

Nome da Instituição: **Universidade Santa Úrsula**

Nome do trabalho: **CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Curso: **Engenharia Civil**

Nível: **Graduação**

Nome dos autores: **Andréa Sousa da Cunha Fernandes**

Orientador: **Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega**

Avaliadores: **Jonatas Motta Quirino**

Luciana Pinto Teixeira

CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

FERNANDES, Andréa Sousa da Cunha¹

NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da²

Resumo: Nos dias atuais há uma preocupação com a durabilidade das edificações em um conjunto de requisitos nas etapas de projeto, execução e manutenção, que são mantidas conforme conceitos apresentados na NBR 15.575-1 (2013), que define a vida útil (VU) como o período de tempo que uma estrutura que fora projetada e construída tenha seu desempenho efetivo, tendo acompanhamento e manutenção preventiva, de acordo com especificações de uso. Neste aspecto, o fator que tem sido tratado com frequência é a durabilidade das armaduras frente aos mecanismos de deterioração mais comuns como a corrosão de uma forma geral. A corrosão influi na vida útil das estruturas como o período de tempo, que uma estrutura projetada e construída tenha seu desempenho efetivo diminuído a ponto da estrutura falhar gerando prejuízos inestimáveis como a perda de vidas humanas. Este trabalho discute os principais tipos e mecanismos de corrosão, em aço carbono, bem como seus respectivos controles. Além do mais, no estudo foram apresentados alguns exemplos de corrosão em armadura de concreto em aço carbono e em aço inoxidável austenítico, identificando os problemas de integridade estrutural em diferentes estruturas de concreto armado. Sendo assim, conclui-se que o conhecimento das condições de exposição e a atuação dos agentes corrosivos podem facilitar a elaboração de medidas de proteção das estruturas contra a corrosão e, também, o planejamento das atividades de manutenção em estruturas.

Palavras-chave: corrosão; estruturas de concreto armado; vida útil.

¹ Graduanda em Engenharia Civil – Universidade Santa Úrsula – andreascunha@gmail.com

² Doutor em Engenharia Mecânica, PUC-Rio – Universidade Santa Úrsula e CEFET-RJ - coordenacao.engmecanica@usu.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a vida útil e a segurança de infraestrutura civil tornaram-se questões primordiais devido às catástrofes naturais e humanas. A durabilidade da infraestrutura civil envolve gastos significativos e, em uma época de recursos limitados, faz-se necessário estabelecer prioridades de manutenção, reabilitação e substituição. Assim, observa-se a importância do conceito de vida útil, que serve como base para uma abordagem integrada de projeto, com a finalidade de construir uma estrutura que tenha uma gestão de manutenção associada a vida útil da estrutura. Uma das principais causas de redução da vida útil de estruturas de concreto armado é a corrosão, uma vez que essa causa envolve a perda de material da superfície do aço como resultado de uma ação química, e a redução de área efetiva na seção transversal e, conseqüentemente, a diminuição da capacidade de suportar cargas.

A durabilidade dos edifícios em concreto armado só pode ser assegurada se atendido um conjunto de requisitos nas etapas de projeto, execução e manutenção.

2. OBJETIVO

O presente artigo tem como objetivo abordar o tema corrosão em estruturas de concreto armado, suas principais causas, vida útil de estrutura em concreto armado e uso de novos materiais em substituição ao aço-carbono, como por exemplo, o aço inoxidável autêntico.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a apresentação de um breve levantamento bibliográfico sobre os temas vida útil de estruturas em concreto armado e corrosão, e descrição dos principais tipos de mecanismos de corrosão seguido pela apresentação de casos práticos de corrosão em estruturas de concreto armado em aço carbono e aço inoxidável.

4. JUSTIFICATIVA

A partir da norma NBR 6118: 2014 (ABNT, 2014), a questão da durabilidade das estruturas passou a ser tratada de maneira sistêmica e deu ênfase a características do concreto que possam assegurar a durabilidade das armaduras frente aos mecanismos de deterioração mais comuns. Essa nova visão foi também incorporada na revisão da NBR 12655: 2015 – Concreto

de Cimento Portland: preparo, controle e recebimento (ABNT, 2015; CAVALCANTI & CAVALCANTI, 2010).

O conhecimento das condições de exposição e a atuação dos agentes corrosivos pode facilitar a elaboração de medidas de proteção das estruturas contra a corrosão e, também, o planejamento das atividades de manutenção. Um controle anticorrosivo adequado (considerando o grau de agressividade do meio em que a estrutura está submetida) garante um período maior para levar à despassivação das armaduras.

A deterioração do concreto armado pode ter início com fatores físicos, mecânicos ou químicos. As armaduras em aço-carbono sofrem rapidamente corrosão, o que necessita total atenção na avaliação e manutenção na construção civil. Faz-se necessário a busca por novos materiais, mais resistentes aos efeitos da corrosão, mesmo que o novo material tenha elevado custo inicial, sendo necessário estudo de avaliação do custo de sua manutenção.

5. DESENVOLVIMENTO

5.1. Tempo de Vida Útil

Para estruturas de concreto armado que necessitam vida útil elevada, a redução da durabilidade estrutural provoca o aumento do consumo de matérias-primas, produção de poluentes, gastos energéticos e custos adicionais com reparos, renovação e manutenção das construções. Aumentar a vida útil, de maneira geral, mostra-se uma boa solução em longo prazo para a preservação de recursos naturais, redução de impactos, economia de energia e prolongamento do potencial de extração das reservas naturais (MEDEIROS *et al*, 2011).

O conceito de durabilidade envolve é a capacidade que um sistema ou edificação tem de manter corretamente o desempenho de suas funções, ao passar do tempo, sendo esse iniciado com o uso e finalizado quando o desempenho deixa de atender aos requisitos do usuário, mesmo submetido às condições de uso e de manutenção, pré-definidos pela Norma brasileira NBR 15575-1: 2013 (ABNT, 2013).

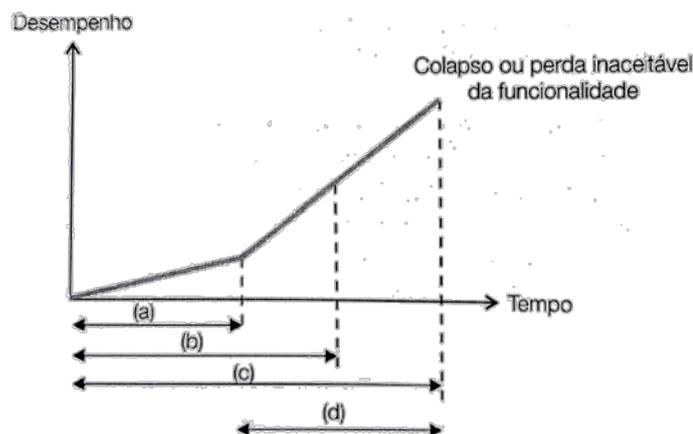
A NBR 15575-1: 2013 (ABNT, 2013) define a vida útil (VU) como o período de tempo que uma estrutura que fora projetada e construída tenha seu desempenho efetivo, tendo acompanhamento e manutenção preventiva, de acordo com especificações de uso. Vida útil de projeto (VUP) trata-se de uma estimativa justificada da vida útil, calculada de acordo com valores teóricos preestabelecidos de vida útil de projeto, e consta no projeto estrutural.

A idade teórica para a vida útil de projeto deve ser especificada para todos os sistemas que o compõe e os valores não podem ser inferiores aos apresentados na NBR 15575-1: 2013

(ABNT, 2013). Os projetos devem ser elaborados para que sua durabilidade seja compatível a VUP pré-estabelecida pela NBR 15575-1: 2013 (ABNT, 2013).

Segundo HELENE (1993 *apud* Ribeiro *et al.*, 2014), a partir de estudos anteriores, foi proposto uma classificação dos tipos de vida útil de uma estrutura de concreto armado apresentando corrosão nas armaduras, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Vida útil das estruturas de concreto armado por corrosão em armaduras



Fonte: RIBEIRO *et al.* (2014)

Onde:

(a) Vida útil de projeto: Período de tempo que vai até a despassivação da armadura, normalmente denominado de período de iniciação;

(b) Vida útil de serviço: Período de tempo que vai até o momento em que aparecem manchas na superfície do concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobrimento, ou ainda quando há o destacamento do concreto de cobrimento;

(c) Vida útil última ou total: Período de tempo que vai até a ruptura ou colapso parcial ou total da estrutura. Corresponde ao período de tempo no qual há uma redução significativa da seção resistente da armadura ou uma perda importante da aderência armadura / concreto, podendo acarretar o colapso parcial ou total da estrutura;

(d) Vida útil residual: Corresponde ao período de tempo em que a estrutura ainda será capaz de desempenhar suas funções, contado, nesse caso, a partir de uma data qualquer, correspondente a uma vistoria.

5.2. Corrosão

Segundo Gentil (2007) corrosão é definida como a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente juntamente ou não com esforços mecânicos

(tração, compressão, flexão e torção). Ela pode ser causada pela interação físico-química entre o material e o meio onde está sendo empregado, acarretando em desgastes ou modificações estruturais que irão resultar na diminuição da resistência mecânica, diminuindo com isso as cargas suportadas nesta estrutura.

A corrosão em material metálico pode ser classificada em 11 tipos: uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pites, intergranular, transgranular, filiforme, esfoliação, corrosão grafítica, dezincificação, empolamento pelo hidrogênio (GENTIL, 2007)

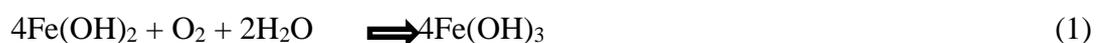
Para Ribeiro *et al.* (2014), as armaduras de concreto armado podem sofrer corrosão: uniforme, puntiforme ou por pite, intragranular, transgranular e fragilização por hidrogênio.

5.2.1. Corrosão em armadura de concreto armado

As armaduras no concreto sofrem corrosão em decorrência de: diminuição da alcalinidade do concreto ocasionando carbonatação do concreto; e presença de cloretos livres no concreto (CAVALCANTI & CAVALCANTI, 2010).

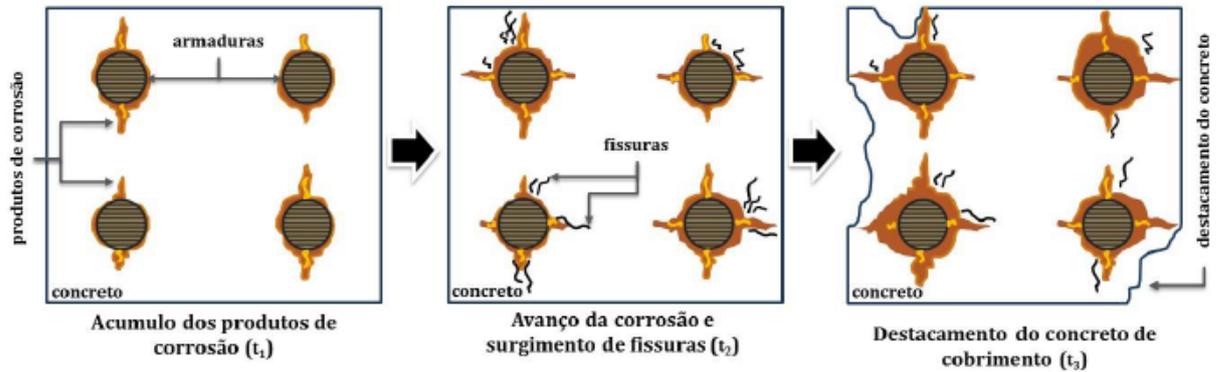
Para Medeiros *et al.*, (2011), agentes agressivos ao concreto como a chuva ácida ou as reações álcalis-sílica podem danificar o concreto de cobrimento, facilitando a entrada de íons. Podendo-se destacar a ação do gás carbônico (CO₂) que reage com o concreto, reduzindo o pH da camada protetora, o que facilita a ocorrência de processo corrosivo na armadura.

Segundo Felix *et al.* (2018), a reação de carbonatação ocorre na superfície do concreto e, com o tempo, progride para camadas mais internas até a armadura, chamada de fase de progressão da corrosão. Na fase de propagação, o hidróxido de ferro se transforma em hidróxido férrico (Equação 1) e posteriormente se transforma em óxido férrico hidratado (Equação 2).



O fenômeno de propagação da corrosão é determinado pela taxa de corrosão e a capacidade da cobertura do concreto em suportar tensões internas. O óxido férrico não hidratado possui volume 2 vezes maior que a seção do aço. Já, para o óxido férrico ao hidratar-se, ocorre expansão ainda maior, acarretando no aumento de volume da interface aço-concreto de 6 a 10 vezes. Essa expansão ocasiona fissuração do concreto de cobrimento, facilitando a ação de degradação por agentes externos, conforme ilustrado na Figura 2 (FELIX *et al.*, 2018).

Figura 2 – Danos causados no concreto na fase de progressão da corrosão



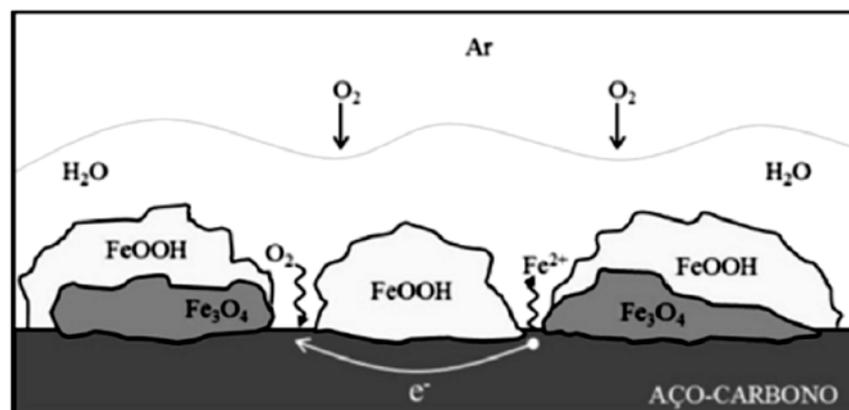
Fonte: FELIX *et al.* (2018)

5.2.2. Corrosão em aço carbono

O aço-carbono é uma liga metálica Fe-C, com composição entre 0,008% e 2,11% de carbono (Chiaverine, 1996). O uso do aço-carbono se dá pelo adequado desempenho em concreto armado, conferindo melhores propriedades. Quando seu recobrimento é realizado de forma adequada, fica protegido, física e eletroquimicamente, contra corrosão (ARAUJO, MOREIRA & PANOSSIAN, 2014).

Na Figura 3 é apresentado o processo de corrosão atmosférica.

Figura 3 – Representação esquemática do processo de corrosão atmosférica do aço-carbono

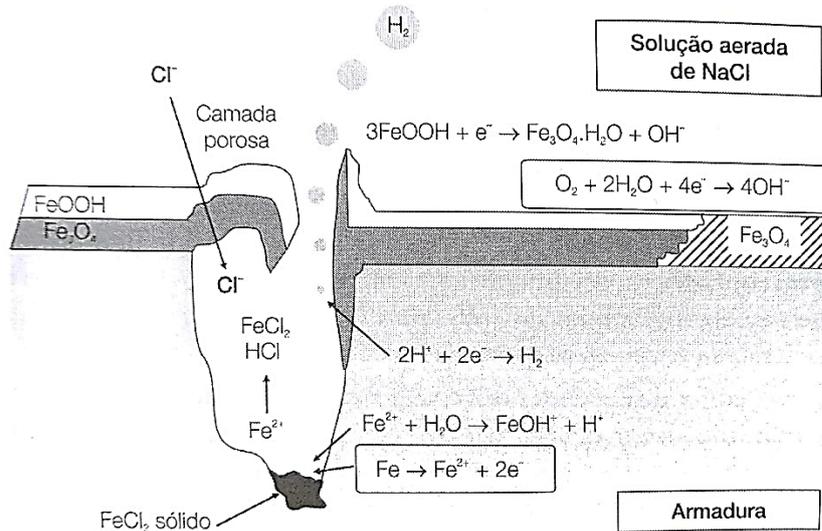


Fonte: GEMELLI (2001)

A corrosão ocasionada por sais à base de cloreto é uma das principais causas das corrosão em armaduras, uma vez que o íon cloreto age tanto na fase de iniciação como na fase de propagação do processo corrosivo. Esse ataque de forma pontual ao filme passivador é

denominado de corrosão por pite ou puntiforme, representado pela Figura 4 (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Figura 4 – Representação esquemática da corrosão por pite por íons cloretos



Fonte: RIBEIRO *et al.* (2014)

Segundo HELENE (1999 *apud* RIBEIRO *et al.*, 2014), mesmo após o rompimento da camada passivadora, os íons cloreto ainda atuam no processo sob a forma de catalisadores da corrosão. O processo é exemplificado nas Equações (3) e (4).



O óxido de ferro II em presença de oxigênio e meio aquoso reage formando o óxido de ferro III (Equação 1), popularmente chamado de ferrugem.

5.3. Substituição do Aço Carbono por Aço Inox na Construção Civil

Ainda de forma incipiente, são observados no Brasil, estudos sobre a utilização de aço inox em substituição ao aço carbono em estruturas de concreto armado. No exterior, esta substituição já está sendo utilizada há décadas como armadura de estruturas de concreto (ARAÚJO, MOREIRA & PANOSSIAN, 2014).

Ainda para Araujo, Moreira & Panossian (2014), a principal limitação do uso do aço inox é seu elevado custo inicial em uma obra, que corresponde em torno de 15% de aumento.

Quando se compara o tempo de vida útil do referido material, observa-se que o custo com manutenção de uma estrutura de concreto armado com aço inoxidável é menor.

Nos Estados Unidos, Canadá e Europa o aço inoxidável vem sendo usado em larga escala, principalmente em estruturas de concreto com restrição de manutenção, principalmente em estruturas expostas a ação do íon cloreto, como: pontes; estradas; túneis; píeres; muros de contenção; e portos (ARAÚJO, MOREIRA & PANOSSIAN, 2014).

Independente da porcentagem de cromo considerada por cada autor, o aço inoxidável possui variações de resistência a corrosão e mecânica que dependem do elemento adicionado, além da liga Fe-Cr. Essas variações podem ser divididas em grandes famílias básicas: ferrítico, martensítico, austenítico e dúplex. (CHIAVERINI, 1996).

A adição de no mínimo de 12% de cromo na composição do aço inoxidável, confere alta resistência à corrosão.

5.4. Estudo de Casos em Estruturas de Concreto Armado

Nesta seção são apresentados alguns exemplos de corrosão em armadura de concreto, ocasionando problemas de integridade estrutural em diferentes regiões do país.

5.4.1. Píer de atracação de Tambaú

O píer de atracação de Tambaú é uma estrutura construída a beira mar no ano 1994, com a finalidade de atracação das embarcações e passeio público, localizado na Praia de Tambaú, João Pessoa – PE (Figura 6). Este píer possui 3,0 metros de largura, que adentra o mar com extensão de 100 metros. Após 14 anos de sua construção, os 2 primeiros vãos ruíram-se. (CAVALCANTI & CAVALCANTI, 2010).

Ainda segundo Cavalcanti & Cavalcanti (2010) em inspeção técnica realizada no píer de Tambaú foi observado alto grau de degradação da estrutura armada, em que as barras de aço não mais apresentavam a seção de origem, e que se desmanchavam a um simples toque, além de se observar manchas no concreto características de corrosão por íons cloreto, conforme apresentado na Figura 7.

Segundo o laudo de inspeção, foi constatado que o cimento utilizado não era o recomendado para o ambiente com alta agressividade. Ao longo de toda a superestrutura observou-se muitos pontos de corrosão, o que inviabilizou sua recuperação e a recomendação da inspeção técnica foi a reconstrução da estrutura.

Figura 6 – Vista do píer de Tambaú



Fonte: CAVALCANTI & CAVALCANTI (2010).

Figura 7 – Perda de seção da armadura e manchas no concreto por corrosão de íons cloreto.



Fonte: CAVALCANTI & CAVALCANTI (2010).

5.4.2. Elevado do Joá

O elevado do Joá é uma importante via que liga a Zona Sul a Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro - RJ. O acesso ao bairro foi completamente transformado com a construção do Elevado das Bandeiras, mais conhecido como Elevado do Joá, iniciada em 1968, com a liberação parcial ao tráfego ocorrendo em meados de 1971. Esta estrutura é constituída por duas pistas

sobrepostas de 10 metros de largura cada, 256 vigas, com 64 vãos num comprimento total de 1.100 metros, que acompanham as curvas do mar, conforme ilustrado na Figura 8 (SANTOS, 2017).

Figura 8 - Elevado do Joá em pistas sobrepostas



Fonte: SANTOS (2017)

Na década de 80, a degradação gerada pela oxidação das armaduras e cordoalhas de protensão já estava muito avançada, foi então iniciado um período com diversas obras de recuperação da estrutura do elevado, sendo interditadas ambas as pistas do elevado para veículos pesados como ônibus e caminhões (Figuras 9 e 10). Por ser uma região muito propensa a corrosão por íons cloreto, constantemente são necessárias intervenções para recuperação estrutural.

Figura 9 – Elevado do Joá



Fonte: MELLO *et al.* (2013); SANTOS (2017).

Figura 10 – Elevado do Joá



Fonte: RAMALHO & CARPES (2013)

5.4.3. O Píer Progreso

O primeiro aço inox utilizado na armadura de estruturas de concreto foi o austenítico, como exemplo o Píer Progreso (Figura 10), uma construção na cidade portuária de Progreso, em Yucatán, no México, com comprimento de 6,5 km e foi a primeira estrutura de concreto no mundo construída com reforço de aço inoxidável austenítico, o que torna possível a estrutura resistir a ambientes marinhos e mesmo após 70 anos de sua construção não apresentava sinais de corrosão (ARAUJO, MOREIRA & PANOSSIAN, 2014; ARMINOX, 1999).

Figura 10 – Vista Píer Progreso



Fonte: ARMINOX (1999)

Mais recentemente o aço inox austenítico foi substituído pelo aço duplex, por possuir maior resistência à corrosão sobtensão, por pites e em frestas (ARAUJO, MOREIRA & PANOSSIAN, 2014).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na construção civil, o aço carbono é muito utilizados em armaduras de concreto, fundações, pontes, viadutos e estruturas metálicas. Segundo CIMM (2015) o mercado para o aço, tinha um total de 30% de vendas e um volume equivalente a 300 milhões de toneladas por ano em todos os países, sendo o Brasil o nono produtor de aço do mundo, com um volume estimado de 25 milhões de toneladas.

Segundo AÇOBRASIL (2018) o desempenho da indústria brasileira do aço em 2018 deve confirmar sua trajetória de recuperação, com crescimento nas vendas internas de 8,9% em relação a 2017, somando 18,8 milhões de toneladas, e de 8,2% no consumo aparente, que deve atingir 21,1 milhões de toneladas.

O aço carbono na construção civil é utilizado como aços estruturais, pois são adequados para suportar cargas. A Norma NBR 8800: 2008 (2008) que trata de projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios, é uma norma nacional que também classifica os diversos tipos de aço utilizados na construção civil.

O aço carbono apresenta alguns problemas quando em uso. Um destes problemas é a corrosão, que é uma alteração da diminuição de resistência mecânica do material devido às transformações nos componentes químicos, que compõem o aço carbono, quando em contato com um meio corrosivo, conforme exposto no item 2, deste artigo.

Devido aos problemas de corrosão, na área de construção civil, o aço carbono vem sendo substituído pelo aço inoxidável. Algumas iniciativas como a do Pier Progreso em Yucatán, no México, utilizaram aço inoxidável austenítico na armadura de estruturas de concreto (item 2.4.3).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo mostrou que a corrosão tem uma grande influência na vida útil das estruturas de aço, discuti os principais tipos e mecanismos de corrosão, em aço carbono, bem como seus respectivos controles. Neste trabalho também foram apresentados exemplos de corrosão em armadura de concreto em aço carbono, mostrando que o aço inoxidável austenítico, está substituindo o aço carbono para minimizar os efeitos corrosivos das estruturas. Conclui-se que o conhecimento dos mecanismos de corrosão, bem como, a substituição do aço carbono pelo aço inoxidável, minimiza, em muito, os efeitos da atuação dos agentes corrosivos, aumentando a vida útil das estruturas.

REFERÊNCIAS

- AÇOBRASIL, http://www.acobrasil.org.br/site2015/noticia_interna.asp?id=14343, Acesso em: 01 Dez. 2018.
- ARAÚJO, A.; MOREIRA, A.R.; PANOSSIAN, Z. *Extensão da Vida Útil das Estruturas de Concreto com uso de Armaduras de Aço-carbono Revestidas ou de Aço Inoxidável*. INTERCORR 2014, Fortaleza – CE, 2014.
- ARMINOX. Research and Development. 1999. Disponível em: http://www.arminox.com/Files/Filer/Arminox%20doks/Arminox_Progreso_Inspec_Report_web.pdf. Acesso em: 02/11/2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.
- . *NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro, 2008.
- . *NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.
- . *NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2013.
- CAVALCANTI, A. N.; CAVALCANTI, G. A. D. *Inspeção técnica do píer de atracação de Tambaú*. Revista Concreto, n. 57, pg. 45-57, 2010.
- CHIAVERINI, V. *Aços e Ferros Fundidos*. EDITORA ABM. 7ª EDIÇÃO. 1996.
- CIMM. *Crescimento e vantagens do uso do aço na Construção Civil*. Disponível em: http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6334#.VdTJSfIVikp. Acesso em: 01 Dez. 2018.
- FELIX, E.F.; BALABUCH, T.J.R.; POSTERLLI, M.C.; POSSAN, E.; CARRAZEDO, R. *Análise da vida útil de estruturas de concreto armado sob corrosão uniforme por meio de um modelo com RNA acoplado ao MEF*. Revista ALCONPAT, 2018.
- GEMELLI, E. *Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização*, 1ª ed., LTC: Rio de Janeiro, 2001.
- GENTIL, V. *Corrosão*. 5ª ed., LTC: Rio de Janeiro, 2007.
- MEDEIROS, M.H.F.; ANDRADE, J.J.O.; HELENE, P. *Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto*. Concreto: Ciência e Tecnologia. IBRACON, 2011.
- MELLO, U.A.; SCHNEIDER, J.; SOUZA, F.R.; GODINHO, L.L.; BARBEITO, T.T. *Recuperação Estrutural do Elevado do Joá*. X SEMINÁRIO DOCOMOMO BRASIL.

Curitiba. 15 - 18. out. 2013. Disponível em: http://docomomo.org.br/wp-content/uploads/2016/08/EST_01.pdf. Acesso em: 01/11/2018.

RAMALHO, D.; CARPES, G. UFRJ e prefeitura chegam a acordo sobre reforma de elevado. 2013. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/transito/ufrj-e-prefeitura-chegam-a-acordo-sobre-reforma-de-elevado,5678f4f0496ac310VgnVCM5000009ccceb0aRCRD.html>. Acesso em: 01/11/2018.

RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUSA, C.A.C.; ALMEIDA, F. C.R.; CUNHA, M.P.T.; LOURENÇO, M.Z.; HELENE, P. *Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SANTOS, G.E. *Um Estudo sobre as Condições de Contorno, Soluções Construtivas e Impactos Gerados pelas Obras de Construção do Antigo e do Novo Elevado do Joá - Rio de Janeiro/RJ*. Projeto de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dezembro de 2017. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024007.pdf>. Acesso em: 02/11/2018.