

Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho – importância dos estudos envolvendo micro-clima¹

Maryangela Geimba de Lima¹, Wellington Mazer², Priscila Caterine de Brito³, Fabiano Morelli⁴, Júlia Wippich Lencioni⁵

¹ Prof.Dr., Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, SP – magdlima@ita.br

² Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica – ITA, São José dos Campos – SP; Professor do UTFPR – Curitiba – PR – wmazer@utfpr.edu.br

³ Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica – ITA, São José dos Campos – SP; INFRAERO – São Paulo – SP – pcbrito@ita.br

⁴ Oceanógrafo, CEPETC-INPE, Cachoeira Paulista – SP – fmorelli@cpetec.inpe.br

⁵ Eng. Civil, São José dos Campos – SP – jwlencioni@terra.com.br

RESUMO:

Estudos envolvendo parâmetros ambientais e a durabilidade das estruturas de concreto tem sido realizados recentemente com vistas à modelagem de vida útil e de velocidades de processos de degradação; quando relacionam dados climáticos, consideram variáveis macro, como temperatura média de um país ou região. O presente trabalho apresenta: uma discussão sobre a importância do conhecimento dos parâmetros ambientais nos estudos de durabilidade das estruturas de concreto; os principais conceitos relacionados com a durabilidade das estruturas de concreto em ambiente marinho; e um estudo de caso (plataforma offshore) onde são apresentados aspectos relativos à penetração de cloretos em função da orientação solar, direção dos ventos predominantes e da posição em relação ao nível do mar.

Palavras-Chave: durabilidade; concreto; micro-clima; ambiente marinho.

1. INTRODUÇÃO

Em geral, os estudos sobre durabilidade das estruturas de concreto levam em consideração aspectos relativos aos constituintes dessa estrutura (agregados, cimento, aço), de sua mistura (relação água/cimento ou água/aglomerante, uso de aditivos, etc.) ou então a sua construção (condições de cura, por exemplo). Faz-se necessário para o conhecimento do comportamento da estrutura, conhecer o meio ambiente onde ela está inserida; esse meio pode fazer com que um concreto devidamente especificado e executado tenha sua vida útil reduzida significativamente [12].

Pode-se classificar e dimensionar os climas a que as estruturas estão expostas em micro-clima, meso-clima e macro-clima, como pode ser visualizado na Tabela 1. Estas dimensões fornecem uma idéia de como se deve proceder a análise de uma obra/estrutura quando se estuda sua degradação ou comportamento em serviço. Elas também dão idéia da precisão de modelos matemáticos de previsão de vida útil: no caso de estudos relativos à macro-clima

¹ Este trabalho é parte integrante das teses de doutorado de Wellington Mazer e Fabiano Morelli; também é parte integrante da tese de mestrado da aluna Priscila Caterine de Brito.

tem-se uma precisão baixa; já estudos de micro-clima, relacionados com os fatores ambientais exatamente no entorno da estrutura, produzem modelos mais precisos e mais reais.

Tabela 1 – Classificação e dimensões dos climas [6].

Clima	Extensão Horizontal	Extensão Vertical
Clima regional (macro-clima)	1 – 200 km	1 m – 100 km
Clima local (meso-clima)	100 m – 10 km	0,1 m – 1 km
Clima na superfície ou próximo da superfície (micro-clima)	0,01 m – 100 m	0,01 m – 10 m

2. CARACTERIZAÇÃO DA AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE MARINHO

De todos os meio ambientes onde as estruturas possam estar inseridas, seguramente o meio ambiente marinho é o que mais foi e está sendo estudado. A presença de agentes agressivos, com velocidade alta de ataque, justifica essa preferência de estudo.

No ambiente marinho são encontrados vários agentes que atuam negativamente sobre as estruturas de concreto, reduzindo seu desempenho, e que podem ser agrupados em agentes químicos, agentes físicos e agentes biológicos. Normalmente, a ação desses agentes acontece simultaneamente.

Segundo Mehta & Monteiro [16], no ambiente marinho, a água salgada é o principal agente responsável por processos físicos e químicos de degradação. Isso se explica pelo fato de que, na água do mar, estão presentes todos os elementos naturais conhecidos da tabela periódica, cada um em uma determinada proporção. É importante lembrar que a concentração desses elementos pode variar consideravelmente com a localização, tempo, estação do ano e especialmente com a atividade biológica [23].

2.1. Composição da água do mar

Os Oceanógrafos classificam os elementos distribuídos nos oceanos e seus diversos estados químicos, segundo a ordem de grandeza de sua concentração, em três grupos: Elementos Inorgânicos Maiores² (Cl, Na, S, Mg, Ca, K), Elementos Menores³ (Br, C, Sr, B, Si, F) e Elementos Traços⁴ (N, Li, Rb, P, I, Fe, Zn, Mb) (ROSS, 1982). Alguns compostos, como os que contêm Sódio e Potássio, são muito estáveis, enquanto outros, como os que contêm Silício e Magnésio, são relativamente instáveis.

Como pode ser observado na Figura 1, adaptada do trabalho de Kiera [10], os seis íons mais abundantes da água do mar, que compõem juntos em torno de 99% dos sais do mar, são Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ .

² Elementos Inorgânicos Maiores são aqueles que se apresentam em quantidades maiores que 100 partes por milhão (ppm), ou 100 mg por litro.

³ Elementos Menores são aqueles que se apresentam em quantidades maiores que 1 ppm e menos que 100 ppm.

⁴ Elementos Traços são aqueles que se apresentam em quantidades menores que 1 ppm.

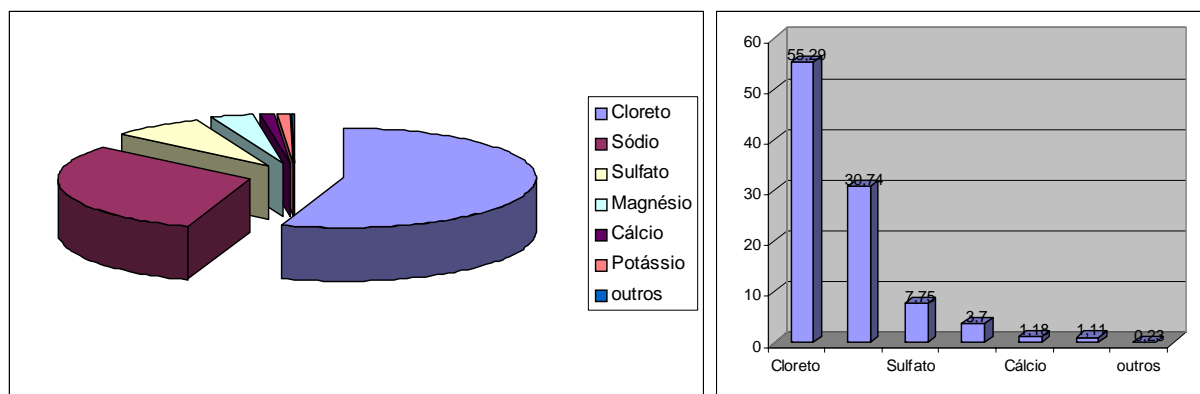


Figura 1 – Proporção entre os principais elementos constituintes de uma típica amostra de água do mar com salinidade de 35 (adaptada de [10]).

A relativa estabilidade dos compostos químicos é importante no controle da composição geral dos oceanos. Historicamente, a composição da água do mar tem sido estudada com grande ênfase. Já se comprovou que, embora a quantidade total de sais dissolvidos seja variável, as proporções dos elementos principais são constantes. Comprovou-se, também, que a salinidade normalmente pode variar de 33 a 37 partes por mil em oceano aberto; mas em áreas fechadas e locais onde as condições são apropriadas à amplitude, a salinidade pode variar entre 28 a 40 ou mais (partes por mil). No entanto, uma média global de salinidade aceita para todos os oceanos é de 35 partes por mil [11]. A concentração de sais da água do mar varia segundo a profundidade, a temperatura, a latitude e a proximidade da costa. Um exemplo disso pode ser observado na Figura 2, que apresenta a variação espacial da salinidade no Oceano Atlântico Sul. Segundo Riley & Hirrou [22], a concentração dos principais componentes da água do mar pode variar conforme a influência de diversos processos, tais como a evaporação, a formação e o derretimento das geleiras, o aporte fluvial e a própria chuva. Cabe lembrar que todos esses efeitos sofrem variações também ao longo das estações do ano [22;4].

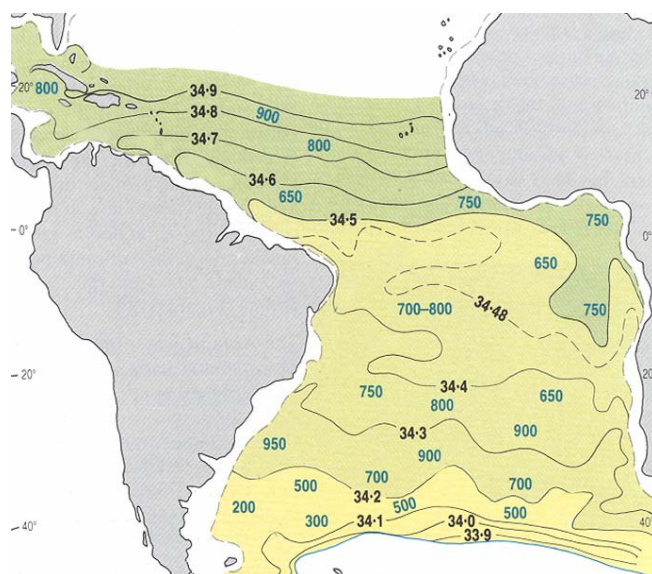
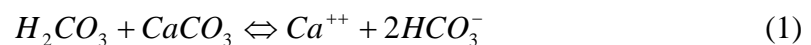


Figura 2 – Variação da salinidade no Oceano Atlântico Sul. Os números em preto correspondem à salinidade, enquanto que os em verde, à profundidade que atinge a massa d'água superficial. É importante salientar que esses valores apenas ilustram as variações espaciais (com a latitude) em um período de tempo específico [20].

A salinidade e a temperatura influenciam diretamente nas características físico-químicas da água do mar, por exemplo, alterando a densidade de uma massa d'água que acaba influenciando também na distribuição dos seres vivos.

Um aspecto interessante, quando se estuda o ambiente marinho, diz respeito ao pH da água do mar. Apesar de ser fortemente influenciada pela atividade biológica, nos processos de fotossíntese, respiração e excreção, não sofre variações significativas. Os oceanos são considerados uma grande “solução tamponada”. Isso se deve às reações entre o Dióxido de carbono no ar (CO_2), o Ácido carbônico (H_2CO_3) e o Carbonato de cálcio (CaCO_3). O gás carbônico, rejeito respiratório e ponto de partida para a fotossíntese, quando borbulhado em água, sofre dissolução, formando Ácido carbônico e, dessa forma, reduz o pH. Por sua vez, o Ácido carbônico reage com o Carbonato de cálcio, provocando uma elevação o pH, conforme pode ser observado na reação abaixo:



Os íons de Hidrogênio, provenientes da dissociação do Ácido carbônico, formam os íons de Bicarbonato (HCO_3^-) a partir de íons de Carbonato, derivados da dissociação do Carbonato de cálcio (CaCO_3), resultando no efeito de tamponamento da água do mar. Esse fato também foi comprovado por Morelli & Lima [18] em estudos realizados com dados coletados na enseada de Balneário Camburiu – SC.

2.2. Agentes de degradação presentes no ambiente marinho

São apresentados, neste item, os agentes de degradação presentes no ambiente marinho, divididos em Agentes químicos, físicos e biológicos de degradação.

a. Agentes químicos de degradação

A agressividade química do ambiente marinho se deve principalmente aos principais sais que se apresentam dissolvidos na água do mar, quais sejam: Cloreto de sódio, Cloreto de magnésio, Sulfato de magnésio, Sulfato de cálcio, Cloreto de cálcio, Cloreto de potássio, Sulfato de potássio e Bicarbonato de cálcio. Para um concreto submetido à ação da água do mar, são prejudiciais, em primeiro lugar, os sais de magnésio e de sulfato, já que essa ação ocorre em longo prazo [14].

A agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto deve, assim, ser dividida em dois aspectos completamente distintos, com características de ataque distintas: uma relativa à degradação do concreto, pela ação dos sais agressivos; outra pelos processos de corrosão das armaduras, devido à presença de íons Cloreto e a alta umidade do ambiente.

b. Agentes físicos de degradação

i) A movimentação da água do mar (ondas, correntes e marés)

As forças da natureza provocam movimentação das águas dos oceanos e mares, gerando não somente ondas, mas também as marés e correntes. O desequilíbrio da radiação solar origina ventos que levantam as ondas e produzem as ondulações. A fricção do ar que se move e pressiona as camadas superficiais de água e são transmitidas para as camadas mais profundas acabam gerando uma considerável movimentação de massas líquidas, fazendo com que a coluna d'água não se mantenha homogênea. Além disso, existe a contribuição das ondas, que, apesar de possuírem apenas movimento de translação, possuem também movimentos aproximadamente circulares durante seus movimentos ondulatórios.

A variação de densidade e temperatura das diferentes massas de água acaba gerando correntes marinhas que são consideradas como verdadeiros rios dentro dos oceanos. Na costa brasileira, as principais correntes encontradas, ou que exercem maior influência nas áreas costeiras, são a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas, que acabam influenciando diretamente nas massas d'água costeiras que estão em contato direto com as estruturas de concreto.

Dentre os processos de movimentação da água do mar, as ondas e as marés possuem efeitos diretos na degradação das estruturas de concreto. As correntes apresentam uma ação indireta influenciando na concentração dos compostos químicos e na composição do material carregado em suspensão, os quais poderão ter ação direta na erosão ou ataque químico às estruturas.

Como efeito da ação das marés, uma estrutura exposta passa por ciclos de molhagem/secagem, calor/frio, etc, o que acelera os processos de degradação envolvidos. As marés variam entre 0,5m, em algumas localidades, até 15m em outras. A variação das marés no oceano é geralmente pequena, quase sempre menor do que 1m; no entanto, próximo à costa, essa variação pode chegar a mais de 5m.

As ondas atuam na degradação das estruturas através do desgaste superficial provocado por seu impacto contínuo. A variação das marés afeta, além da estrutura exposta ao ar livre a qual pode receber a água do mar diretamente ou apenas por respingos ou névoa, também as partes das estruturas que estão sujeitas às variações do nível do lençol freático, que possui características químicas bastante peculiares.

ii) Vento

O vento tem uma grande importância como agente de degradação, pois atua no transporte de íons, seja na forma de partículas sólidas e/ou através de gotas de solução salina, nos ciclos de molhagem/secagem e, de maneira indireta, na formação de ondas e correntes.

Além de agente de transporte do aerossol marinho, o vento age como um catalisador nos ciclos de molhagem e secagem das estruturas, favorecendo a precipitação ou formação de sais.

c. Agentes biológicos

As características físico-químicas da água do mar são muito favoráveis para o desenvolvimento da vida.

Os principais organismos agressores às estruturas de concreto são os organismos encrustadores que se fixam nas estruturas e que causam danos diretamente desgastando parte da estrutura, ou de forma indireta, na produção de resíduos metabólicos, enzimas e ácidos.

Organismos como os moluscos, crustáceos, equinodermos e algas, que são exemplos de encrustadores, afetam positiva e negativamente as estruturas de concreto. A forma negativa é equivalente ao que já foi citado – provocam desgaste superficial ou aumento de peso das estruturas; afetam positivamente pelo fato de servirem de anteparo para as ondas, reduzindo, assim, a ação direta destas.

Outro exemplo de efeito ambíguo é o das algas. Estas podem ser consideradas nocivas às estruturas quando observadas como formadoras de compostos sulfurosos, Ácido carbônico e Dióxido de carbono; por outro lado, as algas em zonas submersas podem selar a superfície das estruturas, melhorando sua durabilidade.

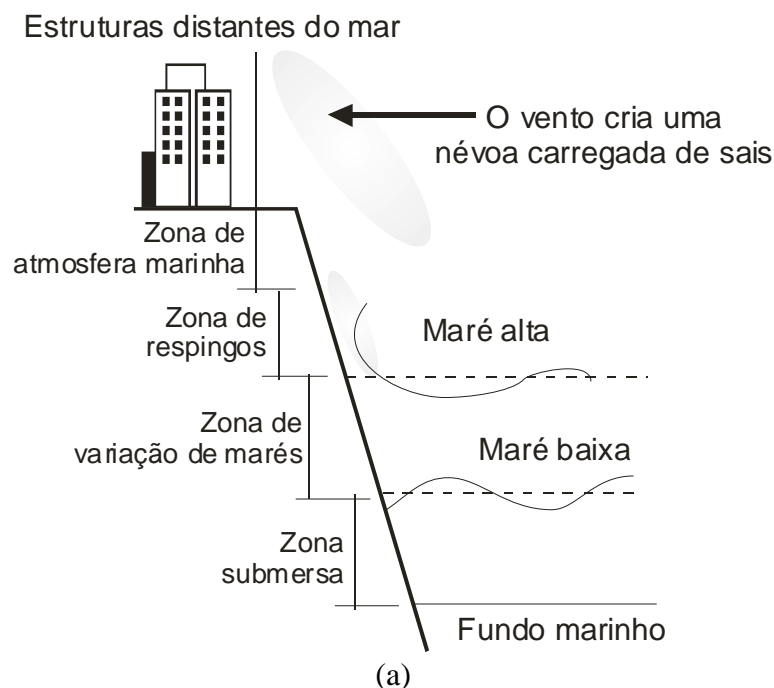
2.3. Agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto

A maioria dos estudos sobre a durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho resume-se nos temas de corrosão de armaduras ou, em outros poucos casos, ataque por sulfatos. A corrosão das armaduras é uma das patologias mais preocupantes, do ponto de vista estrutural e econômico. Na Figura 3 nota-se a repetibilidade do ataque em uma mesma zona dos pilares e nas zonas de atmosfera (aéreas). O maior ataque nessas regiões deve-se ao acesso da água e do Oxigênio, necessário à reação de corrosão. Essa observação também é válida para o ataque por sulfatos, o qual, nesse caso, ocorre à matriz de cimento.



Figura 3 – Ataque característico devido à corrosão de armaduras em zona de variação de marés – (a) vista inferior da passarela da plataforma; (b) vista lateral dos pilares (Fotos: Maryangela Geimba de Lima, 1987).

Devido a essas características diferenciadas de ataque, muitos autores e códigos de normalização apresentam o ambiente marinho dividido em diferentes zonas, como pode ser visualizado nos dois exemplos a seguir (Figura 4). Essa divisão por zonas se caracteriza pelo distinto acesso de Oxigênio e de água e umidade.



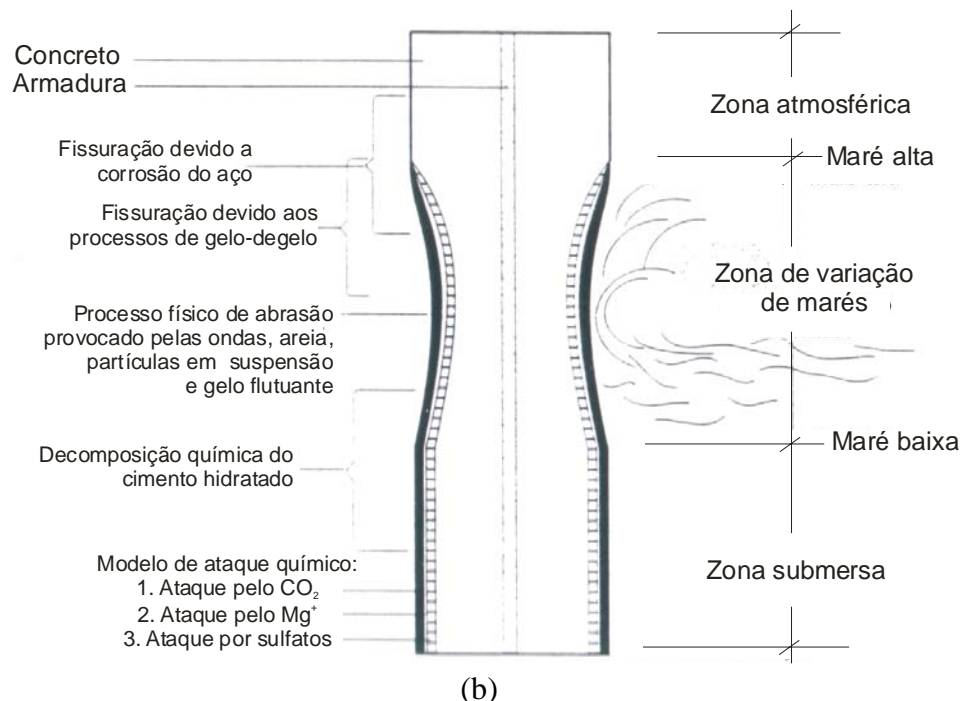


Figura 4 – Apresentação das distintas regiões (zonas) de agressividade às estruturas de concreto armado – (a) (adaptado de DURACRETE, [6]), (b) (adaptado de MEHTA, [15]).

Assim, cada uma das zonas apresentadas na Figura 4, apresenta suas principais características de degradação, conforme especificadas a seguir [4;14].

- i) Zona de atmosfera marinha: nesta região: a estrutura recebe, apesar de não estar em contato com a água do mar, uma quantidade razoável de sais, capazes de produzir depósitos salinos na superfície, onde se produzem ciclos de molhagem e secagem. Os ventos podem carregar os sais na forma de partículas sólidas ou como gotas de solução salina contendo vários outros constituintes. A quantidade de sais presente vai diminuindo em função da distância do mar, sofrendo influência da velocidade e direção dos ventos predominantes. Meira [17] mediu concentrações de cloretos a diferentes distâncias da orla e as apresentou na Tabela 2; conclui que, a partir de 700m da orla, tem-se uma redução significativa no ataque provocado pelos íons cloreto. O mecanismo principal de degradação presente nessa zona é a corrosão das armaduras pela ação dos íons cloreto;

Tabela 2 – Faixas de agressividade, com base na vida útil das estruturas (adaptado de [17]).

Faixas de agressividade		Distâncias aproximadas(**) (m)
Nível de agressividade	Vida útil máxima(*) (anos)	
Elevada	Até 3 (cob=10mm) e 17 (cob=20mm)	Até 130
Moderada	Entre 24 (cob=10mm) e 50 (cob=20mm)	Entre 130 e 700
Mínima	Superior a 24 (cob=10mm) e 50 (cob=20mm)	Acima de 700

(*) Para os diversos cobrimentos e materiais estudados.

(**) Nota: cabe aqui ressaltar que essas distâncias não podem ser extrapoladas para todo o litoral brasileiro, mas servem como referência. Isso se deve aos distintos regimes de ventos, distribuição de umidades relativas e temperatura, por exemplo.

- ii) Zona de respingos: é a região onde ocorre a ação direta do mar, devido às ondas e aos respingos. Os danos mais significativos são produzidos por corrosão das armaduras pelos íons Cloreto e por erosão, devido às ondas;
- iii) Zona de variação de marés: esta região está limitada pelos níveis máximo e mínimo alcançados pelas marés; devido a isso, o concreto pode encontrar-se sempre saturado, dependendo das condições climatológicas e com uma crescente concentração de sais. A degradação acontece devido à ação dos sais agressivos (ataque químico), corrosão de armaduras (devido à presença de Cloretos), ação das ondas e outras substâncias em suspensão (abrasão) e microorganismos;
- iv) Zona submersa: é a região onde a estrutura de concreto encontra-se permanentemente submersa. A degradação acontece pela ação de sais agressivos (sulfato e magnésio) e pela ação de microorganismos, que, em casos extremos, pode gerar a corrosão biológica das armaduras.

A agressividade de cada uma dessas zonas possui características próprias, que sofrem influência de diferentes fatores, entre eles a temperatura. Segundo Duracrete [6], a temperatura da água próxima à superfície dos oceanos varia de um mínimo de -2°C (ponto de congelamento da água do mar) até um máximo de aproximadamente 30°C . A temperatura diminui rapidamente com o aumento da profundidade e estaciona em valores entre 2 e 5°C , em profundidades entre 100 e 1000m ou mais. Já as condições de temperatura na zona de variação de marés e de respingos são mais difíceis de serem descritas. São condições que sofrem influência da temperatura do ar e da água do mar, das ondas e dos efeitos das marés, juntamente com as diferenças de temperatura entre o ar e a água, podem expor partes da estrutura a ciclos de molhagem/secagem e calor/frio capazes de destruir o mais forte dos materiais.

Guimarães [7] apresenta as diferenças entre essas distintas zonas, caracterizando especialmente as diferenças no ingresso dos agentes agressivos. Pode-se resumir seus resultados da seguinte forma, apresentado pelo mecanismo e agente de degradação:

- a) carbonatação: significativa apenas na zona de névoa ou de atmosfera marinha, sendo insignificante para as regiões de respingo, variações de marés e submersa;
- b) penetração de cloretos: os dados levantados levaram à apresentação do gráfico da Figura 5, em que está caracterizada a maior penetração nas regiões com ciclos de molhagem e secagem, ou seja, nas zonas de respingos e de variação de marés;

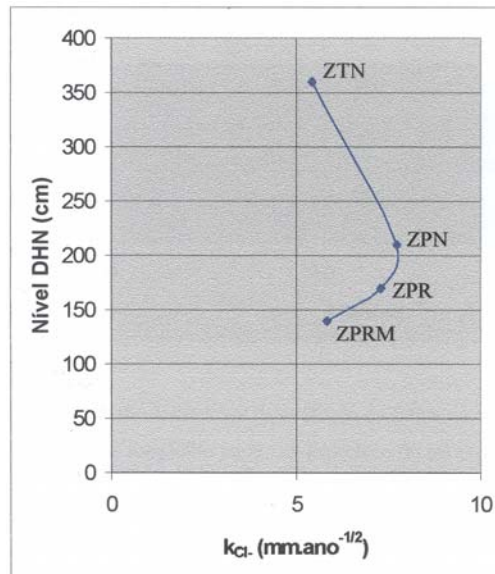


Figura 5 – Gráfico dos coeficientes de penetração de íons cloreto nos diversos microambientes pesquisados [7].

ZTN – Zona totalmente de névoa; ZPN – Zona predominante de névoa (com respingos em pequeno período do ano); ZPR – Zona predominantemente de respingos; ZPRM – Zona predominantemente de respingos e maré; DHN – Nível do mar; k_{Cl^-} - coeficiente de penetração de íons cloreto.

c) sulfatos: o ataque por sulfatos é mais intenso na zona predominantemente de respingos e de variação de marés, diminuindo a intensidade de ataque com o aumento de cota, ou seja, com a distância em relação ao nível do mar; é praticamente desprezível na zona totalmente de névoa.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE MODELOS DE PREVISÃO DE VIDA ÚTIL

Helene [9] descreve vida útil como “o período de tempo no qual a estrutura é capaz de desempenhar as funções para as quais foi projetada.”. A maioria dos modelos de previsão de vida útil baseia-se no modelo qualitativo proposto por Tuutti, que divide a vida útil em duas etapas: uma primeira etapa, chamada de Período de Iniciação, refere-se ao tempo necessário para que os agentes agressivos alcancem a armadura, despassivando-a; e uma segunda etapa, chamada de Período de Propagação, que corresponde ao período no qual a armadura começa a atacada indo até a perda da capacidade da estrutura.

Segundo Sarja e Vesikari [24], os modelos de durabilidade podem ser divididos em modelos determinísticos ou estocásticos. Os modelos determinísticos são utilizados quando não se considera a dispersão da degradação, onde os parâmetros do modelo geram um único resultado, frequentemente o valor médio. Os modelos estocásticos são utilizados quando o objetivo da modelagem é determinar uma probabilidade de falha da estrutura, sendo também eficientes para avaliar a sensibilidade de diferentes parâmetros na vida de serviço. Andrade [1] salienta que os modelos determinísticos são baseados na leis da física, como as Leis de Darci, Arrhenius e Fick; e que os modelos probabilísticos estão sendo abordados, atualmente, através da teoria da confiabilidade.

Para se determinar a vida útil de uma estrutura de concreto armado exposta à ação de íons cloretos, faz-se necessário determinar a concentração de cloretos existente no interior da massa de concreto, junto às armaduras. Alguns autores [26;2;25] utilizam modelos baseados nas Leis de Fick para determinar o perfil de penetração de cloretos em estruturas de concreto. No entanto, outros autores [5;8;19] argumentam que a 2ª Lei de Fick considera o coeficiente

de difusão de cloretos constante e que tal fato não é válido para o concreto, pois ocorrem variações no coeficiente de difusão de cloretos com a profundidade de penetração, com o grau de hidratação do cimento, com a temperatura e com o pH do concreto.

Entre os muitos modelos de previsão de vida útil existentes, poucos são os que consideram a influência de parâmetros ambientais na sua modelagem, entre eles pode-se citar o modelo desenvolvido por Saetta et al (apud Andrade[1]); o modelo proposto por Liu e Weyers [13]; o modelo de Andrade[1]; o modelo de Anoop et al[3]; e o modelo de Bob (apud Andrade[1]). Estes modelos utilizam como parâmetros fatores ambientais como temperatura, umidade relativa e concentração superficial de cloretos, entre outros parâmetros.

4. ESTUDO DE CASO

Em maio de 2005, executou-se uma inspeção, em uma estrutura de concreto armado e protendido, construída em 1976. Esta estrutura localiza-se no litoral nordeste do Brasil, à aproximadamente 12 km da costa. Anteriormente a esta inspeção, foram coletadas informações dos antecedentes da estrutura e do meio ambiente que a envolve, com base em documentos existentes.

São aqui apresentados apenas alguns resultados da análise realizada para ilustrar a importância de estudos envolvendo micro-clima.

4.1 Características ambientais do local da obra [21]

- Temperatura com máximos absolutos de 36,8°C e mínima de 17,3°C, sendo 27°C aproximadamente a temperatura média da região;
- A incidência solar é bastante elevada, principalmente para os meses de agosto a janeiro, chegando a 8,3h/dia nos meses de outubro e novembro;
- A umidade relativa do ar, média anual, é de 70,8%, sendo menor nos meses de junho a novembro (mínima em novembro, 66%), coincidindo com a estação de menor pluviosidade;
- A composição química da água de mar na região de estudo, realizada com amostras de água coletadas na superfície (0-30 cm) e próximo ao fundo, indicaram salinidade variando de 30 a 35‰, pH de 8,1 a 8,4, concentração de Oxigênio dissolvido de 4,6 a 5,8 ml/l e valores para a temperatura de 28°C, praticamente constante desde a camada superficial de água até o fundo (variação de aproximadamente 1,1°C);
- Os ventos sopram predominantemente de leste (E) e de nordeste (NE).

4.2 Inspeção

- Inspeção preliminar, com exame visual geral da estrutura para estabelecer localização e grau de deterioração no concreto e armaduras;
- Inspeção detalhada, com extração / coleta de corpos-de-prova e amostras em pó, sendo: duas posições em cada costado (faces – Norte, Sul, Leste e Oeste) e em três níveis de altura, sendo um próximo a variação de marés, outros na zona de respingos e zona de atmosfera marinha;
- Ensaios em laboratório para determinação do teor de cloretos (totais) em relação a massa de concreto.

4.3 Alguns Resultados

Os resultados obtidos nesta inspeção estão ilustrados a seguir (Figuras 5 a 7), podendo-se observar a diferença dos teores de cloretos de cada costado (Norte, Sul, Leste e Oeste) e em cada zona de exposição (variação de maré, respingos e atmosfera marinha).

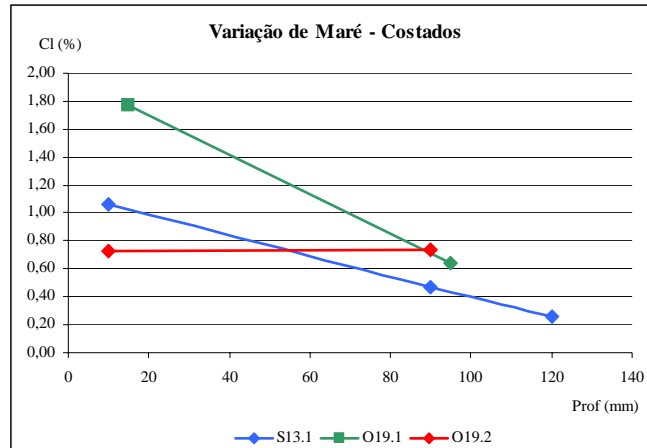


Figura 5 – Teor de cloretos na zona de variação de maré – comparação entre costados. (S= costado sul; O=costado oeste; S13.1, O19.1 e O19.2 referem-se aos pontos de coleta das amostras)

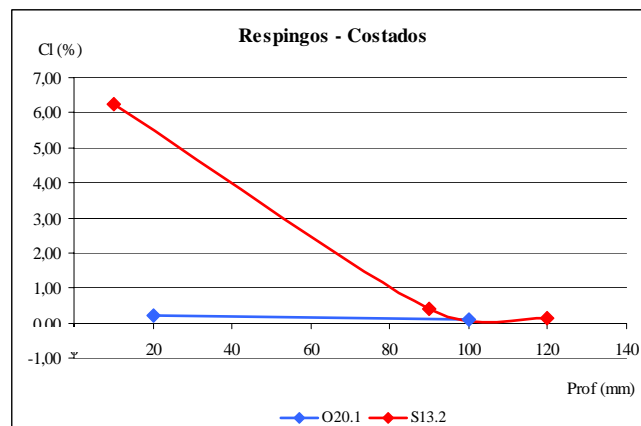


Figura 6 – Teor de cloretos na zona de respingos – comparação entre costados. (S=costado sul; O=costado oeste; O20.1 e S13.2 referem-se aos pontos de coleta das amostras)

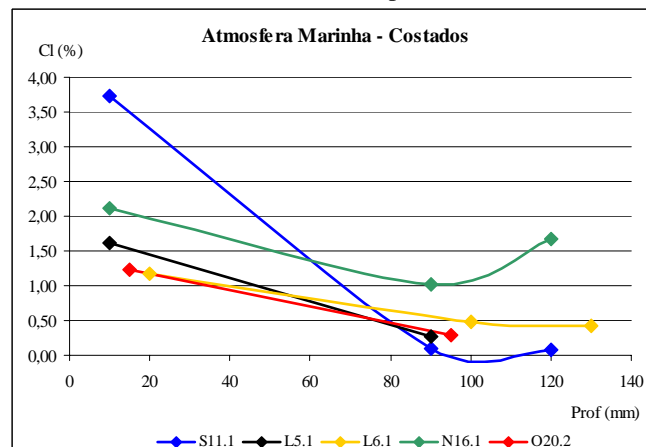


Figura 7 – Teor de cloretos na zona de atmosfera marinha – comparação entre costados. (N=costado norte; S=costado sul; L=costado leste; O=costado oeste)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho são apresentados resultados iniciais, sem tratamento estatístico, mas que já permitem análises preliminares. Pelos gráficos apresentados pode-se notar um comportamento distinto entre as distintas zonas (atmosfera, respingos e de variação de marés) quando se considera a orientação da estrutura analisada mostrando a influência do micro-clima na degradação da estrutura.

A estrutura analisada permite que se visualize a influência apenas dos parâmetros ambientais nos processos de degradação uma vez que não se têm outras construções na vizinhança da estrutura. Outras edificações; estruturas interferem na ação dos fatores ambientais de degradação gerando a formação de caminhos de vento, sombras eventuais, aquecimentos, etc.

AGRADECIMENTOS

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA
Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras
Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior - CAPES
Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Utfpr

REFERÊNCIAS

1. ANDRADE, J. J. O., *Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: Iniciação por cloretos*. Tese (Doutorado), UFRGS, Porto Alegre, 2001.
2. ANDRADE, J., DAL MOLIN, D., Probabilistic concepts in service life prediction of reinforced concrete structures inserted in saline environments, II Workshop sobre Durabilidade das Construções, São José dos Campos, 2001.
3. ANOOP, M.B.; RAO, K.B.; RAO, T.V.S.R.A., Application of fuzzy sets for estimating service life of reinforced concrete structural members in corrosive environments. *Engineering Structures*, 2002.
4. BICZÓK, I. Corrosion y proteccion del hormigon. 6. ed. Bilbao, Espanha, URMO, 1981.
5. CHATERJI, S., On the applicability of Fick's Second Law to chloride ion migration through Portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, vol. 25, nº. 2, pp. 299-303, 1995.
6. DURACRETE: Models for environmental actions on concrete structures. The European Union – Brite EuRam III, March, 1999.
7. GUIMARÃES, A. T. C. *Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marinhos*. São Paulo: USP, 2000. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2000.
8. HALAMICKOVA, P.; DETWILER, R. J.; BENTZ, D. P.; GARBOCZI, E. J., Water permeability and chloride ion diffusion in Portland cement mortars: Relationship to sand content and critical pore diameter. *Cement and Concrete Research*, vol. 25, no. 4, pp. 790-802, 1995.
9. HELENE, P. R. L., *Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado*. Tese de Livre Docência, USP, São Paulo, 1993.

10. KIERA, M . Disponível em: http://www.geocities.com/kuttiekitt/chem_info1.html. Acesso em: maio 2001.
11. LEMUS, J. L. C.; GARCÍA, M. P. T. & FRÍAS, M. El océano y sus recursos. ii. las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. Disponível em: http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/SEC_17.html. Acesso em: maio 2001.
12. LIMA, M. G.; Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, cap. 24, ed. G. C. Isaia, São Paulo, IBRACON, 2005, p.713-751.
13. LIU, T.; WEYERS, R.W., Modeling the dynamic corrosion process in chloride contaminated concrete structures. Cement and Concrete Research, vol. 28, no. 3, pp. 365-379, 1998.
14. LÓPEZ S. P. Durabilidad del hormigón en ambiente marino. Cuadernos Intemac, n. 31. Madrid: INTEMAC, 1998.
15. MEHTA, P.K. Performance of concrete in marine environment. ACI Publication SP-65. Detroit: American Concrete Institute, 1980.
16. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
17. MEIRA, G.R. Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto armado. Florianópolis: UFSC, 2004. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
18. MORELLI, F. & LIMA, M. G. Caracterização da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto. In: SEMENGO, 2004, Rio Grande. Anais [CD Rom]. Rio Grande, FURG, 2004.
19. NUGUE, F., LORENTE, S., OLLIVIER, J.P., Basis for the prediction of chloride ingress into cement-based materials. e-Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, vol. 1, n^o. 1, pp. 10-21, 2004.
20. OPEN University/Oceanography Course Team, Seawater: Its composition, properties and Behaviour. Oxford: Pergamon, 1989.
21. PEREIRA, A. C. *Estúdio de métodos probabilísticos para la predicción de la vida útil de estructuras de hormigón: influencia del factor variabilidad espacial en el caso de plataformas offshore en Brasil*. 2003. 545 p. Tese (Doutorado) - ETSIC, UPM, Madrid, 2003.
22. RILEY, J. P. & HIRROU G. S. Chemical Oceanography. 2. ed., London: Academic Press, 1975.
23. ROSS, D. A. Introduction to Oceanography. 3 ed., s.l., s.e., 1982.
24. SARJA, A.; VESIKARI, E. *Durability Design of Concrete Structure*. RILEM, 1994. E&FN Spon.
25. TROCONIS DE RINCÓN, O., CASTRO, P., MORENO, E.I., TORRES-ACOSTA, A.A., MÓRON DE BRAVO, O., ARRIETE, I., GARCIA, C., GARCIA, D., MARTINEZ-MADRID, M., Chlorides profiles in two marine structures – meaning and some predictions. Building and Environment 39, pp. 1065-1070, 2004.
26. VU, K. A. T., STEWART, M. G., Structural reliability of concrete bridges including improved chloride-induced corrosion models. Structural Safety, vol. 22, pp. 313-333, 2000.