CORROSÃO POR CORRENTES DE INTERFERÊNCIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA REVISÃO

T. BARRETTO
Estudante de Pós-graduação (Doutorado)
Universidade Federal da Bahia
Salvador/Bahia; Brasil
tatibarretto@hotmail.com

I. PARENTE
Estudante de Pós-graduação (Mestrado)
Universidade Federal da Bahia
Salvador/Bahia; Brasil
igor_parente@hotmail.com

F. COSTA
Estudante de Pós-graduação (Doutorado)
Universidade Federal da Bahia/DCTM
Salvador/Bahia; Brasil
fernandacosta@ufrb.edu.br

RESUMO

Em relação aos fenômenos de degradação das estruturas de concreto armado, a corrosão das armaduras, devido à despassivação do aço, é a principal causa da redução da vida útil dessas estruturas. A degradação é causada pela interação entre o material e o ambiente agressivo, afetando tanto a resistência quanto à durabilidade. Assim, a fim de que aconteça o processo corrosivo, é preciso existir três fatores, são eles: eletrólito, diferença de potencial (ddp) e a presença de oxigênio no ambiente. No entanto, existe um caso particular de corrosão que é por correntes de interferência, sendo resultante de fluxos de corrente contínua (dc) ou corrente alternada (ac) de elevada potência provenientes de instalações vizinhas e que circulam pelo solo e/ou por estruturas de concreto armado. Este trabalho tem por intuito refletir, por meio de uma revisão de literatura, sobre a corrosão por correntes de interferência, suas causas, mecanismos e alternativas para mitigação da degradação em estruturas de concreto armado.
Palavras-chave: Corrosão. Concreto armado. Correntes de interferência. Vida útil. Durabilidade.

ABSTRACT

In relation to the degradation phenomena of the reinforced concrete structures, the corrosion of the reinforcement, due to the destabilization of the steel, is the main cause of the reduction of the useful life of these structures. Degradation is caused by the interaction between the material and the aggressive environment, affecting both strength and durability. Thus, in order for the corrosive process to occur, there must be three factors: electrolyte, potential difference (ddp) and the presence of oxygen in the environment. However, there is a particular case of corrosion that is caused by Faraday currents, resulting from direct current (dc) or alternating current (ac) flows from neighboring installations and circulating in the ground and/or by reinforced concrete structures. This paper aims to reflect, through a literature review, on the corrosion by currents of interference its causes, mechanisms and alternatives for mitigation of degradation in reinforced concrete structures.
Keywords: Corrosion. Reinforced concrete. Faraday currents. Useful life. Durability.

1. INTRODUÇÃO

O processo de corrosão das armaduras, que pode ser entendido como o inverso da metalurgia extrativa, é um fenômeno de deterioração e/ou perda de propriedades de um material devido à ação química ou eletroquímica do ambiente, aliado ou não a esforços mecânicos, em que os compostos metálicos tendem a retornar ao estado de menor energia na forma de óxidos e hidróxidos (RIBEIRO et al., 2014). Por isso, que a maioria dos metais existe no meio ambiente no estado combinado, por exemplo, como óxidos, sulfuretos, carbonatos ou silicatos, sendo as menores energias do materiais metálicos, além de haver uma tendência espontânea dos metais para reagirem quimicamente e formarem outros compostos (RIBEIRO, 2010). Com isso, a corrosão das armaduras tornou-se uma das principais causas de perda de estabilidade das estruturas em concreto armado e frequentemente tem sido necessária a recuperação dessas estruturas em ambientes agressivos como, por exemplo, a atmosfera marinha.

Uma reação é considerada eletroquímica se ela estiver associada à passagem de corrente elétrica através de uma distância finita, maior do que a distância interatômica. Esta passagem de corrente envolve o movimento de partículas carregadas: íons e/ou elétrons. Dessa maneira, na maioria das reações que se manifestam na presença de uma superfície metálica, ocorre a passagem de corrente através do metal, e a reação é eletroquímica em sua natureza (PANNONI, 2007). A distância que a corrente elétrica percorre numa reação de corrosão eletroquímica pode variar bastante, desde uma dimensão da ordem de um tamanho de grão (micrômetros), como no caso da dissolução de um metal em uma solução ácida, até quilômetros de distância, como no caso da corrosão por correntes de fuga de tubulações enterradas nas vizinhanças de uma estrada de ferro eletrificada (WOLYNEC, 2003; BONATO, 2003; PANNONI, 2007).

Além disso, o termo corrosão eletrolítica pode ser empregado para designar o processo de destruição total, parcial, superficial ou estrutural dos materiais por um ataque eletrolítico que, nesse caso, ocorre com a aplicação de corrente elétrica externa, isto é, trata-se de um corrosão não-espontânea, forçada ou imposta, sendo uma característica que difere dos demais processos de degradação, ainda que seja considerada um tipo de corrosão eletroquímica (MAINIER E LETA, 2001). A partir disso, surge a corrosão eletrolítica que pode ser provocada por correntes de interferência e ocorre normalmente em tubulações de petróleo e de água potável, em trilhos de metrôs, em gasodutos, em adutoras de água potável, em estruturas de concreto armado, em cabos telefônicos enterrados, em tanques de postos de gasolina, entre outros. Esse tipo de corrosão é caracterizado pela deterioração da superfície externa de um metal forçado a funcionar como ânodo ativo de uma célula ou pilha eletrolítica (DORTZBACHER e REIS, 2014).

Quando não há isolamento ou aterramento, ou estes estão com alguma deficiência, em desconformidade com as especificações técnicas, formam-se correntes de interferência, e quando elas escapam para o solo são formados pequenos furos nas instalações que possam levar ao surgimento de pites ou pontos isolados de corrosão, sendo esse um dos maiores problemas na construção civil (MAINIER e LETA, 2001; FORGAÇA, 2017). Assim, é importante apresentar, também, que as principais correntes causadoras dos maiores danos nas estruturas mais comuns em que elas aparecem são as de correntes contínuas ou alternadas de baixa frequência (RIBEIRO et al., 2014).

De acordo com Gentil (2007), a corrosão por correntes de interferência por ser um tipo de corrosão eletrolítica causada por potenciais externos, que abandonam seu circuito de origem e fluem pelo solo ou pela água, podendo ser definidas como correntes que não formem parte da célula eletroquímica. Para surgir este tipo de corrosão é necessário existir uma troca de correntes entre uma estrutura metálica e um meio eletrolítico. Existem outras fontes que permitem o surgimento desse fenômeno, são elas: o sistema de proteção/prevenção catódica por corrente impressa em concretos de baixa resistividade elétrica e sistemas com potencial elétrico (CARVALHO, 2012).

A partir do que foi apresentado, percebe-se, então, que se a armadura estiver com a película passivadora, o concreto com o potencial hidrogeniônico (pH) elevado (em torno de 12,5) e ambos protegidos dos agentes agressivos, ou seja, nas condições básicas de durabilidade de uma estrutura com esses materiais, dificilmente irá sofrer com a corrosão por correntes de interferência. Desta forma, um estudo sobre esses agentes causadores de degradação do concreto armado será de grande importância para o meio técnico-acadêmico, possibilitando um maior aprofundamento dos conceitos e técnicas relacionados ao assunto proposto.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nessa pesquisa foi uma revisão de literatura a respeito da corrosão por correntes de interferência, suas causas, seus mecanismos e as alternativas para mitigação da degradação em estruturas de concreto armado, englobando leitura em livros, dissertações, teses, normas regulamentadoras e artigos científicos, no âmbito nacional e internacional.

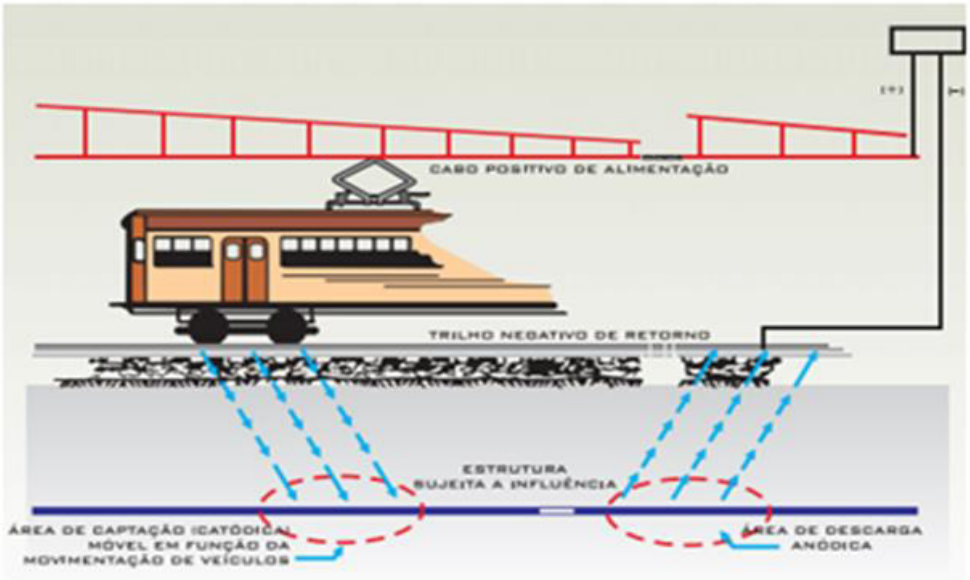
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Conceito, terminologia e mecanismos

A corrosão por correntes de interferência é a resultante de fluxos de corrente contínua (dc) de elevada potência provenientes de instalações vizinhas e que circulam pelo solo e/ou por estruturas de concreto armado (RIBEIRO et al., 2014; GUMMOW, 1998; SCHULTZ, 2003).

Segundo Rodrigues (2000), as correntes de interferência podem ser encontradas na literatura com outras nomenclatura, tais como: Faraday currents, stray currents, “correntes vagabundas”, correntes de fuga, correntes parasitas, correntes estranhas, correntes espúrias, correntes externas, entre outras. Trata-se de correntes elétricas que se propagam em um eletrólito, que em geral são o solo ou o concreto armado, ocorrendo em metrôs e túneis. As “correntes vagabundas” podem surgir de fontes como: fuga de sistemas de tração eletrificadas em corrente contínua, sistema de proteção catódica de estruturas metálicas enterradas e máquinas de solda, além de outras fontes que utilizem esse tipo de corrente e tenham o solo como retorno (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 1 – Interferência ocasionada por um sistema eletrificado em corrente contínua sobre uma estrutura enterrada



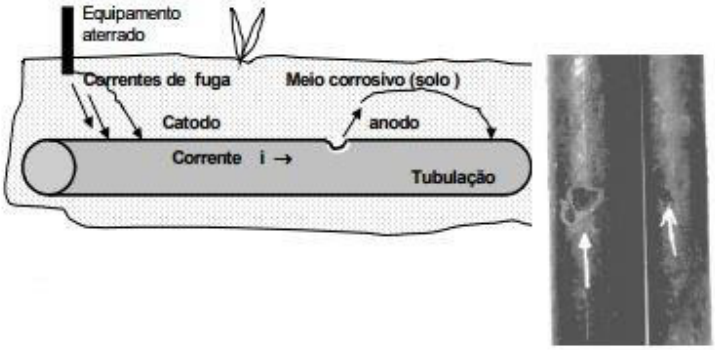
Fonte: RODRIGUES, 2000.

As correntes de interferências possibilitam o surgimento da corrosão à medida que são conduzidas ou induzidas pelas armaduras, fechando o circuito com um bom aterramento no solo das mesmas. A região de entrada da corrente é considerada o cátodo e estará protegido, já o local onde a corrente sai das armaduras (região anódica) ocorrerá a corrosão (SANTOS, 2015; RODRIGUES, 2000). Pode-se afirmar também, de acordo com as normas EN50122-1 (1998) e EN5122-2 (1999), que esse tipo de corrente de fuga circula por outros meios que não sejam os meios intencionais.

Sabendo-se que as correntes de interferência são aquelas correntes elétricas que percorrem circuitos distintos ao que deveria seguir, e que saem do seu percurso inicial para caminhos mais “fáceis”, pode-se então descrever o mecanismo do processo corrosivo ocasionado por esse tipo de corrente da seguinte

maneira: devido a insuficiência de isolamento, a corrente "escapa" pelo concreto ou armaduras, chegando ao solo (RIBEIRO et al., 2014). Assim, a corrente sempre tende a escolher o caminho de menor resistividade elétrica, havendo a possibilidade de sair de uma barra para a outra, tanto por condução eletrônica quanto por condução iônica (BOLOTINHA, 2017). Na região de saída de corrente para o solo ou de uma barra para a outra, ficará mais eletricamente positiva e funcionará como ânodo, será o local onde ocorrerá a corrosão, que podendo ser de alta velocidade (CASIMIRO, 2010). Geralmente, acontecem perfurações isoladas nas instalações, onde a corrente escapa para o solo, conforme o mecanismo apresentado na Figura 2 (MAINIER e LETA, 2001).

Figura 2 – Corrosão eletrolítica



Fonte: adaptado de MAINIER e LETA, 2001.

Durante a corrosão eletrolítica, existem dois processos que ocorrem de maneira simultânea, são eles: a semi-reação no ânodo (oxidação) e no cátodo (redução), de acordo com Kiebling, Puschmann e Schmieder (2001). Essas reação pode ser visualizadas nas equações 1 (ânodo), 2 (cátodo, para pH > 7) e 3 (cátodo, para pH < 7). Isso ocorre quando a corrente de interferência entra em contato com o material metálico (pelo cátodo) e sai deste (pelo ânodo), um fluxo de elétrons é criado no sentido contrário ao da corrente, fazendo com que esses elétrons escapem do metal na região anódica (oxidando-o) e sendo recombinados na região catódica (PIRES, 2006). Assim, nos locais em que a corrente de íons dá lugar a uma corrente de elétrons (em que a corrente abandona as estruturas metálicas) são verificados os fenômenos de corrosão (BOLOTINHA, 2017).

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-} \quad (1)$$

$$1/2O_2 + H_2O + 2e^{-} \rightarrow 2OH^{-} \quad (2)$$

$$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2 \quad (3)$$

Ainda dentro desse contexto, Pires (2006) afirma que, para pH > 7, a reação total desse tipo corrosão é apresentada na equação 4.

$$Fe + 1/2O_2 + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 \quad (4)$$

Em algumas análises experimentais, pode-se calcular a massa do metal corroído (m_c) pela primeira lei de Faraday da eletroquímica (equação 5), em que: K_7 (Kg/A/s) é uma constante que depende material corroído; $I_{ft}(t)$ é a corrente de fuga em função do tempo observada em um mesmo ponto da via; e integração da corrente de fuga no tempo ($I_{ft} \cdot \Delta_t$) representa a carga elétrica total (em Coulombs) que passa pelo ponto da via durante o intervalo de tempo Δ_t (PIRES, 2006).

$$m_c = K_7 \cdot I_{ft}(t) \cdot \Delta_t \quad (5)$$

Segundo Ribeiro et al. (2014), em geral, a corrosão por “correntes vagabundas” é pouco frequente quando a fonte de tensão de origem é alternada. Ambos tipos de tensão podem provocar essa forma de corrosão, sendo que, a passagem de um ampere de corrente contínua provocará efeitos mais significativos do que na corrente alternada (BOLOTINHA, 2017). Um exemplo considerado importante sobre a corrosão por “correntes vagabundas”, causadas por uma fonte alternada, é quando a estrutura está protegida catodicamente e instaladas próximas a essa fonte (RODRIGUES, 2000; RIBEIRO et al., 2014).

É possível, também, monitorar as correntes de interferência, através do mapeamento com a semi-pilha, fazendo o desligamento periódico da fonte de alimentação. Caso ocorra grandes mudanças nos potenciais encontrados, é um sinal de que há corrente. Segundo Rodrigues (2000), a norma britânica BS7361-1 (1991) diz que variações superiores a 20mV já são consideradas como significativas. Assim, alguns desses processos corrosivos são apresentados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Corrosão em tubulação de sistema de abastecimento de água feita com material metálico



Fonte: ALEGRE e COVAS, 2010.

Figura 4 - Furo em tubo de aço



Fonte: ALEGRE e COVAS, 2010.

Segundo Castro (2013), as tubulações enterradas estão sujeitas a correntes elétricas contínuas de interferência que deixam seu percurso normal fluirem através do solo e atingirem a tubulação e as abandonam (neste ponto ocasionando a corrosão eletrolítica). As correntes de fuga que produzem maiores danos são as de corrente contínua ou as de corrente alternada de baixa frequência. As principais fontes são sistemas de tração elétrica (como trens, bondes e metrôs), instalações de solda elétrica, de eletrodeposição e sistemas de proteção/prevenção catódica. E quando uma estrutura enterrada composta de ferro sofre corrosão por correntes parasitas pode perder cerca de 9kg de sua massa por ano (KOULOMBI et al., 2002).

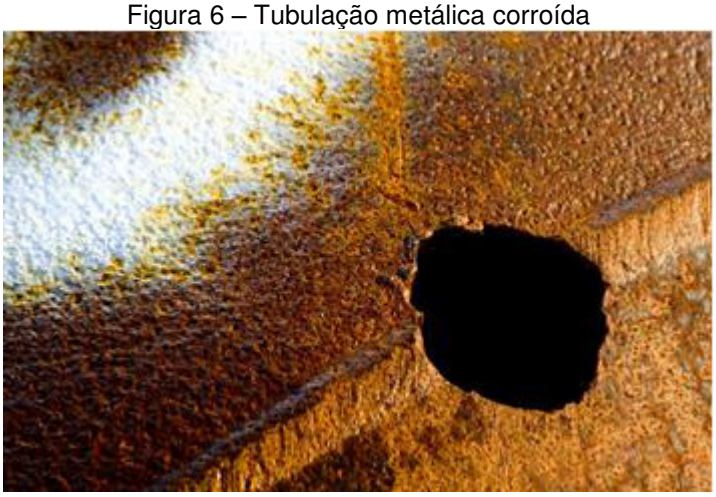
Outras manifestações corrosivas devido a esse tipo de patologia podem ser vistas nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Furo em tubo de aço causados por corrosão por correntes de interferência



Fonte: RAMANATHAN, 2001.

Figura 6 – Tubulação metálica corroída



Fonte: FOGAÇA, 2017

3.2 Formas de mitigação

É importante ressaltar que a corrosão eletrolítica por ser um processo eletroquímico ocorre em estruturas ocasionadas por correntes elétricas da interferência que saem do circuito habitual para um preferencial de menor resistência, pelo solo ou pelos metais, ocasionando intensa corrosão localizada. Logo, para que se evite este processo corrosivo, uma das principais formas de se mitigar esta patologia, é corrigindo o problema que ocorre na fonte, o motivo para a fuga da corrente, o isolamento deficiente. Já que, as correntes são originadas por causa da deficiência de isolamento de uma ou mais partes do circuito que apresenta um potencial distinto ao do meio, que em geral apresenta uma resistência menor e tornam-se um novo circuito.

Outros fatores determinantes, para que se elevem as taxas de corrosão oriundas das correntes de interferência e que precisam ser solucionados, são: a intensidade e densidade da corrente; a distância entre as estruturas interferente e interferida; e a localização da fonte de corrente interferente, existência ou não de revestimento e qualidade deste, localização de juntas isolantes, resistividade elétrica do meio.

Sendo assim, uma das formas de provocar o retorno da corrente é a utilização de carris. Caso os carris apresentem resistividade elétrica mais elevada que a das estruturas adjacentes, ele forma um novo circuito preferencial, o que ocasiona a corrosão nestes elementos, e muito menos nas estruturas. Esta forma de mitigação, visa diminuir o efeito corrosivo através da não formação das correntes de interferência. Com diminuição das resistências associadas ao normal retorno da corrente e elevação das resistências associadas a retornos alternativos, que são produtoras desse tipo de corrente (BOLOTINHA, 2017).

Logo, percebe-se que para evitar o surgimento de correntes de fuga, deve-se reduzir a resistência relacionada ao retorno da corrente, ampliar a resistência entre o circuito de retorno e a terra, ampliar a resistência das estruturas metálicas enterradas, ampliar a resistência entre a terra e estruturas metálicas enterradas (que podem ser tubulações metálicas ou armaduras no concreto).

Segundo Bolotinha (2017), dentre as medidas preventivas estão isolamento elétrico dos carris com a terra, a redução da resistência entre carris e da tendência de retorno da corrente pelas armaduras da estrutura de concreto armado. Outras medidas para evitar a fuga das correntes e minimizar a corrosão são a utilização de proteção catódica por corrente impressa, ficando atento a aplicação da tensão, e a galvanização dos metais.

4. CONCLUSÕES

A partir das informações abordadas nesta pesquisa, pode-se concluir que:

- Entender as causas de degradação do concreto armado contribui para a criação de estruturas mais duráveis, evitando as frequentes intervenções corretivas ao longo de sua vida útil, ganhando em qualidade, economia e atendendo as necessidades do setor da construção civil;

- É importante reduzir a velocidade ou diminuir a potencialidade do processo corrosivo em estruturas de concreto armado, a fim de aumentar a sua durabilidade e a sua vida útil de projeto;

- De acordo com a regra de Sitter, é mais caro executar intervenções corretivas do que intervenções preventivas. Por isso é necessária a ciência dos vários fatores envolvidos na durabilidade das estruturas de concreto e quanto antes são realizadas ações de combate a esses agentes mais econômica irá ficar a construção;

- Alguns cuidados devem ser tomados com as estruturas que possam vir a ter corrosão sob tensão, isto é, não se deve utilizar concreto protendido em obras susceptíveis à corrosão por correntes de fuga.

5. AGRADECIMENTOS

A equipe de pesquisadores agradece à Universidade Federal da Bahia.

6. REFERÊNCIAS

ALEGRE, Helena; COVAS, Dídia. Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água. **Uma abordagem centrada na reabilitação. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal**, 2010.

BOLOTINHA, Manuel Maria Polainas. **Subestações Eléctricas de Tracção para Redes de Metro Ligeiro**. 2017. Tese de Doutorado.

BONATO, MARCELLE MAIA. Resistência à Corrosão do Aço ABNT 316L Injetado Sinterizado. **Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná–Unidade Curitiba**, 2003.

PROTECTION, Cathodic. BS 7361-1. Part 1, Code of Practice for Land and Marine Applications. **British Standard. Englewood, Colorado**, 1991.

CARVALHO, Márcia Filomena Santos. **Reabilitação sustentável de estruturas em betão armado**. 2012. Tese de Doutorado.

CASIMIRO, Paulo Jorge Nico. **Materiais de contacto com água para consumo humano, mecanismos de degradação e contaminação**. 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2010.

CASTRO, Dênis de Freitas et al. Estudo da corrosão do aço 1020 no solo natural argiloso da região Amazônica. 2013.

DORTZBACHER. G.; REIS, R. Corrosão eletrolítica. Outubro/2014. Disponível em: https://prezi.com/fogmfc18kowq/corrosao-eletrolitica/. Acesso em Novembro/2017.

EUROPEAN STANDARD. **Railway Applications: Fixed Installations Part 1: Protective provisions relating to electrial safety and earthing – EN50122-1**. Brussels, 1998.

EUROPEAN STANDARD. **Railway Applications: Fixed Installations Part 2: Protective provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems – EN50122-2**. Brussels, 1999.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Tipos de Corrosão"; Brasil Escola. Disponível em <http://brasilescola.uol.com.br/quimica/tipos-corrosao.htm>. Acesso em 28 de dezembro de 2017.

GENTIL, V. **Corrosão**; 5ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007. 353p.

GUMMOW, Robert A.; WAKELIN, Robert G.; SEGALL, Sorin Marius. **AC corrosion--A new challenge to pipeline integrity**. NACE International, Houston, TX (United States), 1998.

KOULOMBI, N. et al. Study of the effect of AC-interference on the cathodic protection of a gas pipeline, Anticorrosion Methods and Materials, 49, nº5 (2002) 335-345.

KIEBLING, F.; PUSCHMANN, R.; SCHMIEDER, A. **Contact lines for electric railways: planning, design, implementation**. 1.ed. Munich: Publicis Kommunikations Agentur, 2001. 822p.

MAINIER, Fernando B.; LETA, Fabiana R. O ensino de corrosão e de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente. In: **Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**. 2001.

NUNES, Valentim MB. Electroquímica e Corrosão. 2003.

PANNONI, Fábio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. Gerdau Açominas, 4ª ed., 2007.

PIRES, Cassiano Lobo. **Simulação do sistema de tração elétrica metro-ferroviária**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RAMANATHAN, L.V. Corrosão e o seu controle. Ed. Hemus, 2001.

RIBEIRO, D.V. **Influência da Adição da Lama Vermelha nas propriedades e na corrosibilidade do concreto armado**. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2010. 260 p.

RIBEIRO, D.V; ALMEIDA, F. C.R.A.; CUNHA, M.P.T.; HELENE, P.R.L.; LOURENÇO, M.Z.; SALES; A.; DE SOUSA, C.A.C. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado:** Teoria, Controle e Métodos de Análise. 1. ed. Rio de Janeiro, Elsevier Brasil, 2014. v. 1. 244p.

RODRIGUES, Joaquim. Corrosão no concreto armado; A proteção Catódica no Concreto Armado. **Revista Recuperar** nº 37, p. 4-11, Rio de Janeiro, Ed. Thomastec, 2000.

SANTOS, Aleíson Vilas-Bôas dos. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido à carbonatação.** Revista online IPOG – Especialize. 2015.

SCHULTZ, Denise Rebechi; PONTE, MJJS; PONTE, Haroldo Araújo. **Recuperação de metais pesados (Pb, Cu e Ni) de efluentes industriais utilizando reator eletroquímico de leito particulado**. 2003. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

WOLYNEC, Stephan. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão Vol. 49**. Edusp, 2003.