



## ANÁLISE DE CARBONATAÇÃO E CORROSÃO POR ÍONS CLORETO EM UMA PASSARELA DA ZONA OESTE DO RECIFE

SIQUEIRA, M.V (1); SANTOS, A.M (2); AQUINO, J.T (3); MOTA, J.M.F (4)

*Instituto Federal de Pernambuco, mateusengh@gmail.com; Instituto Federal de Pernambuco, andresantos@recife.ifpe.edu.br; Instituto Federal de Pernambuco, joastomaz@outlook.com; Instituto Federal de Pernambuco, mota.joamanoel@gmail.com*

### RESUMO

Este artigo visa realizar uma revisão bibliográfica acerca do concreto armado e suas formas de deterioração relativas à armadura através da ação da carbonatação e ataque por íons cloretos, promovendo manifestações patológicas nas estruturas, de forma a fomentar o conhecimento destes mecanismos em virtude da sua significância para o setor da construção civil. Para tanto, realizou-se uma investigação real de uma passarela na zona oeste do Recife em forma de exemplificação prática, buscando analisar as condições da mesma através do uso de substâncias químicas como a solução de fenolftaleína e nitrato de prata (método de Mohr) *in loco*, objetivando compreender bibliograficamente as variáveis responsáveis por essas manifestações, além da relevância social no aspecto de segurança em estruturas de concreto armado. Obteve-se como resultado a constatação da deterioração avançada em regiões críticas da estrutura, através da exposição direta da armação por ausência do cobrimento do concreto. Conclui-se que fatores naturais e ausência de ações preventivas e corretivas são uma das principais causas para avanço das manifestações nas estruturas em concreto armado, a exemplo desta passarela em estudo que sofre o processo avançado de carbonatação e corrosão da armadura em inúmeros pontos de sua estrutura, necessitando de uma análise mais complexa para imperativa manutenção e recuperação da mesma.

**Palavras-chave:** Concreto. Corrosão. Carbonatação.

### ABSTRACT

*This article aims at a literature review on reinforced concrete and its deterioration of armor through the action of carbonation and attack by chloride ions, promoting pathological manifestations in these structures, in order to promote the knowledge of these mechanisms due to their significance for The Construction Sector. It has a real research of a catwalk in the west zone of Recife in the form of an exemplifying practice, seeking to analyze the conditions in the same way through the use of chemical substances as solution of phenolphthalein and silver nitrate (Mohr method) *in loco*, aiming bibliographically As variables responsible for these manifestations, besides the social relevance in the security aspect in reinforced concrete structures. This resulted in an advanced deterioration in critical areas of the structure, through direct exposure of the frame due to the absence of concrete cover. It is concluded that they are natural and absence of preventive and corrective actions are one of the main causes for the advance of the manifestations in the structures in reinforced concrete, an example of a catwalk in study that undergoes the advanced process of carbonation and corrosion of the armor in numerous points of the Its structure, requiring a more complex analysis for imperative maintenance and recovery of it.*

**Keywords:** Concrete. Corrosion. Carbonation.

### 1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos primitivos o homem foi capaz de mostrar o seu poder de adaptação ao meio em que habitava. Uma das formas de adaptação foi a realização de obras de construção civil. Após vários erros e acertos, foi sendo formado um grande conjunto técnico e, com o passar do tempo e com o

desenvolvimento de novas tecnologias, se tornou recorrente a aceitação implícita de maiores riscos nos projetos de engenharia de uma maneira geral (MARQUES, 2015).

Assim, no início do século XX, acreditava-se que o concreto armado era um material que poderia atingir uma vida útil elevada sem a necessidade de reparos. Isso realmente aconteceria se o projeto e a execução forem isentos de falhas e o ambiente for pouco agressivo (MARQUES, 2015). Porém, como é difícil controlar esses fatores intervenientes nos processos construtivos e ambientais e com a grande utilização deste material nas obras de construção civil, passou a ser comum a presença de manifestações patológicas nas edificações a partir de então.

Segundo Polito (2006), a incidência de patologias pode ser atribuída a dois principais fatores. Ao aumento da esbeltez das estruturas, reduzindo as dimensões das peças estruturais e o cobrimento das armaduras e incrementando as tensões de trabalho, favorecendo a tendência à fissuração e reduzindo a proteção das armaduras. E ao aumento da agressividade do meio ambiente, causado principalmente pela industrialização.

Diante desse quadro observa-se, geralmente, atitudes inconsequentes, que conduzem em alguns casos à simples reparações superficiais, e em outros às demolições e reforços desnecessários (POLITO, 2006).

Sob a perspectiva do impacto causado do meio ambiente sobre as estruturas de concreto, o presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca do concreto armado e suas formas de deterioração relativos a armadura através da ação da carbonatação e ataque por íons cloretos e investigar a ação dessas patologias em uma passarela na zona oeste do Recife.

## 2 CONCRETO

O concreto é um material do tipo compósito constituído por agregado graúdo, agregado miúdo, cimento, água, adições e, em determinados casos, aditivos; de forma que sua resistência varie através da relação água-cimento, sendo esta responsável por conferir algumas características a esse material (GENTIL, 1996).

Têm-se a Lei de Abrams como o principal parâmetro para definição da resistência e durabilidade do concreto, ela é representada pela Equação 1.

$$f_c = \frac{A}{B^{a/c}} \quad (1)$$

Onde:

- $f_c$ : resistência à compressão numa certa idade, em MPa;
- A: constante que depende dos materiais utilizados e da idade;
- B: constante que depende dos materiais utilizados e da idade;
- a/c: relação água/cimento ou água/aglomerantes, em massa.

Em concordância com a NBR 6118 (2014), as estruturas em concreto devem ser projetadas segundo as condições ambientais em sua fase de projeto, fornecendo

segurança, estabilidade e aptidão de serviço ao longo de sua vida útil.

O conceito de durabilidade está correlacionado a capacidade de resposta da material frente as características de deterioração a ele impostas (SOUZA; RIPPER, 1998). Estas variam conforme fatores intrínsecos, como: relação a/c, adições, tipo de cimento; e extrínsecos: chuva ácida, sais, tipos e período de solicitações, dentre outros (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

## 2.1 A agressividade do ambiente

De acordo com a NBR 6118 (2014), o conceito de agressividade do ambiente está correlacionado as ações físicas e químicas que atuam nas estruturas de concreto, sendo estas variáveis, muitas vezes, não previstas no momento do dimensionamento destas estruturas.

Sendo assim, conforme esta norma, classifica-se as regiões em classes de agressividade ambiental, permitindo a adoção de medidas de projeto em prol da vida útil das peças estruturais em concreto. Essa classificação está representada na Figura 1.

Figura 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (2014).

Diante das classes de agressividade ambiental, a NBR 6118 (2014) aborda o cobrimento mínimo necessário para os elementos estruturais em concreto armado mediante a classe de agressividade aos quais estão inseridos (Figura 2).

Figura 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para Dc = 10 mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55

<sup>1)</sup> Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

<sup>2)</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>3)</sup> Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: NBR 6118 (2014).

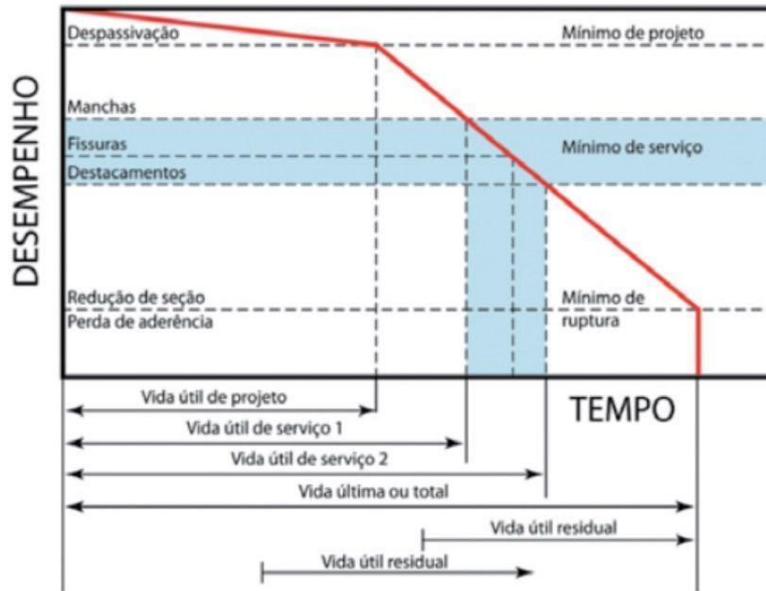
## 2.2 Vida útil das estruturas de concreto

Entende-se por vida útil de projeto o período de tempo em que as estruturas de concreto mantêm suas características, atendendo os requisitos de uso e manutenção do projetista e construtor (NBR 6118, 2014).

Conforme a ISO 13823:2008, entende-se por vida útil o período de tempo efetivo em que a estrutura ou parte de seus componentes atende suas funções com um desempenho mínimo de projeto, ausente algum procedimento de manutenção.

A NBR 15575:2013 aborda conceitos similares entre vida útil e vida útil de projeto, diferenciando-se que este é o período de tempo estimado que uma edificação e seus sistemas desempenham suas funções conforme projetado, enquanto aquela é o tempo real que a estrutura e seus sistemas atendem suas atividades para o qual foram construídos.

Figura 3 - Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão de armaduras.



Fonte: Helene (1997).

Aplicando tais conceitos as estruturas de concreto armado (como representado na Figura 3), pode-se, conforme Medeiros, Andrade e Helene (2011), definir:

- Vida útil de projeto: período de tempo em que ocorre a despassivação da armadura, através da frente de carbonatação ou íons cloreto atinja a armadura.
- Vida útil de serviço: período de tempo em que ocorrem manchas, fissuras ou descolamento do concreto.
- Vida útil total: compreende o tempo no qual ocorre a redução significativa da armadura ou uma perda relevante dos componentes do concreto/armadura, havendo a possibilidade de colapso parcial ou total da estrutura.
- Vida útil residual: corresponde ao período em que a estrutura desempenha suas funções, entretanto, marcado neste caso uma vista a partir de uma data qualquer.

### 2.3 Exemplificação de vida útil de uma passarela em concreto armado na zona oeste do Recife

Diante da análise *in loco* dos presentes autores, no bairro Cidade Universitária (Recife – Pernambuco) traz-se a exemplificação prática do conceito de vida útil total de parte da estrutura da passarela em observação (Figura 4). Neste caso, percebe-se o avanço do estado de deterioração da estrutura com contribuição do processo de carbonatação sofrida pela mesma, por consequente, ausência de cobrimento em função da fragmentação de placas de concreto, deixando à mostra a armação da peça, promovendo ambiente favorável para corrosão desta armadura, gerando o rompimento de parte da mesma, como exemplificado na imagem nos estribos.

Figura 4 - Deterioração dos pilares em concreto armado de uma passarela na zona oeste do Recife



Fonte: Os autores (2017).

## 3 CORROSÃO DE ARMADURA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Conforme Helene (1997), a corrosão de armadura em concreto armado é consequência de variáveis químicas e físicas, através da ação deletéria de agentes agressivos como o dióxido de carbono e íons cloreto.

Esta manifestação patológica do concreto proporciona consequências negativas como a perda de seção da armadura e fissuração do concreto atuantes na direção paralela a esta (MOTA *et al.*, 2009). Visa-se o seu estudo devido a relevância para o setor da construção civil, uma vez que, conforme Andrade (1992b), o gasto de manutenção com estes elementos estruturais afetados por tal manifestação é em torno de 3,5% do Produto Nacional Bruto (PNB) dos países em desenvolvimento.

### 3.1 Corrosão por íons cloreto

A penetração de íons cloreto pode ocorrer mediante a estrutura porosa ou como

componente dos elementos constituintes do concreto, sendo no processo de dosagem recomendado a sua utilização até 0,4% do peso do cimento (SOUZA; RIPPER, 1998).

O processo de despassivação da armadura pode ocorrer mesmo com o pH elevado através do ataque destes íons, considerando-o agressivo (HELENE, 1993). A NBR 6118 (2014) recomenda o uso de cimento com adições de escória ou material pozolânico como forma de minimizar o ataque destes íons e a NBR 7211 (2009) prescreve uma massa de 0,1% de cloreto em agregados como valor limite em estruturas com concreto armado.

Conforme a literatura, há quatro mecanismos de penetração de íons cloreto, sendo estes: absorção, difusão iônica, permeabilidade e migração iônica.

### 3.2 Análise de íons cloreto em uma passarela de concreto armado na zona oeste do Recife

Visando a exemplificação prática no presente artigo, os autores realizaram a aspersão de nitrato de prata titulado com solução-padrão de cloreto de sódio, usando solução de cromato de potássio como indicador. Entende-se que este método foi meramente qualitativo, apenas objetivando a identificação de zona não afetada pelos íons cloreto.

Figura 5 - Representação interna do pilar de concreto armado da passarela da zona oeste do Recife após aspersão de solução de nitrato de prata visando identificação de ataque por íons cloreto.



Fonte: Os autores (2017).

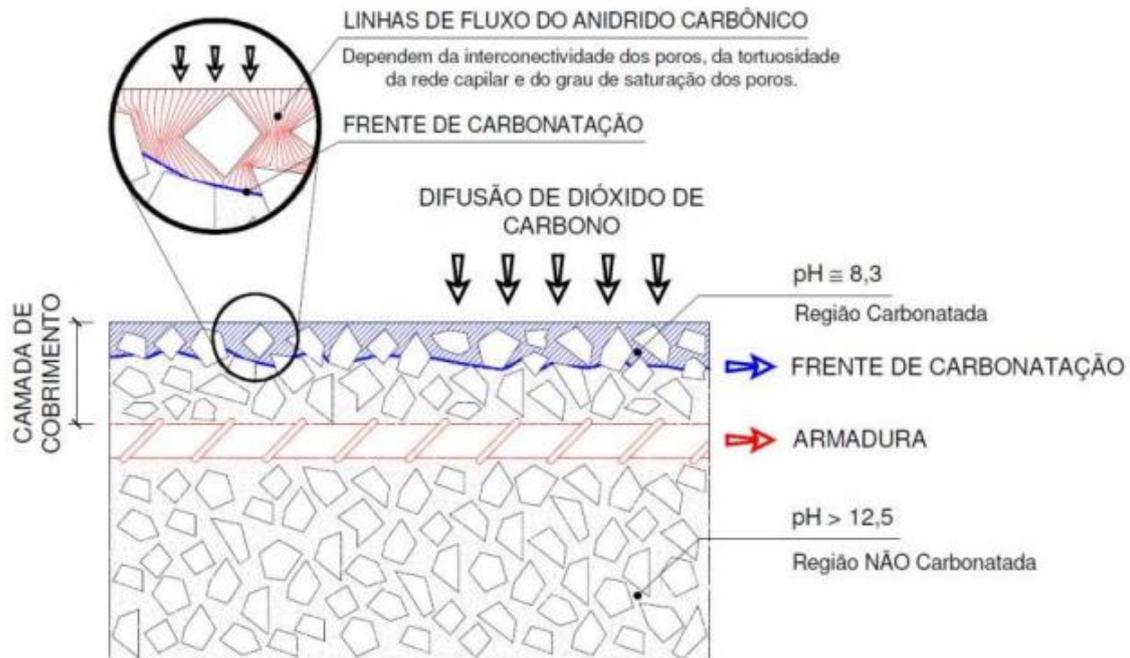
Verifica-se que embora a estrutura esteja exposta, não há ocorrência do ataque por íons cloreto (Figura 5), sendo provável a corrosão por carbonatação. Esta hipótese se baseia no fato da localização da passarela se situar longe de zona marítima de Pernambuco.

### 3.3 Carbonatação como fator para penetração de íons cloreto

Após a hidratação dos silicatos da pasta do cimento, ocorre a liberação de  $\text{Ca(OH)}_2$ , que confere ao concreto uma alta alcalinidade, isto é, um pH da mistura entre 12 e 13. Este meio alcalino promove a formação de um filme de óxido nas barras de aço que as protege contra a corrosão (HELENE; MIDITIERI FILHO; THOMAZ, 1995).

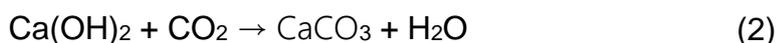
No entanto, em condições normais, o  $\text{CO}_2$  atmosférico penetra no concreto e reage com o  $\text{Ca(OH)}_2$  diminuindo o pH para valores abaixo de 10 (SALOMÃO; SILVA, 2008; PAPADAKIS; VAYENAS; FARDIS, 1991). Assim, as reações químicas da carbonatação são iniciadas a partir do momento em que os compostos hidratados do cimento, em especial o  $\text{Ca(OH)}_2$ , entram em contato com  $\text{CO}_2$  e água, basicamente as reações se iniciam na face externa (Equação 2) e a partir do transporte de dióxido de carbono para dentro da peça, por difusão, esse fenômeno vai migrando para o interior do concreto (HOPPE FILHO, 2008; CASCUDO, 1997; HELENE, 1993), conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Representação esquemática do mecanismo de carbonatação



Fonte: Hoppe Filho (2008).

Sob o ponto de vista das reações químicas que ocorrem no processo de carbonatação (ilustrado na Figura 6), a Equação 2 representa a equação geral da carbonatação (período de iniciação) e pode ser descrita por três etapas.



Na primeira etapa do processo de carbonatação (Equação 2.1), o gás carbônico atmosférico é dissolvido na água intersticial do concreto formando o ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Na segunda etapa (Equação 2.2) o ácido carbônico reage com o hidróxido de cálcio originando bicarbonato de cálcio e água. Na Equação 2.3, a terceira da carbonatação, o bicarbonato de cálcio e o hidróxido de cálcio dão origem, em uma reação de dupla troca, a carbonato de cálcio e água.

Assim, o avanço da frente de carbonatação está diretamente ligado à facilidade com que o  $\text{CO}_2$  encontra para difundir-se através do cobrimento do concreto ao longo do tempo. São preponderantes nesse processo fatores como: compacidade do concreto, conteúdos de hidróxido de cálcio e de óxido de cálcio disponível para reação, às condições ambientais e às condições de exposição (POSSAN, 2010).

Segundo Werle *et al.* (2011), os fatores que impactam na carbonatação são: concentração de  $\text{CO}_2$  no ambiente, do percentual de umidade do ar, da temperatura a que a estrutura está submetida e dos condicionantes intrínsecos do concreto, como o tipo de cimento, as adições, os agregados e a cura, que definem, segundo Castellote *et al.* (2009), a composição da mistura e sua estrutura de poros.

### 3.4 Ensaio de carbonatação em uma passarela de concreto armado na zona oeste do Recife

O ensaio de carbonatação visa observar a alcalinidade do meio através da aspersão de solução de fenolftaleína (1g da fenolftaleína em 50 ml de álcool etílico e diluição desta mistura em água destilada até completar 100 ml), onde foi observado a alteração de cor da estrutura analisada (Figura 7).

Figura 7 - Representação interna da viga e laje, respectivamente, de concreto armado da passarela da zona oeste do Recife após aspersão de fenolftaleína visando análise da alcalinidade do meio.



Fonte: Os autores (2017).

Observa-se a presença de alcalinidade nos locais aplicados (profundidade média de 2 cm), indicando que não há a forma avançada o processo de carbonatação especificamente nestes pontos (respectivamente viga e laje). Conforme Andrade

(1992a), o tom de cor rosa ao vermelho-carmim indica que a peça está não-carbonatada, diferentemente da situação que após aspersão a mesma se encontra incolor, ou seja, carbonatada, com indicação do PH entre 8,3 a 9,7, conforme a Figura 7. Em si, ressalta-se que ocorre o processo nas bases de alguns pilares devido a exposição da armadura pela ausência de cobrimento conforme exemplificação anterior (tópico 2.3 deste trabalho). Assim, conforme recomenda a norma DIN EN 14630 (2007), realizou-se a limpeza do local de aplicação anteriormente a aspersão. Com a aspersão da solução visando à confirmação desta manifestação, pode constatar a presença da carbonatação nos pilares da passarela, pois o pigmento da solução aplicada nas estruturas dos pilares ficou incolor.

#### 4 CONCLUSÕES

Entende-se a relevância dos levantamentos bibliográficos associado a exemplificação prática como fonte difusora de conhecimento. Além disto, devido ao custo aplicado ao setor da construção civil em recuperação de estruturas em concreto armado, conforme abordado em Andrade (1992a), entende-se a importância de discussão de formas de prevenção e tratamento de manifestações em estruturas de concreto armado, haja vista que atualmente é o principal sistema construtivo vigente no país.

Com relação a passarela analisada neste trabalho foi identificada uma deterioração avançada em regiões críticas da estrutura, através da exposição direta da armação por ausência do cobrimento do concreto. Portanto, fatores naturais e ausência de ações preventivas e corretivas são uma das principais causas para avanço das manifestações nas estruturas em concreto armado, a exemplo desta passarela em estudo que sofre o processo avançado de carbonatação e corrosão da armadura em inúmeros pontos de sua estrutura, necessitando de uma análise mais complexa para uma imperativa manutenção e recuperação da mesma.

#### REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: PINI, 1992a.
- ANDRADE, N. F. A. **Dimensionamento plástico para vigas e lajes de concreto armado**. 1992b. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica - Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR- 15575: edificações habitacionais - desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR- 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- \_\_\_\_\_. **NBR- 7211: agregado para concreto: especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
- CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto, inspeção e técnicas eletroquímicas** – Editora Pini, 1997.
- CASTELLOTE, M. *et al.* Chemical Changes and Phase Analysis of OPC Pastes Carbonated at Different CO<sub>2</sub> Concentrations. **Materials and Structures**, v. 42, n. 4, p. 515-525, 2009.

DIN EN 14630 - **Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete, Structures** - Test Methods - Determination of Carbonation Depth in Hardened Concrete by the Phenolphthalein Method. Deutsches Institut für Normung. Berlin, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HELENE, P. R. L. **Contribuições ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 231f. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – São Paulo.

HELENE, P. R. L.; MITIDIERI FILHO, C. V.; THOMAZ, E. Influência do tipo de cimento e da relação a / c na carbonatação do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 1995, São Paulo, **Anais...** São Paulo: Ibracon, 1995.

\_\_\_\_\_. Vida útil das Estruturas de Concreto. In: IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. **Anais...** Porto Alegre, RS, 1997.

HOPPE FILHO, J. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismos de hidratação, microestrutura e carbonatação do concreto**, 2008. (Tese de doutorado) – Escola politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **General principles on the design of structures for durability**. ISO 13823. 2008.

MARQUES, V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras : definição das variáveis que interferem no custo**. 2015. 104 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. Concreto: ciência e tecnologia. Ibracon: 2011.

MOTA, J.M.F; PONTES, R. B; CANDEIAS NETO, J. A; OLIVEIRA, M.F; ALMEIDA, H.T; CARNEIRO, A.M.P. Análise das Patologias em Estruturas de Concreto na Zona Litorânea da Cidade do Recife - PE. In: X CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGIA - CONPAT. 2009, Valparaíso, **Anais...** Valparaíso, 2009.

PAPADAKIS, V. G., VAYENAS, C. G., FARDIS, M. N. Fundamental Modeling Investigation of Concrete Carbonation. **ACI Materials Journal**/ July-August, 1991.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação**. 2006. 191. Monografia (Especialização em Avaliação e Perícia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambientes urbanos**. 2010. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Rio Grande do Sul – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre.

SALOMÃO, M. C. F.; SILVA, T. J. **Ensaio Acelerado de carbonatação do concreto**. In: XII Seminário de Iniciação Científica, Universidade Federal de Uberlândia, 2008. **Anais...** Uberlândia: 2008, p. 1-10.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Concreto: ciência e tecnologia**, IBRACON: 2011.

WERLE, A. P. *et al.* Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto. **Ambiente construído (Online)**, vol.11 n.2, 2011.