ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARINHO: EFEITO DOS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM, DA ALTURA E POSIÇÃO EM RELAÇÃO AO MAR

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias[1], HELENE, Paulo[2]

[1] Universidade Federal do Paraná, Professor Adjunto, Doutor, e-mail: medeiros.ufpr@gmail.com
[2] Universidade de São Paulo, Professor, Professor Titular, e-mail: paulo.helene@concreto.com.br

RESUMO

Estudos de estruturas reais são muito importantes para indicar os fatores de influência a serem considerados nos modelos de vida útil do concreto armado, fazendo com que eles sejam mais precisos. Dentro deste contexto, este é o estudo de uma estrutura de concreto armado localizada no Rio de Janeiro exposta ao ambiente próximo ao mar durante 40 anos. Neste trabalho foi analisado o teor de cloretos de pilares de uma estrutura de concreto armado localizada em uma atmosfera marinha (700 m do mar), mostrando o efeito dos ciclos de umedecimento e secagem e da posição dos pilares em relação à orla marítima. Os resultados mostram que o teor de cloretos é maior em alturas mais elevadas de uma mesma peça. Também foi evidenciado que na ausência de ciclos de umedecimento e secagem, os teores de cloretos são menores do que o limite de 0,40% em relação à massa de cimento, considerado aqui como o limite de íons Cl^- para a despassivação das armaduras no concreto armado. Além disso, foi mostrado que não existe influência da posição dos pilares em relação ao mar e que o concreto localizado em regiões onde existem ciclos de umedecimento e secagem é mais contaminado por cloretos.

Palavras chave: íons cloretos, corrosão, inspeção, concreto armado, atmosfera marinha.

ABSTRACT

Real case studies are extremely important to indicate the factors of influence to be considered as variables in these models, making them closer to reality. This study of a reinforced concrete structure exposed to the environment for about 40 years is inserted in this context. The chloride-ion contents from pillars of a reinforced concrete structure located in a marine environment, approximately 700m away from the coastline are analyzed, showing the effect of the height (with samples from different levels), wetting and drying cycles and the positioning of the pillars in relation to the coastline. The results show that the higher the concrete is, the lower the chloride contamination degree. It is shown that in the absence of wetting and drying cycles, the chloride-ion contents are smaller than the threshold limit of 0.40% per cement mass. Furthermore, the results show that there is no influence of the position of the pillars in relation to the sea and that the concrete located in regions where there are wetting and drying cycles is more contaminated by chloride.

Keywords: chloride ions, corrosion, inspection, reinforced concrete, salt-spray zone.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais agentes de degradação do concreto armado é o íon cloreto, que está presente em atmosferas marinhas e no processo de produção de algumas indústrias. Um dos mecanismos principais que governam a penetração de cloretos em uma estrutura de concreto armado é a difusão, que é o transporte de íons causado por uma diferença de concentração da espécie química considerada (ANDRADE, 1993; KROPP et al., 1995; SCHUEREMANS et al., 2997; MEDEIROS et al., 2009).

A presença de íons cloretos acima de certo teor em estruturas de concreto armado promove a perda de passividade do aço causando o início do processo de corrosão. Estes íons podem ser incorporados dentro do concreto no seu estado fresco por meio de emprego de aditivos aceleradores de pega ou através do emprego de água ou agregado contaminados. No estado endurecido, a contaminação acontece de fora para dentro, principalmente em ambientes marinhos e pelo uso de sais de degelo.

De acordo com Guimarães et al. (2003), os modelos de vida útil de estruturas de concreto em ambiente marinho consideram apenas os micro-climas: zona submersa, zona de respingo e zona em névoa salina. Neste último, não é considerado que a intensidade do ataque varia com a distância do mar. Alguns pesquisadores mostraram experimentalmente que a atmosfera marinha apresenta diferentes níveis de contaminação em função da distância da costa marítima, este fator normalmente não é considerados em códigos de construção (nbr 6118/2007; FIP MODEL CODE/1990; ACI 318/2002), sendo comum a divisão em ambiente marinho, industrial e rural, como ocorre na NBR 6118/2007 e NBR 12655/2006. Castro et al. (1999) mostraram que existe redução do ingresso de cloretos em concretos em zona marítima variando a distância do mar de 50 a 780 m. Costa (2001) também mostrou este tipo de tendência variando a localização de corpos de prova de argamassa de 72 m a 532 m do mar após 5 meses de exposição. Meira et al. (2007) estudaram a deposição de cloretos em vela úmida a 10, 100, 200, 500 e 1100 m do mar e mostraram um decréscimo da salinidade do ar nos primeiros metros do mar com um forte decréscimo nos primeiros cem metros de distância do mar.

Guimarães et al. (2003) estudaram duas estruturas com mais de 20 anos de serviço, uma viga em um porto localizado na costa (menos de 50 m do mar) e uma torre a 2200 metros da costa marítima, mostrando que a torre apresentou menores níveis de contaminação, indicando que mesmo as duas estruturas estando localizadas em uma atmosfera marinha, a intensidade de ataque foi muito diferente entre os dois micro-climas existentes. Estes fatos enfatizam a importância de considerar este efeito nas previsões de vida útil de estruturas de concreto armado.

Contudo, existem outros fatores a serem considerados na previsão de vida útil em estruturas próximas do mar, como a direção e velocidade do vento, incidência de ciclos de umedecimento e secagem, condições de insolação, taxas de chuva regional, umidade relativa e altura de exposição, que é um dos focos deste trabalho.

É muito difícil desenvolver modelos precisos para prever a vida útil de construções. Contudo, alguns autores tentaram prever o tempo de vida útil baseado na penetração de íons cloretos (ANDRADE, 2001; JUNG et al., 2003; SONG et al., 2008; MEDEIROS e HELENE, 2009; MARCHAND e SAMSON, 2009), outros concentraram seus esforços tentando modelar o tempo para a ocorrência da primeira fissura de 0,1 mm causada por corrosão (RODRIGUEZ et al., 2002; YUZER et al., 2008) e outros têm testado modelos mais complexos envolvendo a previsão de vida útil considerando dois efeitos de degradação (penetração de cloretos e biodeterioração) (BASTIDAS-ARTEAGA et al., 2008). O fato é que os modelos de previsão atuais ainda apresentam resultados insatisfatórios em termos de precisão de tempo de vida útil.

Atualmente existem muitos modelos desenvolvidos nesta área, contudo, sua validação ainda necessita ser mais bem estudada e disseminada. Desse modo, é importante estudar estruturas reais para aprender com elas e gerar melhores previsões de vida útil. Este trabalho está inserido neste contexto, disseminar dados obtidos por inspeção em campo de uma estrutura de concreto armado que foi exposta ao ambiente marinho durante anos.

Os teores de cloretos de pilares de concreto armado situados em ambiente marinho, aproximadamente 700 m de distância do mar, foram analisados, mostrando o efeito da altura (com amostras de diferentes níveis de altura), dos ciclos de umedecimento e secagem e a posição dos pilares em relação ao mar, sendo uma contribuição que pode auxiliar ao desenvolvimento e melhoramento dos modelos de vida útil.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Visão geral da estrutura

A edificação inspecionada foi projetada pelo arquiteto Oscar Niemayer e está localizada no Rio de Janeiro, Barra da Tijuca. O trabalho de inspeção objetivou suprir dados para o diagnóstico, prognóstico e projeto de reparo da estrutura de concreto armado em questão.

A estrutura tinha 40 anos de idade no momento da inspeção, com dois subsolos de garagem, o térreo e 37 pavimentos tipo. A estrutura é composta por um núcleo de rigidez na parte central mais treze pilares periféricos, como ilustrado na Figura 1. Ela foi construída nos anos 70 e abandonada até a data deste trabalho de inspeção, totalmente exposta ao ambiente e sem qualquer tipo de proteção que tivesse o objetivo de preservar a durabilidade da estrutura.

Esta inspeção produziu dados importantes sobre estruturas reais submetidas a condições naturais de exposição a um ambiente marinho. O caso pode ser comparado a um corpo de prova deixado por décadas exposto ao ambiente com a possibilidade de ser estudado na atualidade. Contudo, um estudo como este tem algumas dificuldades que são inerentes a uma estrutura real. Diferente de um trabalho laboratorial envolvendo corpos de prova moldados para um estudo particular, neste caso, existe muitas variáveis desconhecidas no momento da inspeção, tais como: uniformidade e proporcionamento do concreto, possíveis mudanças de equipe de execução e de procedimentos ao longo da construção, mudanças no cimento empregado, entre outras. Estas dificuldades tornam o trabalho de inspeção ainda mais interessante e difícil.

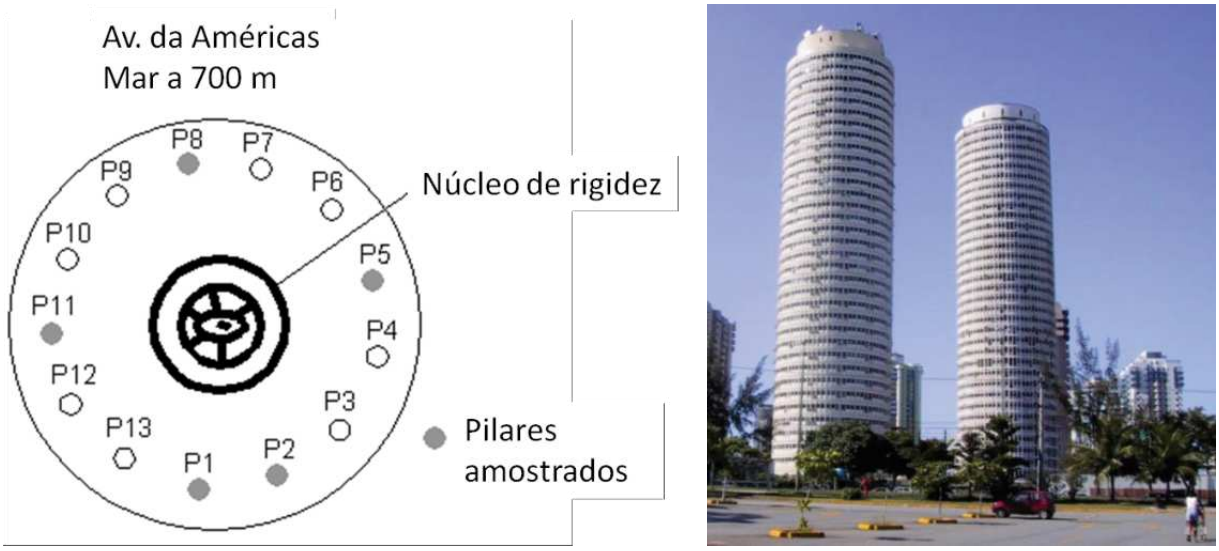

Figura 1: Vista geral da edificação e posição dos pilares amostrados em relação ao mar.

2.2 Áreas amostradas

Para entender os dados apresentados nos próximos itens, é necessário conhecer as diferenças de exposição e como a escolha de cada pilar foi realizada neste trabalho de inspeção. É importante enfatizar que foi essencial executar uma visita a edificação em um dia seco e em um dia chuvoso e os autores deste trabalho consideram este um procedimento padrão para fazer um plano de amostragem de trabalhos de campo como este porque o dia de chuva fornece muitas informações relacionadas ao acúmulo de água nas edificações, que é um fator importante para raciocinar em termos de durabilidade e mecanismos de degradação em estruturas de concreto armado.

2.2.1 Pilares do térreo

No térreo, existem pilares que tendem a apresentar água empoçada na sua base e outros onde isso não ocorre, como ilustra a Figura 2. Isto acontece devido à deficiência de drenagem neste

pavimento e, por este motivo, a amostragem envolveu estes dois casos. Além disso, pilares voltados para diferentes direções foram analisados para verificar se a orientação em relação ao mar é um fator de influência importante.



(a) Pilar P2, sem acúmulo de água (b) Pilar P8, com acúmulo de água

Figura 2: Acúmulo de água em volta de alguns pilares do térreo.

Depois disso, dois grupos de pilares foram selecionados:

Grupo 1: Pilares localizados no térreo, onde quase não acumula água na sua base (P2 e P5). Além disso, dentro deste grupo, P2 é orientado para o mar e P5 não.

Grupo 2: Pilares com água empoça na base após períodos de chuva, causando ciclos de umedecimento e secagem (P1, P8 e P11). Dentro deste grupo, existem pilares voltados para o mar (P1) e dois outros que não estão voltados para o mar (P8 e P11). Isto foi importante para comparar a influência dos ciclos de umedecimento e secagem e a orientação dos pilares em relação ao mar.

Resumindo, cinco dos treze pilares da edificação foram escolhidos, como indicado na Figura 1, considerando o posicionamento em relação à costa marítima. Dois pilares voltados para o mar foram amostrados (P1 e P2), e os outros três foram distribuídos de modo a existir um para cada orientação em relação ao mar (P5, P8 e P11).

É importante destacar que os pilares que apresentaram problemas de corrosão de armaduras foram os localizados no térreo indicando alto grau de corrosão, como ilustrado na Figura 3.



(a) Corrosão na base de pilares do térreo.

(b) Célula de corrosão formada.

Figura 3: Deterioração dos pilares do térreo.

2.2.2 Pilares ao longo da altura

Neste caso, alguns pavimentos foram amostrados. Acima do térreo, nenhum pilar tendia a acumular água na sua base porque eles foram protegidos pelas paredes da construção. Contudo, os mesmos pilares amostrados nos subsolos foram usados. Neste sentido, uma comparação da influência da altura de exposição e orientação em relação ao mar foi efetivada.

Os andares amostrados foram o térreo, primeiro, segundo, quinto, nono, décimo oitavo e vigésimo sétimo.

2.3 Ensaios realizados

2.3.1 Potencial de corrosão (E_{corr})

A probabilidade de corrosão foi estimada de acordo com a ASTM C876/2009. O método é usado para localizar pontos onde a corrosão esteja em desenvolvimento, mas sem manifestações patológicas aparentes na superfície das peças de concreto. O critério de classificação adotado está de acordo com a ASTM C876/2009 e estão reproduzidos na Tabela 1.

O eletrodo de referência a que os dados da Tabela 1 se referem é o eletrodo de cobre/sulfato de cobre.

Tabela 1: Faixas de potencial de corrosão relacionadas a probabilidade de corrosão ASTM C876/2009.

Potencial de corrosão (E_{corr}) (mV vs. CSE)	**Probabilidade de corrosão**
≤ –350 mV	90%
(–350 mV) – (–200 mV)	50% (incerteza)
> –200 mV	10%

2.3.2 Velocidade de corrosão (I_{corr})

A velocidade de corrosão foi determinada usando um equipamento denominado GECORR, que aplica a técnica de polarização linear. O critério de classificação empregado foi o preconizado por Andrade et al. (2004) e está reproduzido na Tabela 2.

Tabela 2: Velocidade de corrosão relacionada com o risco de corrosão (ANDRADE et al., 2004).

I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	V_{corr} (mm/y)	Risco de corrosão
≤ 0,1	≤ 0,001	Desprezível
0,1 – 0,5	0,001 – 0,005	Baixo
0,5 – 1	0,005 – 0,010	Moderado
> 1	> 0,010	Alto

2.3.3 Teor de cloretos no concreto

Em atmosferas marinhas, a corrosão de armaduras é diretamente relacionada com o teor de cloretos no concreto próximo a superfície do aço, que não deve ser maior do que 0,4% em relação a massa de cimento para estruturas de concreto armado (RINCÓN et al., 2006).

O conteúdo de cloretos totais (livre + combinado) foi determinado de acordo com a ASTM C 1152/2004. As amostras utilizadas foram cuidadosamente extraídas dos pilares amostrados e correspondem de 15 a 20 mm de profundidade da superfície do pilar. A profundidade foi escolhida porque este é o cobrimento médio dos pilares estudados.

2.3.4 Resistência à compressão

A resistência à compressão foi determinada com a remoção de testemunhos de 75 mm de diâmetro dos pilares amostrados. As rupturas foram conduzidas de acordo com a NBR 5739 NBR 5739/2007 usando a velocidade de carga de 0,5 MPa/s.

2.3.5 Absorção por imersão

O ensaio de absorção por imersão foi conduzido de acordo com a NBR 9778/1987.

O procedimento consistiu em determinar a massa seca (obtida a partir da secagem dos testemunho a 70 ^{o}C até constância de massa) e a massa saturada, obtida com o acondicionamento dos testemunhos em recipiente com água até 1/3 da altura dos corpos de prova por 4 horas, depois elevou-se o nível da água até 2/3 pelas 4 horas seguintes e finalizando o processo de saturação totalmente submerso pelas 64 horas restantes para completar 72 horas de ensaio. Depois deste procedimento, os testemunhos foram secos superficialmente com pano e pesados, obtendo-se o peso saturado com superfície seca. Com a diferença da massa do concreto saturado e da massa do concreto seco o percentual de água absorvida foi calculado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resistência à compressão e absorção por imersão:

Os dois ensaios foram apresentados aqui para caracterizar o concreto dos pilares amostrados. A Figura 4 mostra a resistência à compressão média para cada andar, que variou entre 29 MPa e 45 MPa e está claro que os maiores valores ocorreram nos subsolos e no primeiro andar. Isto está coerente porque são os andares em que os pilares suportam maior carga. Contudo, os valores não seguiram a lógica de aumentar ou se manter constante de baixo para cima. Além disso, a Figura 4 mostra alta variabilidade nos dados com relação à média. Este pode ser um sinal de baixo controle de qualidade implementado nesta construção construída nos anos 70, um tempo em que no Brasil as normas de controle de execução ainda estavam em desenvolvimento.

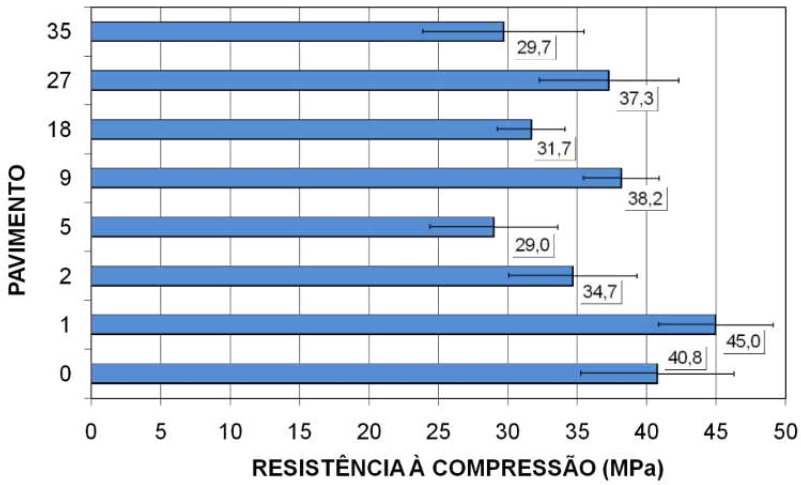

Figura 4: Resistência à compressão em cada andar.

Neste trabalho não foi possível obter a informação de qual seria o fck do concreto usado nesta edificação, porém, sabe-se que os valores de resistência de projeto nesta época eram de 15 a 20 MPa. Em um caso como este, a solução é fazer com que a resistência de dosagem seja bastante elevada para contrapor a alta variabilidade do processo de produção do concreto e de execução das peças de concreto. Esta conduta, hoje é considerada antieconômica, porém naquela época era necessária para primar pela segurança do usuário.

A Figura 5 mostra resultados de absorção por imersão para cada pilar. Os valores são entre 4,8% e 6,3% e correspondem aos concretos de baixa absorção. Estes resultados estão de acordo com o que foi previamente explicado, que o concreto foi superestimado para compensar a elevada variabilidade característica da época. Isto resultou em um concreto armado que sofreu baixa degradação durante o período de exposição em um ambiente próximo ao mar e exposto a névoa salina.

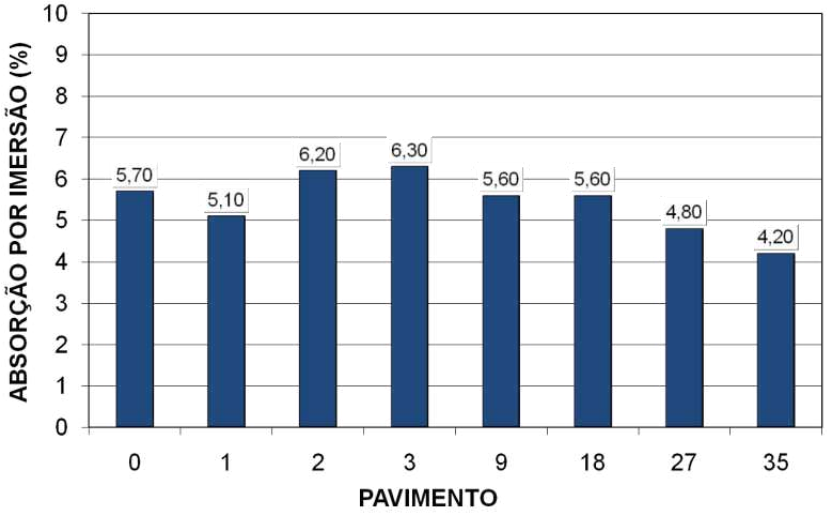

Figura 5: Absorção por imersão para cada andar.

3.2 Teor de cloretos no concreto

Pilares do térreo (ciclos de umedecimento e secagem X posição em relação ao mar)

Esta parte do trabalho apresenta os resultados para o térreo, onde existem pilares orientados para quatro direções em relação ao mar. Além disso, existem pilares submetidos a ciclos de umedecimento e secagem (P1, P8 e P11) e pilares não submetidos a esta condição (P2 e P5).

A Figura 6 mostra que o maior teor de cloretos ocorreu nos pilares submetidos aos ciclos de umedecimento e secagem (P1, P8 e P11). Isto indica que este é um fator de elevada relevância na penetração de cloretos em uma estrutura de concreto armado. Isto está de acordo com os dados encontrados por Meira et al. (2007) e Costa; Appleton (2002).

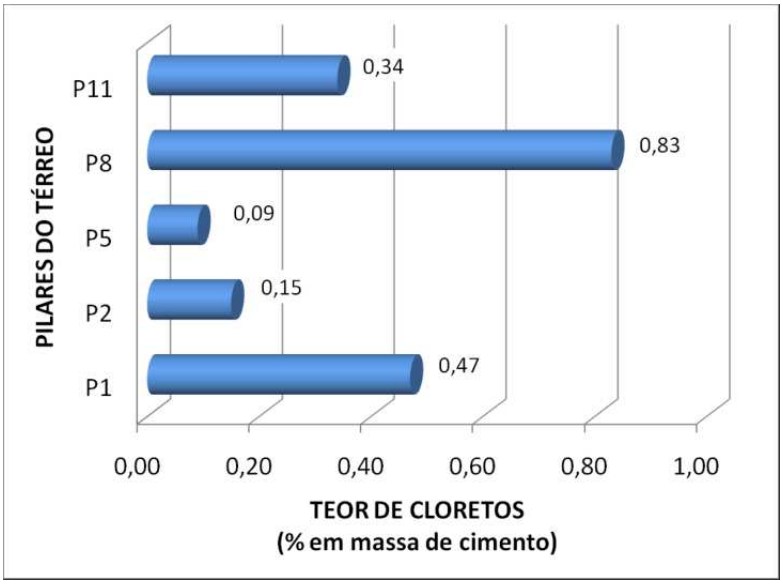

Figura 6: Teor de cloretos (em massa de cimento) nos pilares do térreo.

A orientação do pilar parece não ter grande influência na penetração de cloretos porque o P2 não apresentou alto nível de contaminação por cloretos mesmo sendo voltado para o sentido do mar. Desse modo, os dados indicam que provavelmente a ocorrência de ciclos de umedecimento e secagem são mais importantes do que a posição do pilar em relação ao mar.

É necessário deixar claro que esta constatação é específica para este trabalho de inspeção, necessitando de estudos mais detalhados para gerar conclusões mais precisas sobre o assunto. Isto ocorre pelo fato de que este é o caso de uma estrutura real em um trabalho de inspeção com tempo e investimento limitado e uma amostragem maior não foi executada. Além disso, estes resultados fazem parte de uma experiência de um caso real com seus fatores de influência inerentes e, por isso, não devem ser considerados como uma verdade absoluta.

De fato, estas considerações devem levantar novas questões para responder mais precisamente com estudos envolvendo um maior número de amostras e isolando outras variáveis que podem afetar os resultados.

Além disso, os dados de potencial de corrosão e de velocidade de corrosão estão de acordo com os de contaminação por cloretos. A Figura 7 mostra os dados de potencial de corrosão do térreo. Fica claro que P2 e P5 têm resultados de potencial de corrosão mais positivos (indicando menor probabilidade de corrosão) do que os pilares submetidos a ciclos de umedecimento e secagem (P1, P8 e P11). Contudo, P1, P8 e P11 são classificados de acordo com a ASTM C 876/2009 como de probabilidade de corrosão incerta.

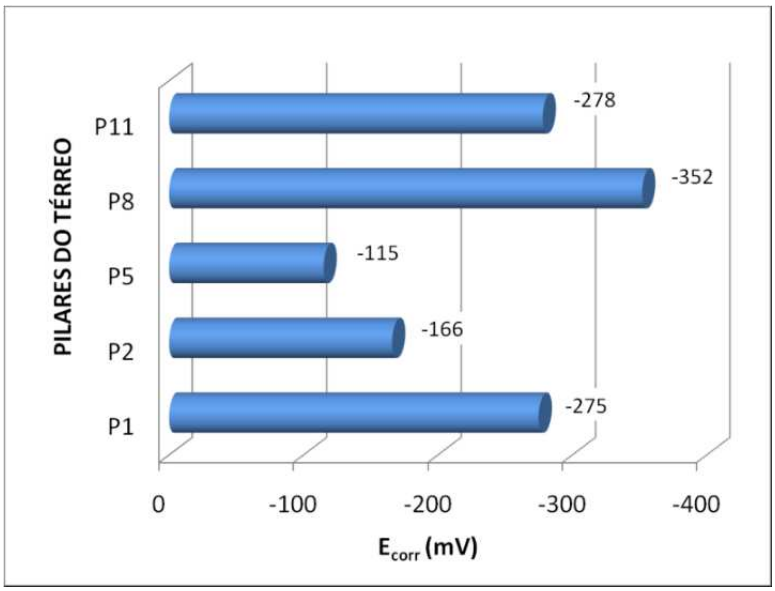

Figura 7: Ecorr (mV) nos pilares do térreo.

Com relação a velocidade de corrosão, os dados seguem a mesma tendência, com os pilares P2 e P5 classificados como nível de corrosão desprezível, enquanto P1, P8 e P11 são classificados como baixo nível de corrosão (ver Figura 8).

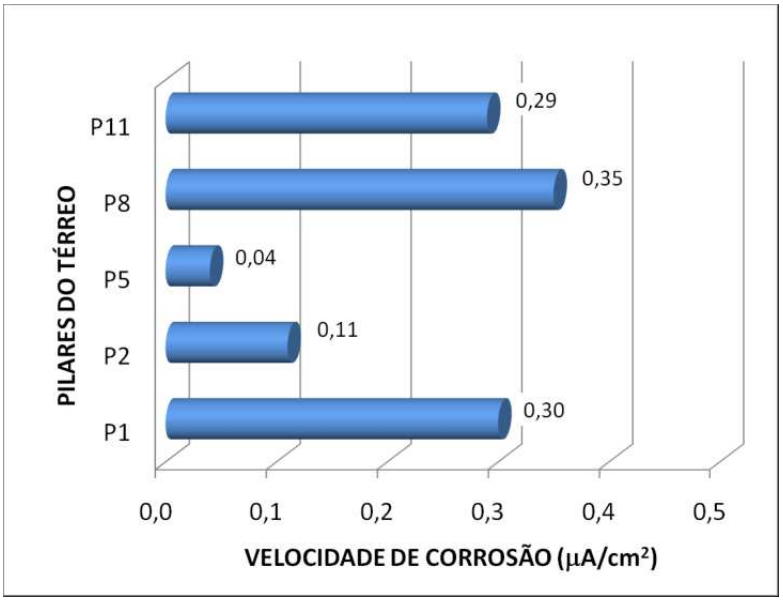

Figura 8: Velocidade de corrosão (μA/cm^2) nos pilares do térreo.

Pilares ao longo da altura (posição com relação ao mar X altura)

Outra avaliação deste trabalho de inspeção é a concentração de cloretos ao longo da altura de cada pilar estudado. Para esta comparação, os resultados dos pilares do térreo foram excluídos, porque, neste caso, existiram pilares submetidos a ciclos de umedecimento e secagem que se constituem como um micro-clima bem diferente dos outros andares. Por este motivo, nesta seção, estão apresentados resultados de cada pilar avaliado entre o primeiro e vigésimo sétimo andares, comparando apenas pilares sem ciclos de umedecimento e secagem causados pela incidência de chuva.

A Figura 9 apresenta os resultados do teor de cloretos obtidos para os diferentes pilares em cada andar amostrado. Comparado com os resultados obtidos no térreo, pode-se observar que o conteúdo de cloretos deste andar é muito mais elevado do que os encontrados nos outros andares, um fato provavelmente associado ao acúmulo de água na base dos pilares, originando ciclos de umedecimento e secagem, que contribui para facilitar o ingresso de íons cloretos (FIP MODEL CODE, 1990).

Os resultados da Figura 9 mostram que quanto maior a altura, menor o teor de cloretos com relação à massa de cimento. Isto não ocorre em todos os casos, mas isto era esperado, porque esta é uma estrutura real construída a 40 anos atrás. Estas discrepâncias podem ser causadas por mudanças inerentes a qualquer processo construtivo.

A Figura 9 mostra que outro fator importante a ser ressaltado nestes dados é que novamente a posição em relação ao mar não foi um fator de alta importância no grau de contaminação da

estrutura. O pilar P2 teve menor teor de cloretos se comparado com os outros pilares e o pilar P1 teve o mesmo nível de teor de cloretos dos outros pilares.

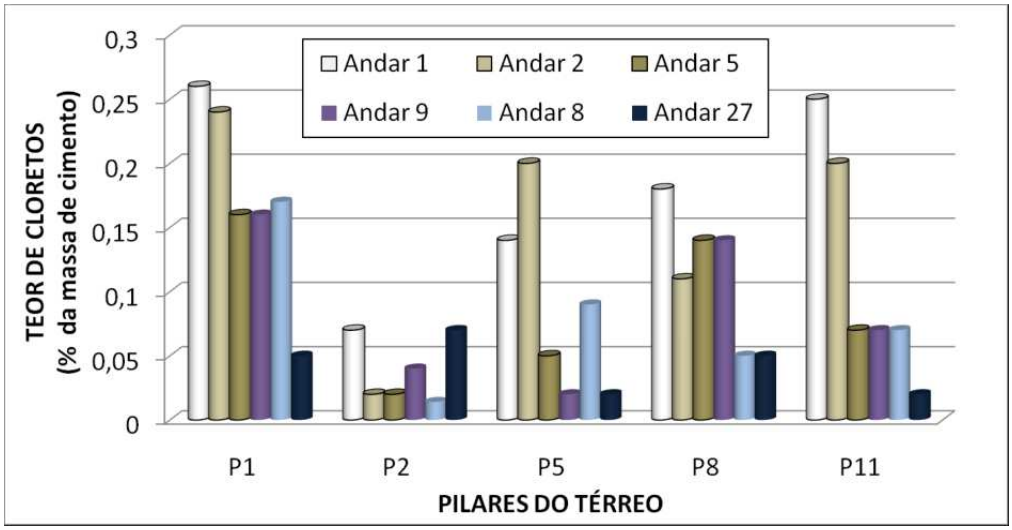

Figura 9: Teor de cloretos (em massa de cimento) X andares (1º a 27º andares e pilares P1, P2, P5, P8 e P11).

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho tornam evidente que, além da distância do mar, a altura é outro fator de grande influência na intensidade de ataque por íons cloretos. Além disso, a orientação em relação ao mar não apresentou influencia no grau de contaminação dos pilares amostrados.

Entre todos os teores de cloretos determinados, os únicos capazes de despassivar as barras de aço carbono foram encontrados nos pilares P1 e P8 no térreo, sendo 0,47% e 0,83% em relação à massa de cimento, respectivamente. Os outros teores de cloretos atingiram no máximo 0,34%, mesmo após 40 anos de exposição ao tempo sem qualquer tipo de proteção e a 700 m de distância do mar. Isto está de acordo com os resultados encontrados na literatura (GUIMARÃES et al., 2003; CASTRO et al., 1999; COSTA, 2001; MEIRA et al., 2007) que mostram que a intensidade de ataque é severamente reduzida com o aumento da distância do mar. Este é um aspecto importante, indicando que os modelos de vida útil e normas de construção deveriam considerar este efeito.

Outra observação deste trabalho é que em andares onde a água não acumula na base dos pilares (ciclos de umedecimento e secagem), os teores de cloretos apresentaram tendência de diminuir em locais mais altos.

Consequentemente, ficou claro que a taxa de deterioração observada nesta estrutura inspecionada dependeu principalmente das condições de exposição de cada parte da estrutura

(microclima). Além disso, o forte efeito dos ciclos de umedecimento e secagem no teor de cloretos foi observado, e teores de cloretos de 3 a 8 vezes maiores do que aqueles em que os ciclos de umedecimento e secagem não existiram foram encontrados no térreo.

Este processo é explicado pelo mecanismo de contaminação de uma estrutura de concreto armado em um ambiente marinho. Os íons cloretos no ar são depositados por impactação na superfície do concreto e a água de chuva incidente dissolve os íons cloretos e os transporta para o interior da estrutura através de mecanismos como a absorção por capilaridade e difusão de cloretos.

É importante destacar que as considerações feitas aqui precisam de validação suportada por um estudo experimental mais detalhado. Isto ocorre devido ao fato de que em uma estrutura real existem muitas variáveis que não podem ser controladas. Então, estes resultados devem ser vistos como referência de uma experiência particular e demanda um estudo laboratorial mais aprofundado para tecer conclusões em condições mais controladas, confirmando ou não as constatações deste artigo. O objetivo deste trabalho foi o de levantar dúvidas para a condução de novos estudos e contribuir para o avanço da engenharia civil na área de inspeção de estruturas de concreto armado.

5. REFERENCIAS

ACI Committee 318. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-02) and Commentary (ACI 318RM-02)**. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, p. 445.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard test method for half-cell potentials for uncoated reinforcing steel in concrete.** ASTM C-876. In: Annual book of ASTM Standards. West Conshohochen, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete.** ASTM C-1152. In: Annual book of ASTM Standards. West Conshohochen, 2004.

ANDRADE C., ALONSO, C., GULIKERS, J., POLDER R., CIGNA R., VENNESLAND, O., SALTA, M., RAHARINAIVO, A., ELSENER, B. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method. **Materials and Structures**, 37:623-643, 2004.

ANDRADE, C. Calculation of chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements. **Cement and Concrete Research**. 23:724-742, 1993.

ANDRADE, J.J.O. Andrade, Service life prediction of reinforced concrete structres affected by corrosion of reinforcement: Initiation by chloride ions, Ph.D. Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Argamassas e Concretos - ensaio de absorção de água por imersão**. NBR 9798. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.** NBR 6118. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento.** NBR 12655. Rio de Janeiro, 2006.

BASTIDAS-ARTEAGA E., SANCHEZ-SILVA M., CHATEAUNEUF, A., SILVA M.R. Coupled reliability model of biodeterioration, chloride ingress and cracking for reinforced concrete structures. **Structural Safety**, 30:110–129, 2008.

CASTRO, P., 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.

Committee Euro-international du Beton. FIP MODEL CODE 1990. Lausanne, Thomas Telford, 1993. (Boletim d'Information, 213/214).

COSTA, E.A.L. Determination of the aggressiveness potential of marine salts on rendering mortars on the metropolitan region of Salvador, Dissertation (MSc), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COSTA, A., APPLETON, J. Case studies of concrete deterioration in a marine environment in Portugal. **Cement and Concrete Composites**, 24:169-179, 2002.

GUIMARÃES, A.T.C., CASTAGNO JÚNIOR, R., HELENE, P. Intensity of the attack of chloride-ions: considerations about the distance of concrete members related to the coastline. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, 3:73-79, 2003.

JUNG, W., YOON, Y., SOHN, Y. Predicting the remaining service life of land concrete by steel corrosion. **Cement and Concrete Research**, 33:663-677, 2003.

KROPP, J., HILSDORF, H.K., GRUBE, H., ANDRADE, C., NILSSON, L. Transport mechanisms and definitions. In: Kropp J, Hilsdorf HK, Editors. Performance Criteria for Concrete Durability. Londres: E & FN Spon, p. 4-14, 1995.

MARCHAND, J., SAMSON, E. Predicting the service-life of concrete structures – Limitations of simplified models. **Cement and Concrete Composites**, 31:515-521, 2009.

MEDEIROS, H.F.M., HOPPE FILHO, J., HELENE, P. Influence of the slice position on chloride migration tests for concrete in marine conditions. **Marine Structures**, 22:128-141, 2009.

MEDEIROS, H.F.M., HELENE, P. Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption. **Construction and Building Materials**, 23:1476-1484, 2009.

MEIRA, G.R., ANDRADE, C., PADARATZ, I.J., ALONSO C., BORBA JÚNIOR, J.C. Chloride penetration into concrete structures in the marine atmosphere zone – Relationship between deposition of chlorides on the wet candle and chlorides accumulated into concrete. **Cement and Concrete Composites**, 29:667–676, 2007.

RINCÓN, O.T., CONTRERAS, D., SÁNCHEZ, M., ROMERO, M.F., BRAVO J., BRAVO, O.M., VEZGA, C., FERNÁNDEZ, R., NAVARRO, A., SARCOS, A. Avaliação/reabilitação de estruturas em ambientes marítimos. Caso histórico: Ponte de Maracaibo. **Corrosion Protection Materials**, 25(3):7491, 2006.

RODRIGUEZ, J., ANDREDE, C., SOMERVILLE, G. **Manual for assessing corrosion-affected concrete strutures.** Geocisa and Torroja Institute, EC Innivation Programme, IN30902I, 2002.

SCHUEREMANS, L, GEMERT, D.V., GIESSLER, S. Chloride penetration in RC-structures in marine environment – Long term assessment of a preventive hydrophobic treatment. **Construction and Building Materials,** 21:1238–1249, 2007.

SONG, H., LEE, C., YONG, K. Ann Factors influencing chloride transport in concrete structures exposed to marine environments. **Cement and Concrete Composites**, 30:113–121, 2008.

YUZER, N., AKOZ, F., KABAY, N. Prediction of time to crack initiation in reinforced concrete exposed to chloride**. Construction and Building Materials**, 22:1100–1107, 2008.