

# **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**

**Paulo Barbosa<sup>1</sup>, Paulo Helene<sup>2</sup>, Fernanda Pereira<sup>3</sup>, Manuel Grullón<sup>4</sup> & Marcelo Medeiros<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Doutorando do Departamento de Construção Civil PCC/USP, São Paulo, SP – [paulo.barbosa@poli.usp.br](mailto:paulo.barbosa@poli.usp.br)

<sup>2</sup> Professor Titular do Departamento de Construção Civil PCC/USP, São Paulo, SP – [paulo.helene@poli.usp.br](mailto:paulo.helene@poli.usp.br)

<sup>3</sup> Doutoranda do Departamento de Construção Civil PCC/USP, São Paulo, SP – [maria.fernanda@poli.usp.br](mailto:maria.fernanda@poli.usp.br)

<sup>4</sup> Mestrando do Departamento de Construção Civil PCC/USP, São Paulo, SP – [manuel.pena@poli.usp.br](mailto:manuel.pena@poli.usp.br)

<sup>5</sup> Mestrando do Departamento de Construção Civil PCC/USP, São Paulo, SP – [marcelo.medeiros@poli.usp.br](mailto:marcelo.medeiros@poli.usp.br)

**RESUMO:** O presente trabalho mostra a influência de ciclos de molhamento e secagem, da altura da estrutura e do posicionamento dos pilares em relação ao mar no teor de íons cloreto presentes no concreto de estrutura de 36 pavimentos, construída no início da década de 70, abandonada até os dias de hoje, sem proteção superficial do concreto, situada a, aproximadamente, 700 m da linha d'água. Mostra-se que quando não há ciclos de molhamento e secagem os teores de íons cloreto são pequenos, mais baixos que os limites para despassivação do aço, diminuem com a altura do prédio e são maiores em pilares na direção do mar.

**PALAVRAS-CHAVE:** cloretos, corrosão, concreto, inspeção.

## **1. INTRODUÇÃO**

A presença de íons cloreto em estruturas de concreto acima de determinados teores provoca a despassivação das armaduras e o início do processo de corrosão de armaduras. Esses íons podem ser incorporados no concreto ainda no estado fresco, pela utilização de aditivos aceleradores de pega à base de íons cloreto, pela contaminação da água ou da areia utilizada. No estado endurecido a contaminação se dá pela penetração a partir do exterior, em atmosferas marítimas.

Segundo GUIMARÃES et al. [1], os modelos de vida útil de estrutura de concreto em ambiente marítimo, consideram apenas os micro-climas de zona submersa, zona de maré, zona de respingo e zona de névoa salina, não considerando que a intensidade de ataque que varia com a distância da água do mar. Algumas pesquisas vêm demonstrando que a zona de névoa salina apresenta capacidade de contaminação que varia em função distância da água do

mar, sendo esse fator normalmente desprezado nos modelos de vida útil ou em normas vigentes.

CASTRO et al. [2] realizaram ensaios em corpos-de-prova de concreto expostos em zonas de névoa salina com distâncias da linha d'água variando entre 50 m a 780 m, mostrando uma grande diminuição da intensidade de penetração de cloretos entre eles.

COSTA [3] realizou ensaios com corpos-de-prova de argamassa por cinco meses, observando que a intensidade de penetração de cloretos diminuiu muito de 72 m até 532 m de distância da linha d'água.

MEIRA et al. [4] também constataram que, após seis meses de exposição, com corpos-de-prova colocados a 10, 100 e 200 m do mar, indicaram uma clara redução da agressividade à medida em que a distância aumenta.

GUIMARÃES et al. [1] estudou duas estruturas com mais de 20 anos, uma viga de um cais em zona de névoa com distância da linha d'água nula e uma torre a 2200 m da linha d'água, mostrando que a estrutura da torre apresenta uma contaminação muito menor. Portanto, mesmo se tratando de duas obras em ambiente marítimo, a intensidade do ataque é muito diferente entre os micro-climas estudados.

Como pode ser observado, a maioria dos estudos presentes na literatura foram realizados em corpos-de-prova pequenos e com um tempo de duração curto em relação à vida útil de uma estrutura de concreto.

O presente trabalho analisou os teores de íons cloreto retirados de pilares de uma estrutura situada no litoral, a aproximadamente 700 m da linha d'água, mostrando a influência da altura com medidas em vários pavimentos e da disposição dos pilares em relação ao mar em cada andar.

## **2. INFORMAÇÕES DA ESTRUTURA**

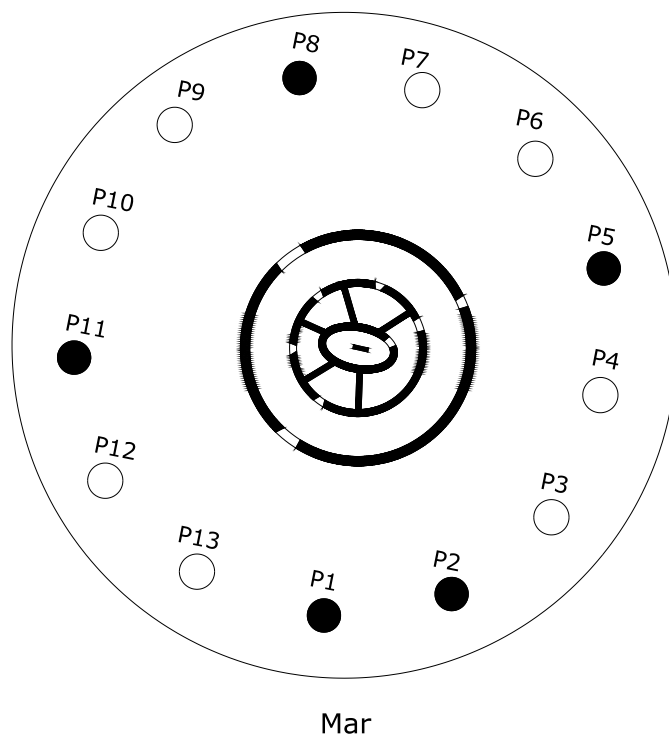
Trata-se de uma estrutura de 36 pavimentos tipo, térreo e dois subsolos, compostas por um núcleo de rigidez e treze pilares próximos às janelas. A presente estrutura foi construída no início da década de 70, abandonada até os dias de hoje, exposta ao intemperismo, sem proteção superficial do concreto.

A resistência à compressão média determinada em inspeção anterior com extração de 69 testemunhos ao longo de 12 pavimentos foi de 27,6 MPa.

## **3. AMOSTRAGEM**

Dos 36 pavimentos da estrutura, 10 foram amostrados, o 2º e 1º subsolos, térreo, 1º, 2º, 5º, 9º, 18º, 27º e 35º pavimento. Entretanto, como os subsolos já haviam sido reforçados, não foram incluídos nesse estudo, na medida em que o concreto da superfície desses pilares não é mais o concreto original.

Em cada pavimento amostrado foram escolhidos 5 dos 13 pilares principais do edifício, que encontram-se destacados na Figura 1, levando em consideração o posicionamento deles em relação ao mar. Foram amostrados 2 pilares de frente para o mar (P1 e P2) e os outros três sendo um para cada lado da seção circular do edifício (P5, P8 e P11).



**Figura 1 – Posicionamento dos pilares amostrados em cada andar, em relação ao mar.**

#### **4. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÍONS CLORETO**

O ensaio foi realizado conforme a norma ASTM C 1152 para a determinação do teor total de cloretos (livres + combinados) presentes no concreto. A determinação do teor de cloretos foi realizada em amostras extraídas próximas à superfície do concreto, tendo sido desagregadas para separar os agregados graúdos da argamassa do concreto e os ensaios foram realizados apenas na argamassa. Serão realizados ensaios de reconstituição de traço do concreto para calcular o teor de cloretos referente apenas à massa de cimento, resultado realmente desejado e utilizado para análise. Como esses ensaios ainda não foram realizados, nesse artigo serão apresentados apenas os teores de íons cloreto em relação à argamassa do concreto.

#### **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Tabela 1 apresenta os resultados gerais obtidos nos diferentes pilares, em todas as alturas onde foram retiradas amostras.

**Tabela 1 – Resultados gerais obtidos.**

**Teor de íons cloreto (ASTM C1152)**

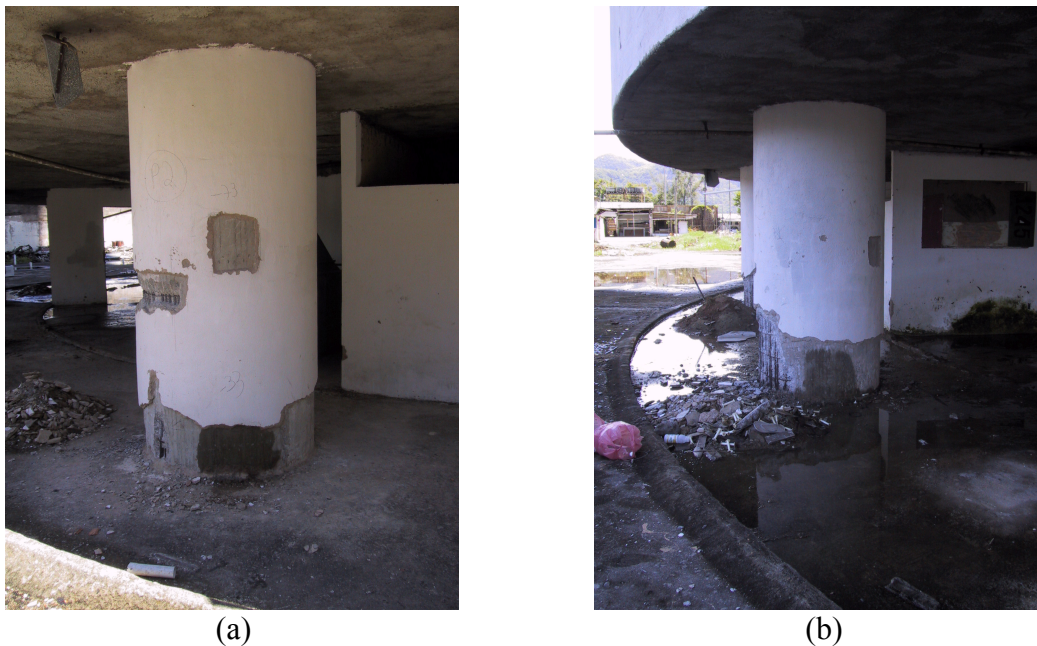
Pavimento	Pilar	Teor de Cl <sup>-</sup> (% em relação à argamassa)
<b>Térreo</b>	P1	0,093
	P2	0,053
	P5	0,018
	P8	0,165
	P11	0,067
<b>1° Andar</b>	P1	0,071
	P2	0,013
	P5	0,027
	P8	0,035
	P11	0,049
<b>2° Andar</b>	P1	0,031
	P2	0,004
	P5	0,040
	P8	0,022
	P11	0,040
<b>5° Andar</b>	P1	0,067
	P2	0,040
	P5	0,009
	P8	0,027
	P11	0,013
<b>9° Andar</b>	P1	0,031
	P2	0,076
	P5	0,040
	P8	0,027
	P11	0,013
<b>18° Andar</b>	P1	0,040
	P2	0,027
	P5	0,018
	P8	0,009
	P11	0,013
<b>27° Andar</b>	P1	0,009
	P2	0,013
	P5	0,004
	P8	0,009
	P11	0,004
<b>35° Andar</b>	P1	0,018
	P2	0,018
	P5	0,009
	P8	0,040
	P11	0,027

Acima de 0,10% em relação à massa de argamassa

Entre 0,06% e 0,10% em relação à massa de argamassa

Entre 0,02% e 0,06% em relação à massa de argamassa

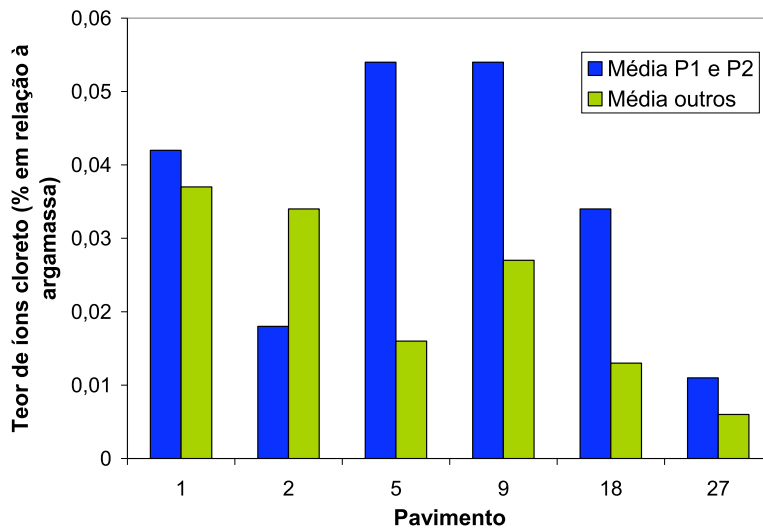
Pode-se verificar que os teores encontrados no pavimento térreo são bem superiores aos dos demais pavimentos, isso se deve ao acúmulo de água de chuva nos “pés” de alguns dos pilares, fazendo com que haja ciclos de molhamento e secagem, contribuindo para um maior ingresso de íons nesses pilares, como pode ser observado na Figura 2. O único capaz de despassivar a armadura encontrado em todo o edifício é o do pilar P8, do térreo, cujo valor é de 0,165% em relação à massa de argamassa (aproximadamente 0,4% em relação à massa de cimento). Os teores dos demais chegam a, no máximo, a 0,093% em relação à massa de argamassa (aproximadamente 0,22% em relação a massa de cimento), mesmo depois de 30 anos de exposição, corroborando com os estudos da literatura [1, 2, 3, 4] que dizem que a intensidade do ataque é muito diminuída com o aumento da distância da linha d’água.



**Figura 2 – Acúmulo de água em alguns dos pilares da obra. (a) Pilar P2, sem acúmulo de água. (b) Pilar P8, com acúmulo de água.**

Nos pilares P1, P2 e P5 não há acúmulo de água, já nos pilares P8 e P11 há bastante acúmulo de água, aumentando os ciclos de umedecimento e secagem, e, conseqüentemente, o teor de íons cloreto.

Percebe-se também que os teores de íons cloreto diminuem ao longo da altura, voltando a crescer no 35º pavimento, pois trata-se de um pavimento mais úmido do que os demais. Em cinco dos seis pavimentos intermediários (sem acúmulo de água), a média dos teores de íons cloreto presentes nos pilares P1 e P2 é superior às medias encontradas nos demais pilares, mostrando a influência da posição do pilar no teor de íons cloreto, conforme pode ser observado na Figura 3.



**Figura 3 – Teor de íons cloreto em relação à massa de argamassa.**

A Tabela 2 mostra uma análise de variância, confirmando a forte correlação ( $p=0,103$ ) entre o pavimento e o teor de íons cloreto e indicando a presença de uma correlação, embora mais fraca ( $p=0,284$ ) entre o posicionamento do pilar no pavimento e o teor de íons cloreto.

**Tabela 2 – Análise de variância da variável teor de íons cloreto.**

Análise de variância (Teor de íons cloreto)					
Fonte	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Pavimento	5	0,003346	0,000669	2,13	0,103
Pilar	4	0,001705	0,000426	1,36	0,284
Erro	20	0,006276	0,000314		
Total	29	0,011327			

## 6. CONCLUSÕES

Forte influência de ciclos de umedecimento e secagem no teor de íons cloreto, tendo sido encontrado teores no pavimento térreo até 2,2 vezes do maior encontrado em todos os outros pavimentos;

Exceto o pilar P8 do pavimento térreo, onde o teor de íons cloreto superou o limite para despassivação das armaduras, todos os demais apresentam teores de íons cloreto inferiores à 0,093% em relação à massa de argamassa (aproximadamente 0,22% em relação à massa de cimento), depois de 30 anos de exposição da estrutura sem proteção, mostrando que, a 700 m da linha d'água, o ataque da névoa salina é bastante reduzido, devendo essa distância ser levada em consideração em normas e modelos de previsão de vida útil;

Em pavimentos onde não há acúmulo de água (ciclos de molhamento e secagem), os teores de íons cloreto diminuem em pavimentos mais altos e, para um mesmo pavimento, os pilares de frente para o mar possuem os maiores teores.

## REFERÊNCIAS

1. GUIMARÃES, A. T. C.; CASTAGNO JR., R.; HELENE, P. R. L. **Intensidade de ataque de cloretos: considerações sobre a distância do concreto em relação à água do mar.** Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.3, p.73-79, Junho, 2003.
2. CASTRO, P.; DE RINCÓN, O. T.; PAZINI, E. **Chloride penetration profiles in Marine environments.** In: II International Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures, Gramado, ACI SP-186, p. 371-389, 1999.
3. COSTA, E. A. L. Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador. **Dissertação (Mestrado).** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.
4. MEIRA, G. R.; PADARATZ, I. J.; ALONSO, M. C.; ANDRADE, M. C. **Agressividade por Cloretos em Estruturas de Concreto em Ambientes de Atmosfera Marinha.** Anais do 45º Congresso Brasileiro do Concreto. Vitória, 2003.