. Os resultados obtidos são consistentes, sendo a aplicação do método indicada para outros ambientes litorâneos, permitindo a obtenção de dados em diversos locais ao longo da costa brasileira e a geração de modelos mais precisos no futuro. Para tal, é indispensável a padronização dos métodos de pesquisa para que dados de diversos trabalhos possam ser confrontados.

## **1. INTRODUÇÃO**

Hoje são disponíveis vários modelos de vida útil para concreto em ambiente marítimo obtidos a partir de ensaios de laboratório ou em corpos de prova expostos a esse ambiente.

Esse trabalho visa desenvolver método que permita elaborar modelos em forma de ábacos com dados extraídos de uma estrutura existente que tenha disponível o histórico de sua execução (materiais e técnicas), observando suas condições atuais e as características do ambiente em que está inserido. Pretende-se dessa forma obter um modelo mais real possível para ambientes, técnicas de construção e materiais similares aos pesquisados.

## **2. OBRA SELECIONADA E SUAS CARACTERÍSTICAS**

A primeira etapa deste estudo constituiu-se na seleção da obra a ser pesquisada, sua descrição e escolha dos elementos estruturais a serem pesquisados.

A pesquisa foi realizada em um cais marítimo localizado no complexo portuário da cidade do Rio Grande - Brasil (Fig. 1 e Fig. 2). Os elementos estruturais utilizado nesta pesquisa são a viga (PS) e a face vertical da laje (PI) de um trecho do paramento, dois pontos de mesmo nível das

estacas pranchas porém um na face externa do cais (ES) e outra na face interna (ESF) e em uma cota mais inferior das estacas pranchas (EI) do cais, todos localizados no Terminal de Containers - TECON (Fig. 2 e Fig. 3). Os pontos pesquisados de cotas diferentes, caracterizam diversos micro ambientes.

## **3. MEIO AMBIENTE**

Na segunda etapa obteve-se as características do meio ambiente onde a obra pesquisada está inserida.

No meio ambiente da obra pesquisada as principais características da água do canal de acesso ao Porto de Rio Grande são governadas pelo regime pluviométrico e ventos, sendo a profundidade média do canal 14 m.

A salinidade varia de 34<sup>0</sup>/<sub>00</sub> chegando a praticamente zero nos meses de junho, julho, agosto e outubro do ano de 1984 (época de mais precipitações) [1].

Os teores de magnésio e sódio atingem valores da ordem de 1.400 mg/l e 11.110 mg/l respectivamente e o pH da água varia de 7,25 a 8,40. A saturação de O<sub>2</sub> da água do canal varia de 88% a 112%.

Rio Grande é um dos maiores produtores de fertilizantes da América Latina (900.000 T/ano),

possui refinaria de petróleo, indústria de alimentos e efluentes de águas de agricultura, além de serem lançados nas enseadas e canais efluentes domésticos sem tratamento de uma população de 180.000 habitantes [2]. Essas mesmas indústrias ainda contribuem na poluição do ar sendo que os ventos predominantes desviam essa poluição do local da obra pesquisada (Fig. 2).

A umidade relativa do ar é normalmente acima de 80% [3]. No período de 1990 à 1995 as temperaturas máxima e mínima registradas foram respectivamente  $38,1^{\circ}\text{C}$  e  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , sendo comum observar-se variações diárias de  $15^{\circ}\text{C}$  e até  $16,2^{\circ}\text{C}$ , não apresentando problemas de congelamento [3].

Através das medições diárias durante o ano de 1992, do marégrafo localizado próximo a estrutura pesquisada e admitindo que a água respinga até uma altura de 50 cm, classificou-se os pontos da viga do paramento do cais (PS), que é uma zona de névoa durante o ano inteiro, como Zona Totalmente de Névoa (ZTN). Nos pontos da superfície vertical da laje, no paramento (PI), é predominante os dias de zona de névoa (85%) com alguns dias de zona de respingo (15%), sendo classificados como Zona Predominantemente de Névoa (ZPN). Nos pontos mais superiores nas estacas pranchas (ES e ESF) são predominantes os dias de zona de respingo (68%) com um substancial número de dias de zona de névoa (25%) e poucos dias de zona de maré (7%), sendo classificados como Zona Predominantemente de Respingo (ZPR). Nos pontos de extração mais inferiores das estacas pranchas (EI) são predominantes os dias de zona de respingo (59%) com muitos dias de zona de maré (38%) e o número de dias de zona de névoa e zona submersa é praticamente desprezível, sendo classificados como Zona Predominantemente de Respingo e de Maré (ZPRM).

#### 4. CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

Na terceira etapa obteve-se as características do concreto medidas na época de sua execução e a obtenção de dados na idade atual.

Na obra pesquisada foram extraídos testemunhos, conforme ASTM C 42-94 - Standart test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete e realizados ensaios de caracterização, além dos dados obtidos em relatórios de execução da obra.

O concreto da estrutura foi executado com agregado graúdo de origem granítica britada com diâmetro máximo ( $D_{\text{máx}}$ ) de 38 mm e a areia é quartzosa. O aglomerante utilizado na viga e laje do paramento era pozolânico com 34% de cinza volante (CP IV-32) com um consumo de  $403 \text{ kg/m}^3$ . A relação a/c é de 0,44 obtendo-se um  $f_{\text{ck}}$  de 24 MPa e 23 MPa para o concreto da viga e laje do cais, respectivamente. Nas estacas pranchas foi utilizado o cimento CP IV-25 com relação a/c de 0,41 obtendo-se um  $f_{\text{ck}}$  de 19 MPa.

Com 22 anos de uso os concretos da viga e laje do paramento apresentaram massa específica seca de  $2275 \text{ kg/m}^3$  e absorção por imersão e após fervera de 5,28 % conforme NBR 9778-87 - Argamassas e concreto endurecidos-Determinação da absorção de água por imersão-Índice de vazios e massa específica. O concreto das estacas pranchas apresentaram massa específica seca de  $2190 \text{ kg/m}^3$  e absorção por imersão e após fervera de 7,10 %.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão em testemunhos do concreto na idade atual, retrocedendo esse valor para a idade de 28 dias, através da estimativa do aumento de resistência conforme NBR 7680 (1980). Obteve-se valores muito próximos entre as resistências à compressão obtidas na época da execução do cais e os valores retrocedidos, colaborando para uma confiabilidade nos dados obtidos.

#### 5. ESTADO DE CONSERVAÇÃO E INTENSIDADE DO ATAQUE

Na quarta etapa obteve-se dados que caracterizaram o ataque do meio ambiente. Para tal, foram realizados ensaios de profundidade de carbonatação, perfis de íons cloreto e sulfato, além de medições de potencial de corrosão, corrente de corrosão e resistividade do concreto visando determinar em que teor de íons cloreto inicia-se a corrosão do aço.

##### 5.1. Profundidade de carbonatação

Foram realizadas duas medições da frente de carbonatação em cada ponto pesquisado: uma com aspersão de solução de fenolftaleína e outra com solução de timolftaleína. A aspersão foi realizada em concreto lascado na borda dos furos de extração de testemunhos.

As medições com fenolftaleína apresentaram valores muito baixos (zero em quase todas medições).

As medições com timolftaleína apresentaram profundidades máximas de frente de carbonatação de 4,0 mm e 2,0 mm para os pontos PS e PI, respectivamente (paramento do cais). Os pontos ES e EI (estacas pranchas) apresentaram profundidades zero de frente de carbonatação.

Considerando as profundidades da frente de carbonatação, a idade de 22 anos da estrutura pesquisada e considerando o modelo  $c_{CO_2} = k_{CO_2} \cdot (t)^{0,5}$  obtém-se os modelos para os pontos PS e PI, os quais são visualizados na Fig. 4.

Conforme era esperado, nas cotas mais elevadas os elementos estruturais pesquisados apresentaram profundidade de carbonatação maior, pois o teor de umidade do concreto é menor.

## 5.2. Medições de potencial de corrosão, corrente de corrosão e resistividade do concreto

Foram realizados ensaios para medir potencial de corrosão, corrente de corrosão e resistividade do concreto com equipamento denominado Gcor6, que junto com exame visual pesquisou-se com que teor de cloretos as barras de aço eram despassivadas.

Observou-se que algumas barras da viga do paramento estavam despassivando com profundidade de aproximadamente 38 mm, profundidade essa que apresentava um teor de íons cloretos de aproximadamente 0,07% em relação ao concreto seco, que equivale a 0,4 % em relação a massa de cimento. Essas barras apresentaram uma baixa taxa de corrosão (abaixo de 0,2 microA/cm<sup>2</sup>), mas potencial de corrosão que indica 95% de probabilidade de corrosão (menor que -350 mV em duas medições na mesma barra com cobertura de 38 mm, de acordo com a ASTM C876-87 - Standart test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete).

## 5.3. Teores de íons cloreto solúveis em água e solúveis em ácido

Para obter a profundidade de ataque por cloretos o material foi extraído pulverizado com auxílio de furadeira equipada com dispositivo de aspiração. Foram realizadas extrações a cada 5 mm de profundidade até uma profundidade máxima de

50 mm. Para a análise de cada micro ambiente (cota) foi extraído material de 20 furos com diâmetro de 1/2" em cada um dos seis pontos dos 50 m de um trecho do cais que tem um total de 300 m, totalizando 120 furos por micro ambiente.

Os teores de cloretos livres (ASTM C 1218-92 - Standart test method for water-soluble chloride in mortar and concrete) e totais (ASTM C 1152-90 - Standart test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete) medidos nestas amostras foram sempre semelhantes, evidenciando a não fixação de cloretos na pasta endurecida do concreto. Os perfis obtidos são apresentados na Fig. 5, sendo os teores em relação a massa de concreto.

Os resultados estão de acordo com o esperado, visto que HELENE [8] e o CEB-BI 183 - Durability of concrete structures-Design Guide (1992) citam que o ataque no ambiente marítimo normalmente é maior na zona de respingo que na zona de névoa e é maior na zona de maré do que em zona submersa (Fig. 5).

Utilizando o modelo  $c_{Cl^-} = k_{Cl^-} \cdot (t)^{0,5}$  obtém-se o coeficiente de penetração de cloretos mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Coeficientes de penetração dos íons cloreto para os concretos e micro ambientes pesquisados

Pontos	Cota DH N cm	Micro ambientes	$f_{ck}$ MPa	$c_{Cl^-}$ mm	t anos	$k_{Cl^-}$ mm. ano <sup>-1/2</sup>
PS	360	ZTN - SL	24	25,5	22	5,4
PI	210	ZPN - SL	23	36,3	22	7,7
ES	170	ZPR -ST	19	43,8	22	9,3
ESF	170	ZPR-SF	19	32,5	23	6,8
EI	140	ZPRM-ST	19	35,0	22	7,5

ZTN - Zona totalmente de névoa; ZPN - Zona predominantemente de névoa; ZPR - Zona predominantemente de respingo; ZPRM - Zona predominantemente de respingo e maré. SL, ST e SF - Respectivamente sup. lateral, de topo e de fundo em relação a concretagem.

Para que se possa comparar os resultados de todos elementos estruturais pesquisados, deve-se levar em conta a diferença entre os concretos utilizados. Para tal, comparou-se os resultados obtidos no ábaco de HELENE [7]. Esse ábaco mostra uma diferença de aproximadamente 10% entre as profundidades de ataque de íons cloreto, em ambiente similar e diferença aproximada de resistência a compressão ( $c_{c20} / c_{c25} \cong 1,10$ ), para

diversas idades. Foi utilizado esse fator, pois a diferença entre os dois concretos utilizados na época era apenas o cimento, que no paramento foi utilizado cimento pozolânico 320 e nas estacas pranchas do Trecho 6 cimento pozolânico 250; houve diminuição do consumo de água reduzindo a relação a/c com utilização de plastificante. Além desse coeficiente, também é considerada a posição da face quando da concretagem do elemento estrutural. No caso do paramento a superfície externa foi lateral, enquanto que as estacas pranchas, que foram pré moldadas, a superfície externa pesquisada foi de topo.

GUIMARÃES et al. [5], através de ensaio de penetração de íons cloretos (ASTM C 1202-94 - Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration), obtiveram resultados de 35 % a mais de carga passante em corpos de prova com superfície de topo em relação a corpos de prova com superfície lateral, utilizando formas metálicas, traço de concreto com teores da mistura aproximados (1:4:0,44) e abatimento de tronco cônico (Slump Test) também parecido (10 cm). Essa carga passante é proporcional ao fluxo de íons cloretos e portanto, ao coeficiente de difusão. Assim, a profundidade da frente de ataque é proporcional a  $(D)^{1/2}$ .

O resultado dessa pesquisa [5] é confirmado comparando-se os coeficientes de penetração de íons cloreto dos pontos ESF que correspondem a superfície de fundo em relação a superfície de concretagem e dos pontos ES que correspondem a superfície de topo (Tabela 1). O coeficiente de penetração de ES é 38% maior que o de ESF, sendo que o coeficiente de penetração é proporcional a profundidade da frente de ataque dos íons cloretos. Na pesquisa de GUIMARÃES et al. [5] a diferença entre as cargas passantes para as mesmas superfícies e traço de concreto com teores da mistura aproximados, é de 71%, que corresponde a uma diferença na profundidade de ataque de  $(1,71)^{1/2} \cdot 100\% = 31\%$ . O resultado das medições nos pontos ES e ESF são 22% maiores que os resultados da pesquisa de GUIMARÃES et al. [5]. Considerando que o traço do concreto não é exatamente o mesmo, além de tipo de forma e cura, essa diferença é razoável.

Assim, as profundidades de ataque dos pontos ES e EI são divididas pelos coeficientes 1,10 e  $(1,35)^{1/2}$ , passando seus valores para 34,3 mm e

27,4 mm respectivamente. Os valores são comparados na Fig. 6.

A curva da Fig. 6 é similar a apresentada pelo CEB-BI 183 (1992), como curva de variação de risco de corrosão para diversas zonas de exposição em ambiente marítimo. No gráfico do CEB o maior risco é entre a zona de névoa e zona de respingo e na Fig. 6 a maior profundidade de ataque é na zona predominantemente de névoa mas com algumas épocas do ano como zona de respingo (ZPR).

Com os valores das profundidades de ataque e a idade dos elementos estruturais pesquisadas obtém-se os modelos apresentados na Fig. 7.

#### 5.4. Teores de íons sulfato solúveis em água

De forma similar ao descrito para cloretos foram obtidos os teores de sulfatos livres ou solúveis em água (ASTM C 1218-92 e diretrizes gerais da ASTM C25-96 - Standard test method for chemical analysis of limestone, quicklime, and hydrated lime). Devido aos baixos teores de sulfato observados nos concretos pesquisados, somente foi possível identificar a frente de contaminação por sulfato e não uma frente de ataque. A Fig. 8 mostra os perfis de sulfatos livres no concreto, onde percebe-se uma diminuição dos teores até o teor de 0,14%. A partir desse ponto os valores encontram-se em torno de uma média mais ou menos constante. O ponto PS não apresenta frente de contaminação.

Utilizando o modelo  $c_{SO4} = k_{SO4} \cdot (t)^{0,5}$  obtém-se os coeficientes de penetração de sulfatos mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes de penetração dos íons sulfato para os concretos e micro ambientes pesquisados

Pontos	Cota DH N cm	Micro ambientes	$f_{ck}$ MPa	$C_{SO4}$ mm	t anos	$k_{SO4}$ mm. ano <sup>-1/2</sup>
PI	210	ZPN - SL	23	36,3	22	0,8
ES	170	ZPR -ST	19	43,8	22	1,6
EI	140	ZPRM-ST	19	35,0	22	2,5

ZPN - Zona predominantemente de névoa; ZPR - Zona predominantemente de respingo; ZPRM - Zona predominantemente de respingo e maré. SL e ST - Respectivamente sup. lateral e topo em relação a concretagem.

Da mesma forma que para os cloretos, os coeficientes de penetração de sulfatos para os pontos ES e EI foram corrigidos para permitir a comparação entre os diversos micro ambientes. Na falta de estudos específicos de coeficientes de penetração de sulfatos, utilizou-se as mesmas relações dos cloretos, visto que se trata também de um íon. Assim obtém-se os coeficientes corrigidos de  $1,3 \text{ mm.ano}^{-1/2}$  e  $2,0 \text{ mm.ano}^{-1/2}$  para os pontos ES e EI respectivamente. Nota-se que o coeficiente da frente de contaminação por sulfato aumenta da zona de névoa para a zona de maré.

Os modelos para os pontos das estacas pranchas são apresentados na Fig. 9.

## 6. MODELOS DE VIDA ÚTIL

Os íons cloreto apresentaram maiores profundidades de frente de ataque, sendo essa ação mais intensa na zona predominantemente de respingo (PI-ZPN), conforme Fig. 8, sendo obtido o modelo em função deste agente agressivo e deste micro ambiente.

O modelo aqui proposto a seguir é formulado com os dados dessa pesquisa utilizando a equação baseada na segunda lei de Fick ( $c_{\text{agente}} = K_{\text{agente}} \cdot (t)^{1/2}$ ), referindo-se ao período de iniciação do modelo de TUUTTI [10] e de acordo com os mecanismos clássicos de transporte de massa em materiais porosos.

Não foi encontrado na bibliografia pesquisada dados de campo sobre intensidade de ataque de íons cloreto em concretos de diferentes resistências à compressão. Sendo assim, é formulado um modelo para o mesmo ambiente, materiais e técnicas da obra pesquisada, alterando apenas a resistência à compressão do concreto, utilizando como base o ábaco para estimar a penetração de íons cloreto em função da vida útil desejada, sugerido por HELENE [6].

Neste ábaco as relações médias entre os cobrimentos, portanto entre o coeficiente de penetração dos íons cloreto, são de 2,0 para  $c_{C25}/c_{C45}$ , 1,5 para  $c_{C25}/c_{C40}$ , 1,24 para  $c_{C25}/c_{C35}$ , 1,11 para  $c_{C25}/c_{C30}$ , 1,10 para  $c_{C20}/c_{C25}$  e 1,18 para  $c_{C15}/c_{C25}$ .

GJØRV e VENNESLAND [4] pesquisaram em laboratório a penetração de íons cloreto da água do mar em corpos de prova de argamassa para relação a/c de 0,4, 0,5 e 0,6 executados com cimento Portland comum. Estima-se através de modelos de HELENE e TERZIAN [9] que essas relações a/c

equivalem a  $f_{c28}$  de 40,6 MPa, 33,0 MPa e 26,9 MPa, as quais equivalem aproximadamente a  $f_{ck}$  de 30 MPa, 25 MPa e 20 MPa respectivamente. Para uma frente de cloretos com teor de 0,1% em relação a massa seca de argamassa, as relações entre as profundidades de penetração apresentaram diferenças em percentuais bem próximos aos valores obtidos no ábaco de HELENE [7], ou seja, 1,09 para  $c_{C20}/c_{C25}$  e 1,11 para  $c_{C25}/c_{C30}$ .

Aplicando as relações obtidas no ábaco de HELENE [7] sobre o valor do coeficiente de penetração de íons cloreto para o ponto PI-ZPN obtém-se o ábaco da Fig. 10.

O concreto desta pesquisa, para o qual é estimado um  $f_{ck}$  de aproximadamente 23 MPa é considerado do tipo C25, sendo essa posição a favor da segurança. Esse ponto refere-se a zona predominantemente de névoa (ZPN), concreto com cimento pozolânico (adição de cinza volante) e resistências indicadas na Fig. 10

Observa-se na Fig. 10 que com o cobrimento mínimo estabelecido pela NBR 6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado (revisão, 2000) a vida útil de 50 anos só é atingida utilizando concreto com  $f_{ck}$  de 40 MPa ou superior, mantendo-se as condições indicadas neste ábaco. Nota-se também o considerado ganho de vida útil quando utiliza-se concreto com  $f_{ck}$  de 45 MPa ao invés de 40 MPa: aumenta-se a vida útil de 60 anos para 100 anos.

## 7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos são consistentes, sendo a aplicação do método indicada para outros ambientes litorâneos, permitindo a obtenção de dados em diversos locais ao longo da costa brasileira e a geração de modelos mais precisos no futuro. Obtém-se assim, economia na execução e manutenção de obras portuárias, normalmente de grande porte, além da obtenção de uma vida útil de 50 a 100 anos, que é uma tendência internacional. Estas perspectivas favorecem a preservação dos sistemas ecológicos, seja na exploração mais racional de matéria prima utilizada no concreto armado, seja na redução de resíduos poluentes na fabricação de cimento. Para tal é indispensável a padronização dos métodos de pesquisa para que dados de diversos trabalhos possam ser confrontados.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo auxílio à pesquisa, o qual viabilizou a realização desse trabalho. Ao químico-trainee Charles de Lima Brito do IPT, pela execução dos ensaios químicos.

## REFERÊNCIAS

1. Baumgarten, M. G. Z. *Avaliação de Balanus improvisus como indicador dos níveis metálicos do estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil)*. Rio Grande, 1987. Tese (Mestrado). Fundação Universidade do Rio Grande, Ocenografia Biológica.
2. Baumgarten, M. C. Z.; Nienchieski, F. H.; Kuroshima, K. N. *Qualidade das águas estuarinas que margeiam o Município do Rio Grande (RS): nutrientes e detergentes dissolvidos*. Revista Atlântica, v.17, p.19-36, Rio Grande, FURG, 1995.
3. Fundação Universidade do Rio Grande; Instituto Nacional de Meteorologia - 8<sup>o</sup> Distrito. *Relatórios*. Rio Grande, FURG, jan.90-dez.95.
4. GjØrv, O. E.; Vennessland, O. *Diffusivity of chlorides from seawater into concrete*. Cement and Concrete Research, v.9, USA, Pergamon Press, 1979.
5. Guimarães, A. T. C.; Tula, L.; Helene, P. R. L. *Performance of surface concrete elements*. In: II International Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures, Gramado, 1999.
6. Helene, P. R. L. *Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado*. São Paulo, 1993. Tese (Livre Docente), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil.
7. Helene, P. R. L. *Contribuição à normalização: A resistência sob carga mantida e a idade de estimativa da resistência característica; Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto armado*. São Paulo, 1994. (Monografias. EPUSP).
8. Helene, P. R. L. *Corrosão das armaduras em concreto armado*. In: 4<sup>o</sup> Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto-SIMPATCON. Anais. São Paulo, 1981, p. 1-44.
9. Helene, P. R. L.; Terzian, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. São Paulo, Pini, 1992.
10. Tuutti, K. *Service life of structures with regard to corrosion of embedded steel*. In: Performance of Concrete in Marine Environment, ACI SP-65, p. 223-37, 1980.

## FIGURAS

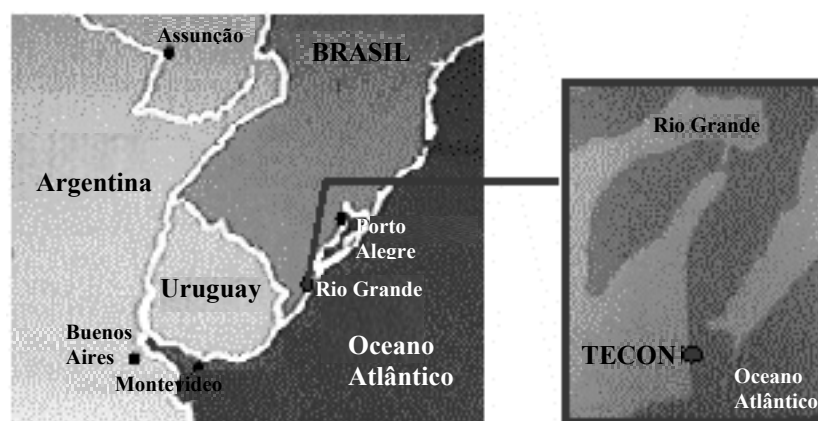
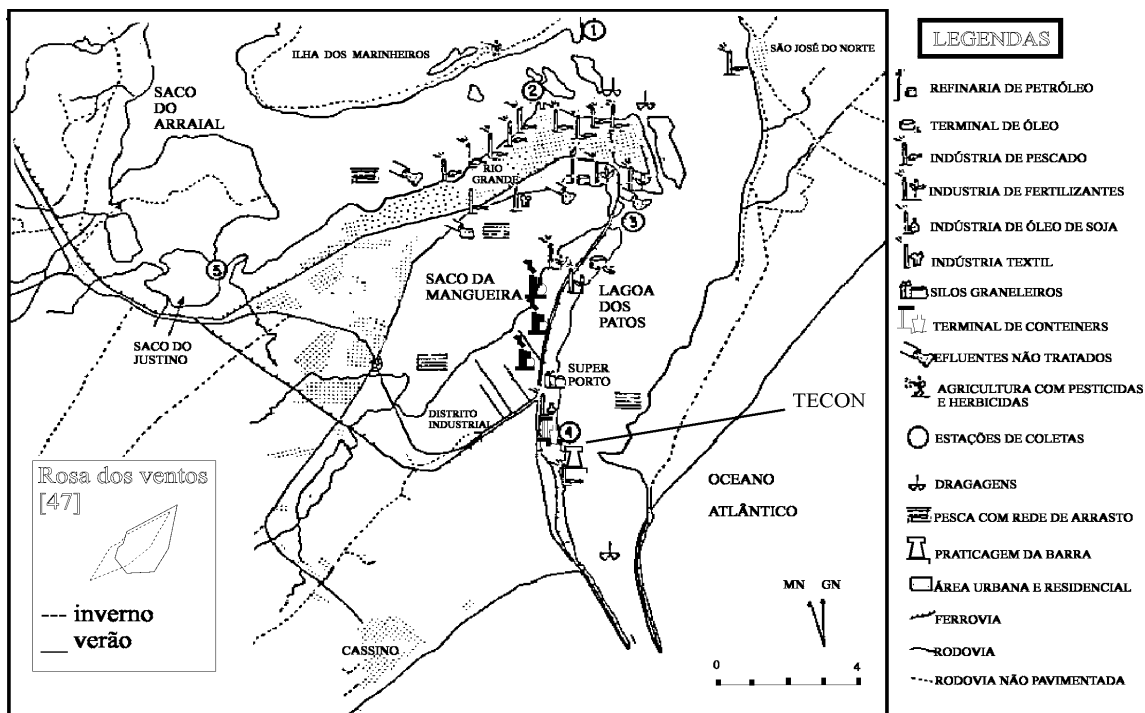
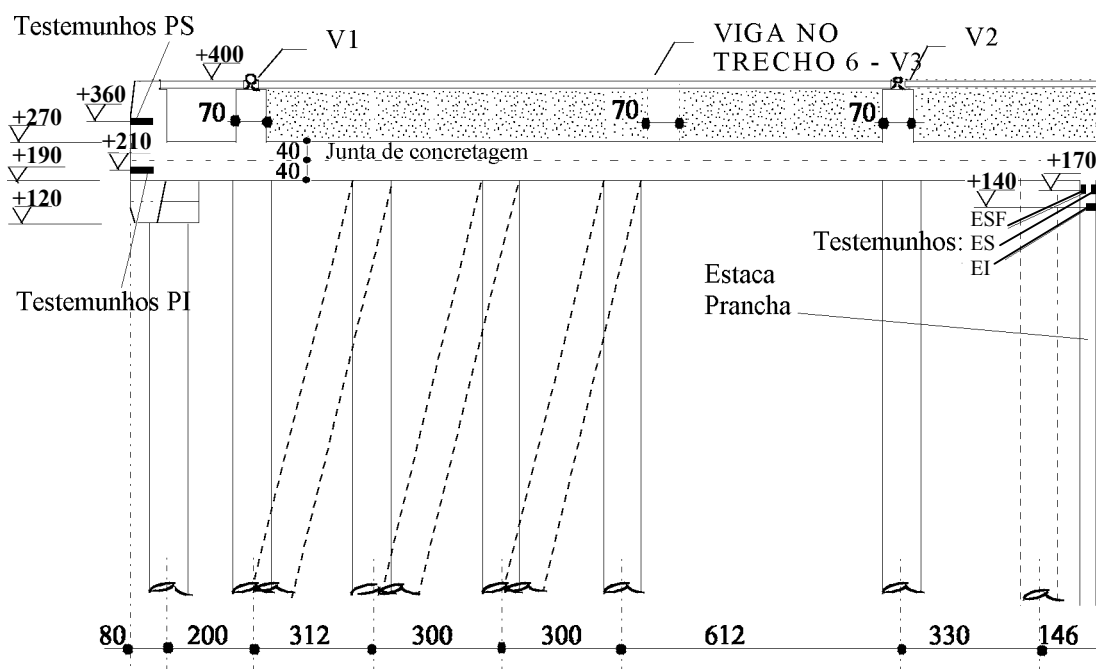


Figura 1 - Localização do cais do Terminal de Containers - TECON, RS, Brasil.



ADAPTADO DO MAPA PUBLICADO POR BAUMGARTEN (1987)

Figura 2 - Parte sul do estuário da Lagoa dos Patos



Obs: medidas em centímetros  
cotas de níveis em relação ao "Zero DHN"

Figura 3 - Estrutura do cais e localização dos pontos pesquisados

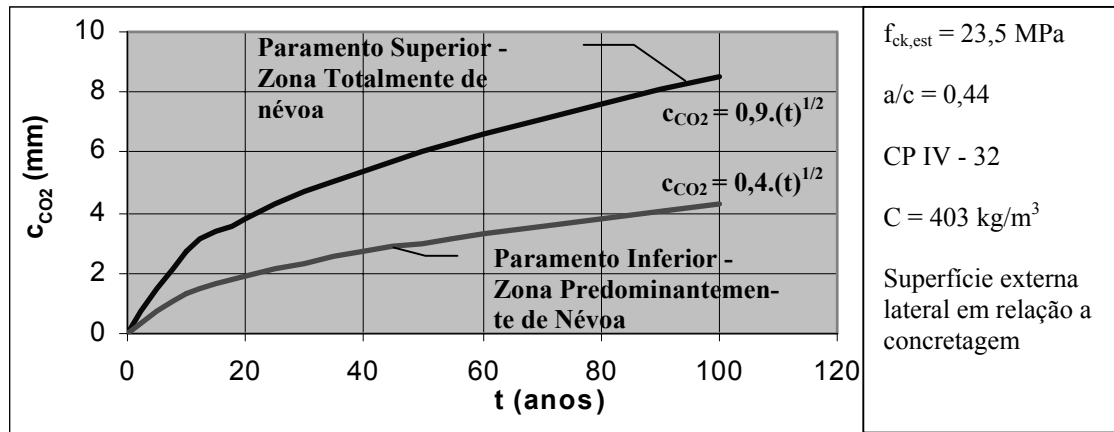


Figura 4 - Profundidade de ataque de  $\text{CO}_2$  ( $c_{\text{CO}_2}$ ) em função do tempo de exposição ( $t$ )

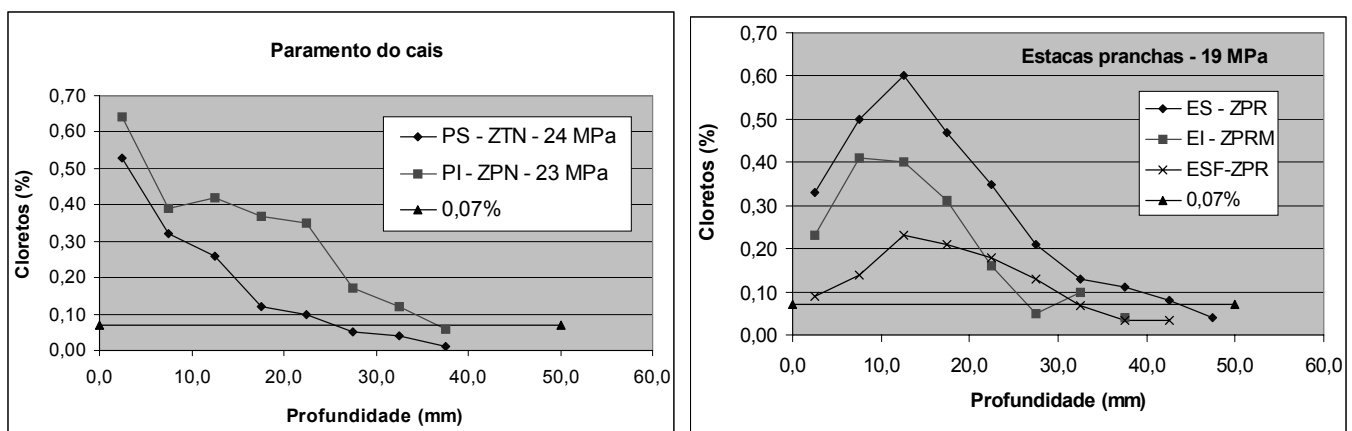


Figura 5 - Perfis de teor de íons cloreto em relação a massa de concreto

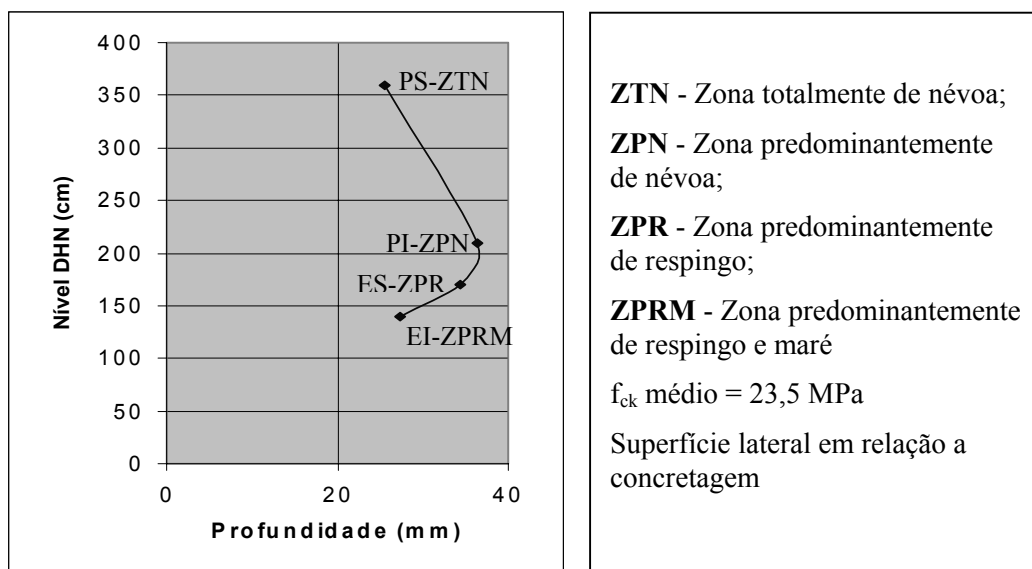


Figura 6 - Profundidades da frente de ataque de íons cloreto nos diversos micro ambientes pesquisados



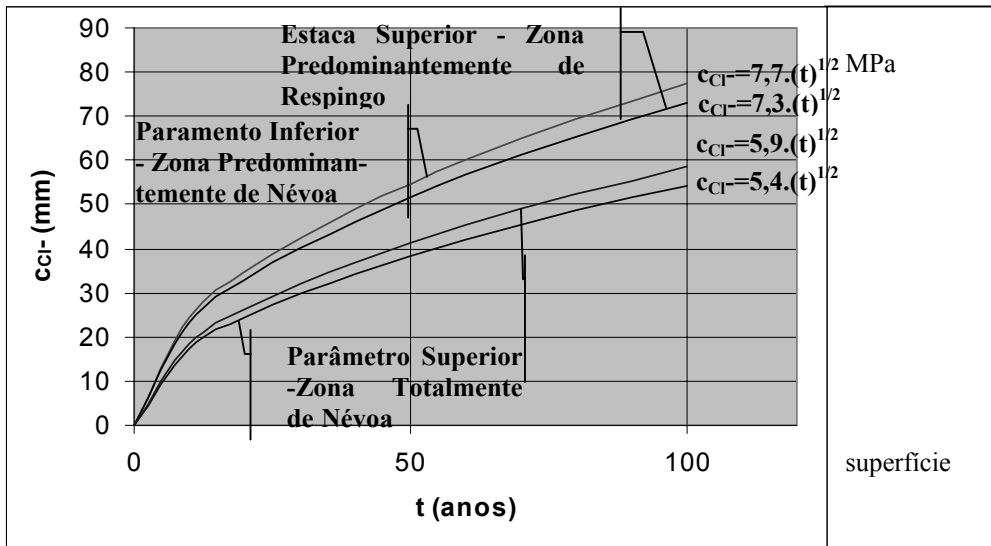


Figura 7 - Estimativa da evolução da frente de concentração de cloretos  $c_{Cl-} = 0,4 \%$  em função do tempo de exposição (t) para os pontos PS, PI, ES e EI

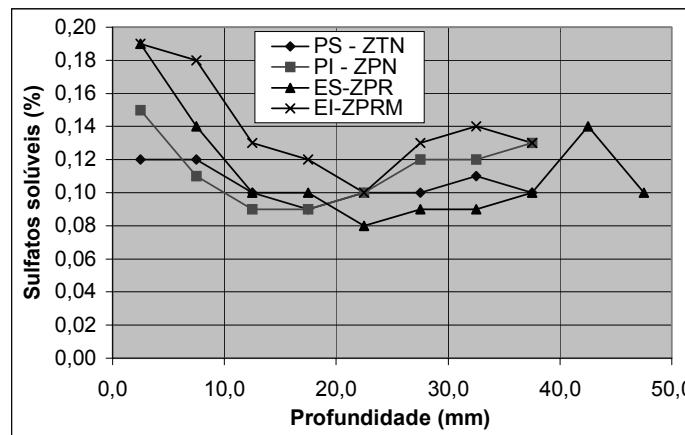


Figura 8 - Perfis dos teores de íons sulfato solúveis em água em relação à massa de concreto para  $f_{ck}$  de 23,5 MPa (PS e PI) e 19 MPa (ES e EI)

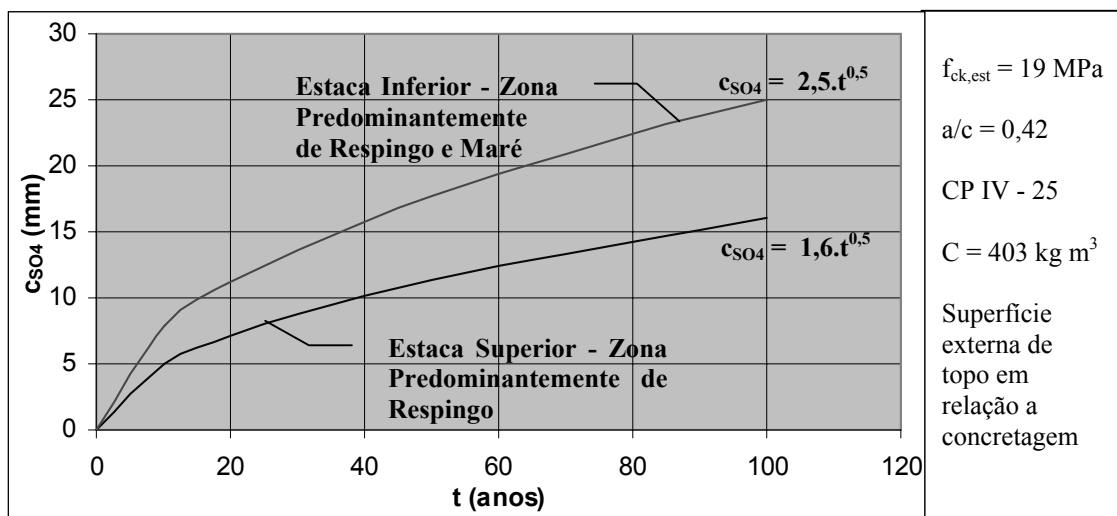


Figura 9 - Estimativa da evolução da frente de contaminação de sulfatos em função do tempo de exposição (t) para os pontos ES e EI

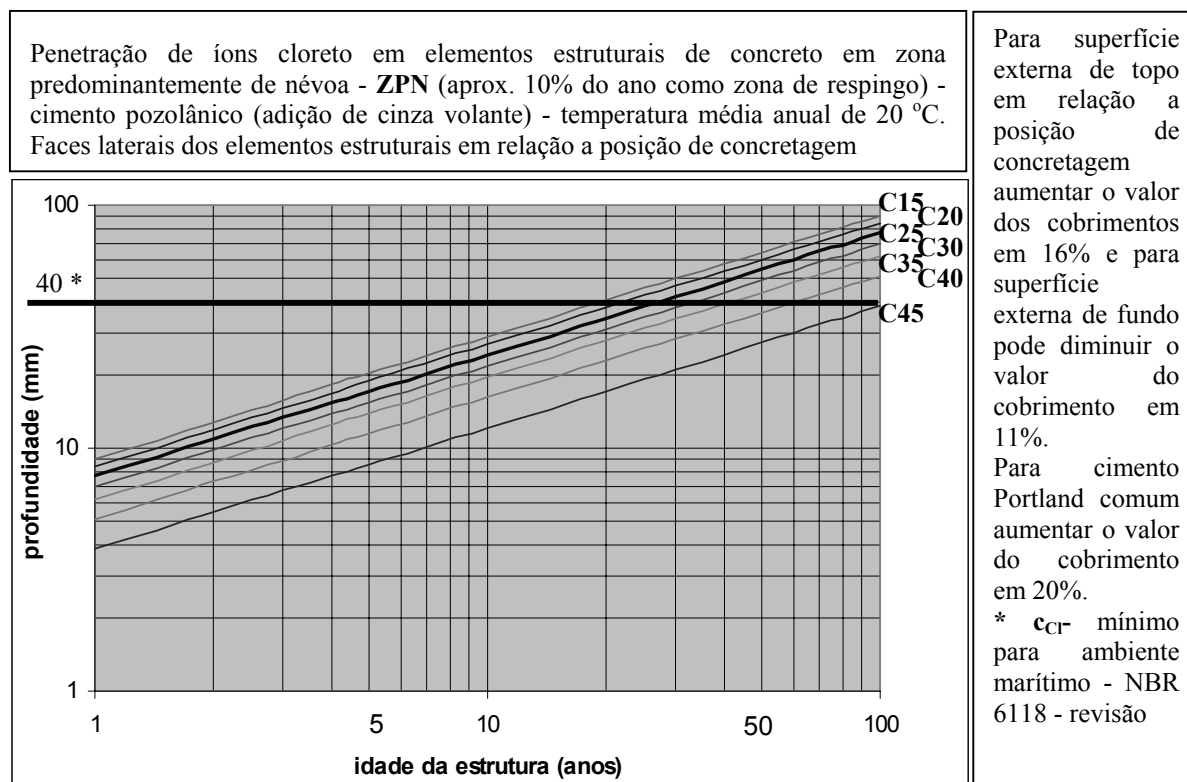


Figura 10 - Espessura de cobrimento das barras de aço em estruturas de concreto armado dentro do Canal do Rio Grande - Rio Grande - RS, nas proximidades do cais do Terminal de Containers - TECON ou ambiente similar (ambiente marítimo)