

# CORROSÃO EM ARMADURAS DE CONCRETO

Arthur Pimentel Falcão Soares<sup>1</sup>

Livia Tenório Vasconcelos<sup>2</sup>

Felipe Bomfim Cavalcante do Nascimento<sup>3</sup>

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777  
ISSN ELETRÔNICO 2357-9919

## RESUMO

O presente artigo faz uma revisão bibliográfica sobre os processos corrosivos em armaduras, mais especificamente nas estruturas de concreto armado. Tem como objetivo a explanação do problema que vem atingindo tais estruturas, mostrando os processos químicos envolvidos e as possíveis soluções para reparo da problemática. Inicialmente tem-se a definição de concreto, com o histórico de como foi sua descoberta, a evolução nas propriedades do material e o acréscimo da armadura. Posteriormente, têm-se as explicações a respeito dos processos corrosivos em si, com uma visão química do problema, elucidando-se principalmente o tipo mais usual neste caso: a corrosão eletroquímica. Mostra-se, também, como o meio ambiente pode influenciar neste processo, acelerando-o se o mesmo for agressivo. Por fim, há uma exposição sobre os métodos de proteção e recuperação das armaduras, a fim de evitar maiores problemas em longo prazo. Conclui-se com a ênfase na importância de se estudar métodos de proteção mais eficazes, assim como da conscientização por parte dos projetistas para o tratamento adequado da durabilidade da estrutura ainda em fase projetual.

## PALAVRAS-CHAVE

Concreto. Armadura. Corrosão. Engenharia. Estrutura.

## ABSTRACT

This article is a literature review on the corrosive processes in reinforcements, specifically in reinforced concrete structures. It aims explanation of the problem has reached such structures, showing the chemical processes involved and possible solutions to fix the problems. Initially there is the concrete definition, with history as it was their discovery, evolution in material properties and the addition of reinforcement. Later, they are explanations about the corrosive processes themselves, with a chemistry view of the problem, elucidating mainly the most common type in this case: the electrochemical corrosion. It is also shown how the environment can influence this process, accelerating it if it is aggressive. Finally, there is an exhibition about the methods of protection and recovery of reinforcements in order to avoid greater long-term problems. It concludes with an emphasis on the importance of studying more effective protection methods as well as the awareness by designers for proper treatment of the durability of the structure still in the design phase.

## KEYWORDS

Concrete. Reinforcement. Corrosion. Engineering. Structure.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao fazer uma análise da sociedade, descobriu-se que o concreto armado é um material que vem sendo utilizado desde o século XIX e, que por determinado tempo, foi considerado como um material eterno. Essa tese só foi deixada para trás após as estruturas feitas com concreto armado apresentarem falhas, causando transtorno social e econômico, devido aos altos custos de manutenção. Hoje, sabe-se que a corrosão, um dos principais problemas, tem seu foco diretamente ligado à sua armadura, e não ao concreto propriamente dito.

No ramo da construção civil, a questão de buscar soluções para resolver os problemas advindos da corrosão tem sido e ainda é debatido constantemente. Porém, ainda se tem altos custos de manutenção para estruturas, principalmente causadas pelo envelhecimento das mesmas que foram construídas por volta da década de 1960 e 1970. O comércio mundial de reparo e proteção de estruturas de concreto armado vem crescendo, exigindo, segundo Daniel Verás Ribeiro (2014), a criação de novas soluções, para minimização dos problemas e diminuição nos custos de reparo.

## 2 CORROSÃO EM ARMADURAS DE CONCRETO

### 2.1 CONCRETO ARMADO: FUNCIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO

Desde tempos imemoráveis, o concreto tem sido utilizado como elemento de construção: uma substância simples composta de água, areia, brita e cimento que se tornou o bloco construtor da civilização, um material amplamente utilizado na construção civil. Com o advento do mundo moderno, o desenvolvimento deste material vem permitindo novos avanços na área, com edificações cada vez mais arrojadas e duráveis.

Sua procedência remonta o tempo pré-histórico, quando o homem abandonou a caverna e foi em busca de novas formas de abrigo. Sendo assim, passou a utilizar estruturas de pedras e, para preencher seus espaços, usava lama e argila, conseguindo assim proteção do vento e do frio. Surgiu nesta época a ideia de usar agregados com substâncias mais resistentes de forma a conseguir maior dureza à mistura. Alguns pesquisadores acreditam que a mistura cimentícia já teria sido notada pelo homem pré-histórico, quando o mesmo percebeu que as pedras próximas às fogueiras soltavam um pó que endurecia com a ação do sereno (SOUSA, 2014).

No antigo Egito, os egípcios utilizavam um tipo de cimento feito com calcário e gipsita para obter blocos pequenos e usá-los nos monumentos (uma das mais antigas evidências de uso do cimento aparece nas pirâmides do Antigo Egito). Posteriormente, os gregos aperfeiçoaram o método egípcio, aplicando o emprego de terras vulcânicas que também endureciam quando misturadas à água. Aproveitando as técnicas utilizadas pelos gregos, os romanos, com pretexto de construir os monumentos hoje mundialmente conhecidos como Coliseu e o Panteão, conseguiram desenvolver o chamado 'concreto romano', uma mistura de areia, cinzas vulcânicas (pozzolana), calcário calcinado e pedaços de telha.

Essa mistura com a pozzolana foi o ingrediente chave, altamente inovador, do concreto romano, pois eles conseguiram o feito de encontrar um material que, misturado com outros componentes, se mantinha duro até sob a água. Entretanto, a fórmula do cimento romano era um segredo tão importante que acabou sumindo com a própria desarticulação do império. Segundo documentário do History Channel (MEMÓRIAS..., 2015), na idade média, os arquitetos passaram a utilizar pedras no lugar do concreto, principalmente na construção de castelos; sendo somente no século XVIII que esse importante material voltou ao cenário construtivo, ganhando novas características.

Em 1758, o químico John Smeaton foi escalado para reconstruir o farol de Eddystone, na Inglaterra, que havia passado por grande deterioração devido às ações corrosivas da água do mar e necessitava de uma urgente restauração. Nisso, ele fabricou um cimento excelente composto por minérios de calcário e argila, no qual

ele experimentou cozer, chegando a uma argamassa que deu liga as pedras e funcionou sob a água. Este novo material foi chamado de “calcário hidráulico” e foi o responsável pela estrutura do farol ter se mantido estável por mais de um século.

Somente em 1824, o inglês John Aspdin, resolveu queimar a mistura de calcário e argila, processo semelhante ao de Smeaton, até obter pedaços grandes que foram moídos e reduzidos a pó. Esse pó misturado com água e areia formava uma forte argamassa que se endurecia na água, dando origem ao famoso ‘Cimento Portland’. Ao longo do tempo, novas misturas e o aprimoramento dos fornos determinaram obtenção de novos tipos de cimento. Na década de 1950, o cimento Portland já era utilizado praticamente em toda Europa, e foi a partir desse momento que os engenheiros passaram a inovar e trabalhar novos materiais juntamente a ele, como vidros, aço, borracha e cerâmica; e foi na Europa que ocorreu uma definitiva mudança no conceito da construção civil: o concreto armado (MEMÓRIAS..., 2015).

A descoberta do concreto armado aconteceu de uma maneira bastante peculiar. Em 1949, um agricultor francês, que morava em uma fazenda no interior de seu país, resolveu um dia criar um barco, utilizando cimento e ferro para testar em um de seus tanques, registrando sua patente em 1955. Sua criação não teve grande sucesso, porém chamou atenção de outro francês, Joseph Monier.

Monier trabalhava na construção de vasos artesanais, usando madeira e cerâmica, porém esses materiais não eram resistentes, apodrecendo ou quebrando com frequência. Então, ao saber da descoberta do agricultor, ele passou a utilizar o concreto armado em seus vasos, e em outras estruturas artesanais, e viu que estava obtendo o resultado desejado. Patenteou, então, várias destas estruturas. Entre suas criações, Monier construiu a primeira ponte de concreto armado em 1875, no castelo Chazelet, que existe até hoje. Em 1886, o engenheiro alemão Gustav Adolf Wayss (1851-1917) comprou as patentes de Monier para desenvolvê-las, e durante 20 anos sua empresa de construção trabalhou para tentar eliminar as dúvidas que ainda existiam sobre o concreto armado.

Hoje é um material amplamente utilizado por apresentar duas características básicas de um bom material: resistência e durabilidade. Combina as qualidades da pedra (brita) – resistência à compressão e durabilidade –, com as do aço – resistência mecânica –, com as vantagens de poder assumir qualquer forma, com facilidade e rapidez. É ainda é o melhor, mais durável e sustentável material estrutural da atualidade, segundo a Declaração Ambiental de Produto (EPD), (introduzida na ISSO 14025:2010). Apresenta, porém, algumas desvantagens se sua fabricação e sua montagem não forem bem realizadas; e com a ação do tempo sobre a mesma. Um destes problemas é a corrosão das armaduras de seu interior.

## 2.2 PROCESSOS CORROSIVOS NAS ARMADURAS

Entre os diversos tipos de reações químicas, tem-se o processo de oxirredução que consiste em uma troca recíproca de elétrons, com formação de cátodos e ânodos. Este processo pode ser dividido em dois tipos: corrosão e combustão. Por combustão, entendem-se as reações exotérmicas entre uma substância combustível e um gás comburente, onde há liberação de luz e calor.

Já por corrosão, problema aplicado às armaduras em estudo, pode-se definir como sendo um processo resultante da interação de um material com o meio ambiente, acarretando reações de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas, levando a destruição do material em questão. Nas armaduras em concreto, este problema se manifesta em manchas superficiais, fissuras, destacamento do revestimento de concreto da ferragem e perda de massa das armaduras, resultando em redução na seção de seus componentes.

As armaduras inseridas nas estruturas de concreto estão inicialmente protegidas pelo revestimento regulamentado em projeto, que forma uma barreira física aos fatores externos. A perda desta proteção pode desencadear e acelerar um processo corrosivo. A corrosão ocorre quando o concreto é permeável o suficiente para permitir que íons penetrem até a armadura (estes íons, juntamente com água e oxigênio, dão início ao processo de corrosão).

Os metais possuem uma proteção (passivação) feita por uma fina camada protetora na superfície do mesmo devido a presença da base  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – de  $\text{pH} = 13$ . Se o  $\text{pH}$  da camada passivadora cair para abaixo de 11, há formação de compostos ferrosos expansivos, resultando em um aumento no volume do aço original, o que causa fissuração e lascamento no concreto, desencadeando o problema. A passivação da estrutura deve estar garantida pela vida útil do concreto. O revestimento de cada estrutura deve ser pensado, buscando atingir esta lei, e sempre levando em consideração o ambiente e as condições de exposição às quais o concreto armado está submetido.

Da mesma forma, é essencial que o concreto seja durável o suficiente, sendo capaz de suportar as condições para quais foi projetado durante a vida da estrutura. A falta de durabilidade pode ser causada por agentes externos advindos do meio ou por agentes internos ao concreto. Deve ser observada, também, a permeabilidade do concreto, definida como sendo a facilidade com a qual, líquidos ou gases, podem se movimentar por meio do material.

Desde a década de 1980, a comunidade técnica internacional vem estudando o problema da corrosão no concreto armado, procurando melhores especificações para projeto e técnicas de reparo. O problema, no entanto, encontra-se na conscientização. Por ser um problema que geralmente demora a se tornar visível (10 a 15

anos), há uma dificuldade por parte dos profissionais de engenharia e arquitetura, em adotarem medidas que possam reduzir a ocorrência do problema.

Soluções simples poderiam diminuir a frequência, como o aumento da resistência do concreto, redução da relação água/cimento, projeto de rufos, pingadeiras e detalhes que impeçam a infiltração de água, aumento da espessura de cobrimento (e devida fiscalização em obra para garantir correta execução), e impermeabilização de superfícies com contato direto com o meio ambiente.

Outra forma de minimizar é com o estudo e devida aplicação dos diversos tipos de cimento no concreto. No cimento Portland comum, a ocorrência de corrosão de armadura por cloreto é bem pequena. O mesmo observa-se no uso de cimento com escória (ou cimento Portland pozolânico), pois o mesmo restringe a mobilidade dos íons cloretos na pasta de cimento hidratado. Já o uso de cimentos resistentes a sulfatos (que tem baixo teor de  $C_3A$ ) pode aumentar o risco de corrosão por cloretos pois o Aluminato de Cálcio reage com os cloretos e forma o Cloroaluminato de Cálcio (NEVILLE, 2013).

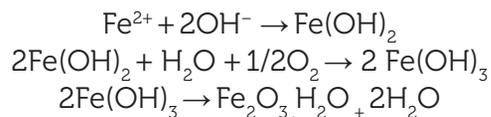
Destaca-se, ainda, a importância de estudos da corrosão em armaduras para o teste de novos materiais de construção, como, por exemplo, o uso de lama vermelha na composição de concretos industriais. Desta forma, podem-se encontrar soluções alternativas construtivas sustentáveis e socialmente responsáveis. Corrosão em armadura é a terceira patologia de maior incidência nas estruturas de concreto, atrás de fissuras e deformações excessivas. Com tanta incidência, este problema tem acarretado acidentes fatais em todo o mundo, além de grande prejuízo com recuperação.

O processo químico de corrosão é espontâneo, pela necessidade do material em atingir o seu estado mais estável (de menor energia). Entre os tipos de corrosão, tem-se a corrosão eletroquímica, que é o tipo mais comum, pois é a que ocorre com os metais, geralmente na presença de água.

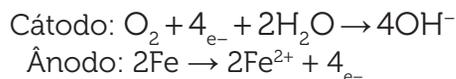
Os metais são encontrados na natureza na forma de compostos e, quando processados, passam a adquirir um estado metálico menos estável. Ao entrarem em contato com o meio ambiente, transformam-se em compostos novamente, apresentando um menor estado de energia. A corrosão ocorre quando o metal está em contato com um eletrólito (solução condutora iônica que envolve áreas anódicas e catódicas ao mesmo tempo), formando uma pilha de corrosão.

O processo de formação da ferrugem é um exemplo de corrosão eletroquímica. O ferro, principal componente das armaduras no concreto armado, se oxida facilmente quando exposto ao ar úmido (oxigênio ( $O_2$ ) e água ( $H_2O$ )). Essa oxidação resulta no cátion  $Fe^{2+}$ , com perda de dois elétrons (Ânodo:  $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ ), formando um dos pólos da pilha. O processo, então, continua com reduções passíveis de acontecer, sendo a mais comum a da água (Cátodo:  $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ).

Enquanto os cátions  $\text{Fe}^{2+}$  migram para o pólo negativo (cátodo), os ânions  $\text{OH}^-$  migram para o pólo positivo (ânodo) e ocorre a formação do hidróxido ferroso ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ). Na presença de oxigênio, esse composto é oxidado a Hidróxido de ferro III ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), que depois perde água e se transforma no Óxido de ferro (III) monohidratado ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), um composto que possui coloração castanho-avermelhada (ferrugem) (RIBEIRO, 2014).



Outra forma de acontecer um processo corrosivo eletroquímico é quando dois metais são ligados por um eletrólito, formando uma pilha galvânica. A ferrugem também pode ser resultante deste processo. Por exemplo, quando se tem a pilha entre o cobre e o ferro. Se uma placa de cobre e uma de ferro, ambas mergulhadas num eletrólito neutro aerado são postas em contato, forma-se um circuito elétrico, onde cada placa se tornará um eletrodo. O ferro será o ânodo, oxidando-se e perdendo elétrons que migram para o cátodo (placa de cobre), que por sua vez, é reduzido.



Com este processo concluído, os íons  $\text{OH}^-$  e  $\text{Fe}^{2+}$  combinam-se para formar  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  (ferrugem). Neste tipo de corrosão, é necessário que os materiais do ânodo e cátodo apresentem diferentes potenciais de oxidação (tensão gerada por cada em relação a um eletrodo neutro de referência).

### 2.3 AÇÃO DO MEIO AMBIENTE COMO ACELERADOR DO PROCESSO

Como a vida útil do concreto armado está diretamente ligada à sua capacidade de resistir ao ambiente em que está inserido, é muito importante o estudo das diversas condições que podem diminuir sua durabilidade. Estas condições, se agrupadas, podem ser classificadas em quatro tipos, do ambiente não agressivo ao altamente ameaçador.

Quando o concreto está em um ambiente seco, o risco de corrosão das armaduras é mínimo ou inexistente, pois se faz necessária a presença de água para o encadeamento do processo. O mesmo ocorre em ambientes de total e permanente saturação do concreto, já que não há presença de oxigênio, também essencial ao processo. Neste contexto estão incluídas estruturas submersas e ambientes fechados em ambientes rurais, com baixo teor de poluentes.

Se submetidas a condições de umidade intermediária, as corrosões, devido à degradação direta do concreto podem ocorrer, resultante do aumento de tempera-

tura, incrementando a umidade no próprio concreto. Nestes casos, a agressividade é moderada, sendo comum em atmosferas urbanas. Em grandes centros urbanos este problema pode ainda ser agravado pela alta concentração de impurezas em forma de óxidos de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), fuligem ácida e outros agentes agressivos.

Por fim, as ações mais agressivas ocorrem em ambientes onde o concreto sofre ciclos de molhagem e secagem, pois há ingresso tanto de água e sais, como de substâncias em estado gasoso. Este cenário pode ser observado em zonas marinhas, sobre o mar ou perto da costa. Nestas áreas, observa-se uma maior concentração de cloretos e sulfatos que contribuem para a aceleração do processo de corrosão das armações. Outro ambiente que se enquadra nesta classificação são as zonas industriais, contaminadas por gases e cinzas que podem acelerar bastante o sistema corrosivo.

## 2.4 MÉTODOS DE PROTEÇÃO

A corrosão de metais causa grandes prejuízos em estruturas, tanto do ponto de vista social quanto econômico. Além dos custos diretos, existem os indiretos que são mais complexos de avaliar e não constam nas estatísticas, sendo na maioria das vezes impossíveis de serem contabilizados com precisão, e em alguns casos irremediáveis. Em 2004, somente a Alemanha gastou aproximadamente 90 bilhões de euros com manutenção e reparo de estruturas de concreto armado. Além disso, a parcela dos gastos realizados com reparos e manutenção frente ao total gasto pela indústria da construção civil é, em muitos países, superior a 15%, podendo chegar a superar o montante gasto com construções novas, como é o caso da Itália, onde a parcela dos gastos com manutenção e reparo chega a 57% (VEDA & TAKEWAKA, 2007).

Alguns metais como, cobre, prata e alumínio, ao se oxidarem, formam naturalmente uma camada protetora que serve como uma espécie de película, impedindo a corrosão do restante do material, diferentemente do ferro, que tradicionalmente é o material mais utilizado nas armaduras de concreto. O ferro, no entanto, enferruja, formando  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , que não é uma película de proteção. Pelo contrário, a ferrugem da superfície do metal vai se soltando e expondo continuamente o ferro metálico à condição ambiente. Desse modo, a corrosão prossegue até a total deterioração da peça. Assim, os cientistas, principalmente os químicos, desenvolveram métodos de proteção para o ferro e o aço, visto que o mesmo não tem um processo de proteção natural.

### 2.4.1 Aplicações

Em muitos casos, utiliza-se um método de revestimento que acaba impedindo o contato do oxigênio do ar com o ferro por muitos anos, aplicando-se uma tinta protetora, como o zarcão ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) ou outras tintas mais eficientes à base de polímeros. Pode-se, também, revestir de estanho, como é o caso da folha de Flandres usada em enlatados. Ela pode ser recoberta por uma camada extra de polímeros na

parte interna, pois o ácido cítrico presente nos alimentos guardados pode reagir com o estanho e com o ferro, contaminando a comida.

Outra técnica bastante aplicada é a galvanoplastia, também conhecida como “metais de sacrifício”, onde se utiliza um metal para ser oxidado no lugar do ferro. Nele, aplica-se um revestimento metálico, colocando-o como cátodo (pólo negativo) em um circuito de eletrólise. Esse metal perde elétrons para o ferro, mantendo-o protegido.

Além desses métodos citados, também existem as chamadas ligas metálicas especiais, como o aço inoxidável (feito de 74% de aço, 18% de cromo e 8% de níquel) que possui como propriedade principal o fato de não enferrujar. Os metais cromo e níquel formam óxidos insolúveis que protegem o aço do oxigênio e da umidade do ar. Essa liga é usada na produção de utensílios domésticos, como panelas e talheres, bem como em equipamentos para indústria, construção civil, peças de carro, entre outros. Porém, além de caro, a sua aplicação, também, é limitada.

#### 2.4.2 Tipos de Proteção

Uma das grandes vantagens do concreto armado é que ele pode, por natureza e desde que bem executado, proteger a armadura da corrosão. Essa proteção baseia-se no impedimento da formação de células eletroquímicas, por meio de proteção física e proteção química.

Um bom cobrimento das armaduras, com um concreto de alta compactidade, sem “ninhos”, com teor de argamassa adequado e homogêneo, garante, por impermeabilidade, a proteção do aço ao ataque de agentes agressivos externos. Esses agentes podem estar contidos na atmosfera, em águas residuais, águas do mar, águas industriais, dejetos orgânicos etc. Não deve, tampouco, conter agentes ou elementos agressivos internos, eventualmente utilizados no seu preparo por absoluto desconhecimento dos responsáveis, sob pena de perder, ou nem mesmo alcançar, essa capacidade física de proteção contra a ação do meio ambiente (E-CIVIL, 2015).

Em ambientes altamente alcalinos, é formada uma capa ou película protetora de caráter passivo. A alcalinidade do concreto deriva das reações de hidratação dos silicatos de cálcio ( $C_3S$  e  $C_2S$ ) que liberam certa porcentagem de  $Ca(OH)_2$ , podendo atingir cerca de 25% ( $\sim 100 \text{ kg/m}^3$  de concreto) da massa total de compostos hidratados presentes na pasta. Essa base forte ( $Ca(OH)_2$ ) dissolve-se em água e preenche os poros e capilares do concreto, conferindo-lhe um caráter alcalino. O hidróxido de cálcio tem um pH da ordem de 12,6 (à temperatura ambiente) que proporciona uma passivação do aço (E-CIVIL, 2015).

O potencial de corrosão do ferro no concreto pode variar de + 0,1 a -0,4 V, segundo a permeabilidade e as características do concreto, para temperaturas de 25°C.

A função do cobrimento de concreto é, portanto, proteger essa capa ou película protetora da armadura contra danos mecânicos e, ao mesmo tempo, manter sua estabilidade. Pode-se dizer que a película passivante é de ferrato de cálcio, resultante da combinação da ferrugem superficial ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Portanto, a proteção do aço no concreto pode ser assegurada por elevação do seu potencial de corrosão em qualquer meio de  $\text{pH} > 2$ , de modo a estar na região de passivação (inibidores anódicos); abaixamento de seu potencial de corrosão, com o fim de passar ao domínio da imunidade (proteção catódica); e mantendo-se o meio com  $\text{pH}$  acima de 10,5 e abaixo de 13, que é o meio natural proporcionado pelo concreto, desde que este seja homogêneo e compacto (E-CIVIL, 2015).

## 2.5 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO

A corrosão não acontece no concreto, ela ocorre nas barras de aço que estão inseridas dentro do mesmo. Então, para prevenir que essa corrosão ou oxidação aconteça, tem-se que proteger a armadura inserida no concreto. Sendo assim, a melhor proteção que pode existir é a do próprio concreto, ou seja, quanto mais qualidade tiver o concreto que envolve a armadura, melhor será a proteção das barras. Segundo Grochoski (2008), para que se possa ter um concreto de melhor qualidade, pode-se aumentar a espessura de cobrimento do mesmo, ou também reduzir a chamada relação água-cimento, que é a proporção entre água e cimento presentes no concreto, resultando em uma maior resistência e durabilidade.

No caso de correção de uma patologia, o processo corretivo irá depender inicialmente do nível de oxidação em que a estrutura se encontra. Essa corrosão não ocorre em toda barra. Existem zonas de maiores e menores intensidades, as chamadas regiões catódicas e anódicas (com ganho ou perda de elétrons – no ânodo ocorre a reação de oxidação e no cátodo a reação de redução).

Para fazer uma recuperação estrutural, é usual começar-se pelo diagnóstico das possíveis causas. Sinais mais comuns são: fissuras e trincas, corrosão da armadura, manchas na superfície, desagregações, deformação excessiva, e deficiências na concretagem. Em muitas situações, o concreto se degrada naturalmente ao longo do tempo ou devido a ações externas e falhas de execução. Como elemento estrutural de suma importância para a segurança, o concreto deve ser devidamente recuperado.

Se a perda de seção da barra for de até 10%, inicialmente deve-se efetuar uma limpeza correta em toda base, criando uma superfície aderente e marcando as áreas não deterioradas ou não aderidas. Em seguida, retira-se todo o concreto, para que se possa fazer a limpeza da barra e revesti-la com tintas anticorrosivas, e por fim preencher novamente a seção com um novo concreto. Entretanto, se

a perda for maior que 10%, corta-se a parte da barra danificada, repõem-se com uma nova e amarra-a a um trecho íntegro da barra antiga.

### 3 CONCLUSÃO

Dado o exposto sobre a problemática atual dos processos corrosivos nas armaduras do concreto armado, percebe-se que ainda há muito a ser estudado para a criação de novos métodos de proteção, mais eficazes e com baixo custo. Verifica-se a necessidade de investimentos nesta área, a fim de que a ocorrência destas reações de oxirredução seja cada vez menor, acarretando em ganho econômico para o país e para a sociedade, com obras mais seguras e duráveis. Necessita-se, também, de conscientização por parte dos projetistas estruturais e engenheiros executores para o tratamento adequado da durabilidade da estrutura em fase projetual e na execução, com respeito fiel às normas existentes.

### REFERÊNCIAS

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de aula da disciplina de Estruturas de concreto I na Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <[http://site.ufvjrm.edu.br/icet/files/2013/04/FUNDAMENTOS\\_Concreto.pdf](http://site.ufvjrm.edu.br/icet/files/2013/04/FUNDAMENTOS_Concreto.pdf)>. Acesso em: 30 ago. 2015.

E-CIVIL. **Corrosão de armaduras**. Disponível em: <[http://www.ecivilnet.com/artigos/corrosao\\_de\\_armaduras.htm](http://www.ecivilnet.com/artigos/corrosao_de_armaduras.htm)>. Acesso em: 30 ago. 2015.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Proteção contra a corrosão do ferro**. Disponível em: <<http://www.brasilescola.com/quimica/protecao-contracorrosao-ferro.htm>>. Acesso em: 31 ago. 2015.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Proteção dos metais contra corrosão**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/quimica/protecao-dos-metais-contracorrosao.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Tipos de corrosão**. Disponível em: <<http://www.brasilescola.com/quimica/tipos-corrosao.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2015.

GROCHOSKI, Maurício & Helene, Paulo. **Sistemas de reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras**. São Paulo: EPUSP, 2008. 21p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/3/3a/Heloisa\\_Campos\\_Material\\_Complementar-2.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/3/3a/Heloisa_Campos_Material_Complementar-2.pdf)> Acesso em: 25 ago. 2015.

MARAVILHAS Modernas: Concreto. **Documentário History Channel**. 1 de julho de 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=SDVd9qdDo2w>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

MSPC INFORMAÇÕES TÉCNICAS. **Alguns fundamentos da corrosão.** Disponível em: <[http://www.mspc.eng.br/tecdiv/corr\\_110.shtml](http://www.mspc.eng.br/tecdiv/corr_110.shtml)>. Acesso em: 26 ago. 2015.

NEVILLE, A. M., BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto.** 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. p.268-275.

RIBEIRO, Daniel Verás. **Corrosão em Estruturas de concreto armado:** teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SOUSA, Rainer. **História do cimento.** Disponível em: <<http://www.historiadomundo.com.br/curiosidades/historia-do-cimento.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

UEDA, T.; TAKEWAKA, K. **Performance-based Standard Specifications for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan.** V.4. Structural Engineering International, 2007. p.359-366.

---

**Data do recebimento:** 11 de junho de 2015

**Data de avaliação:** 16 de julho de 2015

**Data de aceite:** 04 de agosto de 2015

---

1. Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: arthur\_pimentel97@outlook.com

2. Acadêmica do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: liu.arquiteta@gmail.com

3. Docente do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: bomfimfelipe@hotmail.com