

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Corrosão nas armaduras de concreto armado

Felipe Elder Cruz Lopes¹, Juscelino Chaves Sales²

Abstract

Corrosion processes in “steel reinforced concrete” have been studied by researchers and civil engineers since the 1950s. As a result several, techniques to corrosion detection and treatment were developed. The present work makes a bibliographical revision regarding the corrosion of armors of armed concrete. In a first moment the electrochemistry in analyzed involved in the corrosion process, the mechanisms, the origin of the causes of this phenomenon. They are described the processes that involve the corrosion of the structure of armed concrete, their particularities, their main causes, the intervening factors that accelerate the process, the means of avoiding, this occurrence, as well as the protection methods and recovery indeed efficient. T is finally the conclusions are presented regarding the subject, still detaching the importance of treating of the durability of the structure in the project phase, where the improvements are much less onerous for the customer and also the importance of understanding the electro-chemist character of the corrosion and as such to treat that.

Resumo

Os processos de corrosão em estruturas de concreto armado tem se tomado objeto de estudos de pesquisadores e engenheiros na área da construção civil, desde a década de 1950. As pesquisas deram origem a técnicas de determinação e combate a corrosão. O presente trabalho faz uma revisão bibliográfica a respeito da corrosão de armaduras de concreto armado. Num primeiro momento é analisada a eletroquímica envolvida no processo de corrosão, os mecanismos, a origem das causas deste fenômeno. São descritos os processos que envolvem a corrosão da estrutura de concreto armado, suas particularidades, suas principais causas, os fatores intervenientes que aceleram o processo, os meios de se evitar sua ocorrência, bem como os métodos de proteção e recuperação efetivamente eficientes. E finalmente são apresentadas as conclusões a respeito do assunto, destacando-se a importância de se tratar da durabilidade das estruturas ainda na fase de projeto, onde as melhorias são muito menos onerosas para o cliente e também a importância de entender o caráter eletroquímico da corrosão e como tal tratá-la.

Palavras-chave: corrosão de armadura, corrosão, patologias.

¹ Engenheiro Civil – Universidade Estadual Vale do Acaraú

² Mestre, Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Vale do Acaraú

Introdução

Desde o início da utilização do concreto armado, as obras vêm resistindo as mais diversas sobrecargas e ações ambientais. O concreto chegou a ser considerado durante muito tempo como um material praticamente eterno. Entretanto as manifestações patológicas começaram a surgir de significativa intensidade e incidência, sempre acompanhado de elevados custos de recuperação. As patologias sempre comprometem o aspecto estético, e na maioria das vezes, comprometem também a capacidade resistente, podendo levar até o colapso parcial ou total da estrutura. É comum, principalmente em ambientes agressivos, a corrosão da armadura no concreto armado.

Esta incidência de patologias pode ser atribuída a dois fatores: primeiro o aumento da esbelteza das estruturas, reduzindo as dimensões das peças estruturais e cobrimento das armaduras e incrementando as tensões de trabalho, favorecendo a fissuração e reduzindo a proteção das armaduras.

A resistência da estrutura de concreto a ação do meio ambiente ao uso dependera, portanto, da resistência do concreto e da resistência da armadura. Qualquer dos dois que se deteriore comprometerá a estrutura como um todo. Do exposto, acima se percebe que há nítida relação entre os aspectos: agressividade ambiental, durabilidade e qualidade da estrutura.

A patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas, e origens dos defeitos de construção civil. As patologias das estruturas de concreto, responsáveis por sua deterioração, resultam de uma somatória de fatores. Dentre esses fatores, citam-se: erros de projeto e execução, inadequação dos materiais, má utilização da obra, agressividade do meio ambiente, falta de manutenção e ineficiência ou ausência de controle da construção civil (KIRCHHEIM,2004).

A adoção de determinados critérios de projeto, tais como espessura mínima de cobrimento, limites para abertura das fissuras, etc., podem minimizar a incidência de patologias na estrutura.

Conhecer e combater as condições necessárias a ocorrência desse fenômeno constituem-se tarefas essenciais, quando se busca a durabilidade das estruturas de concreto armado, evitando-se custos com reparos, geralmente bastante altos.

Os objetivos do presente trabalho foram realizar uma abordagem sintética do fenômeno da corrosão metálica, para o melhor entendimento do fenômeno da corrosão das armaduras de concreto, fazer uma revisão bibliográfica sobre a corrosão das armaduras de concreto armado, mecanismos, causas, os fatores intervenientes e acelerantes do processo e apresentar os métodos de proteção e recuperação existente.

Revisão bibliográfica

A utilização do aço na construção civil não era motivo de grandes preocupações até meados da década de 1940, conhecendo-se que o processo de corrosão é considerado um fenômeno que ocorre com mais frequência nas construções recentes. Este fato vem levando pesquisado-

res da área de corrosão e engenheiros a se dedicarem ao estudo dos fatores desencadeadores do problema. Como resultado destas pesquisas, chegou-se à conclusão que a evolução do cálculo estrutural nos projetos de construção tem levado as estruturas a apresentarem um perfil cada vez mais delgado, o que implica num menor cobrimento de concreto sobre a armadura metálica. Outro fator preponderante para o aumento dos processos de corrosão é o crescente aumento dos níveis da poluição ambiental. A estimativa de custos financeiros advindos da deterioração das estruturas pela corrosão é significativa. Pode-se citar como exemplo, que os EUA gastam 21 bilhões de dólares anualmente só com recuperação de pontes e viadutos, valor que vem diminuindo sensivelmente nos últimos anos devido à utilização de uma política de prevenção, antes da correção, pois uma vez instalado o processo de corrosão, os custos com tratamentos corretivos se tornam mais caros e freqüentes (BRITO FILHO, 2002).

Dentre os vários autores, pesquisados parece existir um consenso sobre as definições do processo de corrosão.

Para HELENE (1988) a corrosão é uma interação destrutiva do material com o ambiente, seja por reação química ou eletroquímica.

Para CASCUDO (2001), corrosão é a transformação não intencional de um metal, a partir de suas superfícies expostas, em compostos não aderentes, solúveis ou despersíveis no ambiente em que se encontram.

No caso das barras de aço imersas no meio concreto, a deterioração a que se refere à definição já citada é caracterizada pela destruição da película passivante existente ao redor de toda a superfície exterior das barras. Esta película é formada como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto. A solução aquosa resulta de uma parcela de água de amassamento que não é absorvida pela superfície dos furos e normalmente vai preencher os veios capilares do concreto.

A perda da proteção natural oferecido a armadura pelo cobrimento do concreto pode ocorrer através de diversos mecanismos sendo preponderantes a despassivação, que se dá principalmente por carbonatação e elevados concentrações de íons cloretos. Em ambos os casos, na maioria das vezes, o ambiente externo tem ação sobre todo componente estrutural, porém a manifestação da corrosão ocorre somente em alguns pontos localizados, como resultado da própria natureza do processo de corrosão eletroquímica, no qual regiões anódicas alternam-se com regiões de caráter preponderantemente catódico.

Diante desse quadro observam-se, geralmente, atitudes inconseqüentes, que conduzem em alguns casos a simples reparações superficiais e em outros a demolições e reforços desnecessários. Nenhum dos extremos é recomendado, principalmente com a existência de conhecimentos tecnológico e grande quantidade de técnicas.

Para HELENE (1993) a durabilidade tem importância significativa, quando analisada de acordo com o seu aspecto estrutural, tornando-se propriedade crítica na presença de perda de desempenho relacionado tanto a diminuição da segurança, quanto a redução da vida útil da construção, o que faz com que as conseqüências dessa situação tornem-se cruciais, porque a segurança de uma estrutura envolve aspectos referentes à sobrevivência (proteção a vida) e integridade (proteção a propriedade).

Segundo algumas estatísticas publicadas, grande parte dos defeitos na construção decorrem de erros de execução.

SOUZA (1991) aponta a execução como a principal causa das patologias do concreto, representando 52% dos casos, 18% dos projetos, 24% da utilização inadequada e 6% dos materiais. As patologias das estruturas de concreto, responsáveis por sua deterioração, resultam de uma somatória de fatores. Dentre esses fatores, citam-se: erros de projeto e execução, inadequação dos materiais, má utilização da obra, agressividade do meio ambiente, falta de manutenção e ineficiência ou ausência de controle da construção civil. Em relação à recuperação dos problemas patológicos HELENE (1988) afirma que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quanto mais cedo forem executadas.

A corrosão pode ser classificada segundo a natureza do processo e segundo sua morfologia. Segundo a natureza do processo, classificamos a corrosão em química e eletroquímica. A primeira é chamada corrosão seca ou oxidação e ocorre por uma reação gás-metal e forma uma película de óxido.

Segundo a morfologia a corrosão pode ter varias classificações, entretanto para este estudo, focado na corrosão de estruturas de concreto, vai nos concentrar em três tipos: corrosão uniforme, corrosão por pite e corrosão sob tensão fraturante.

Para GENTIL (2003), a caracterização segundo a morfologia auxilia bastante no esclarecimento do mecanismo e nas medidas adequadas de proteção.

Corrosão das armaduras no concreto armado

A corrosão da armadura de concreto é um caso específico de corrosão eletroquímica em meio aquoso, no qual o eletrólito apresenta uma considerável resistividade elétrica (CASCUDO 2001). A Figura 1 mostra a corrosão na armadura com os tipos de corrosão e fatores que os provocam.

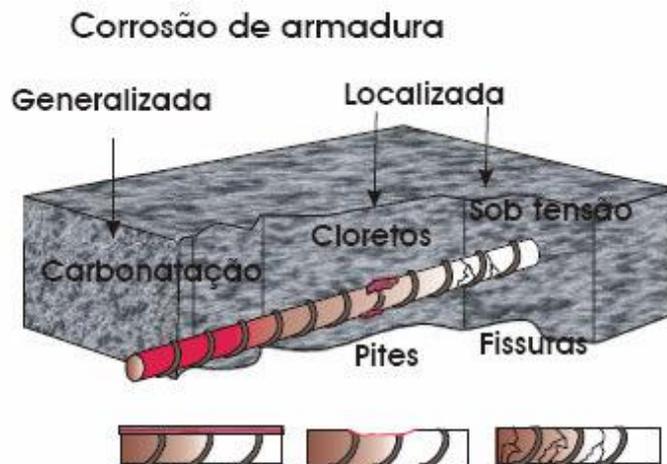


Figura 1 - Tipos de corrosão e fatores que os provocam. Fonte: CASCUDO, 2001

Segundo HELENE (1986), os fatores que levam a este fenômeno estão associados fundamentalmente às características do concreto, ao meio ambiente e as disposições das armaduras e dos componentes estruturais afetados.

Comprova-se que há um consenso entre os autores pesquisadores que a corrosão das armaduras é extremamente prejudicial às estruturas de concreto.

Mecanismo da corrosão da armadura no concreto

O processo de corrosão do aço é eletroquímico, ou seja, dá-se pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito – no caso, a solução aquosa existente no concreto - em contato com um condutor metálico, a própria barra de aço. A passagem de átomos de ferro (Fe^{++}), com o conseqüente abandono da barra de aço à carga negativa, instala a diferença de potencial. Desta forma, cria-se um efeito de pilha, onde a corrosão instala uma corrente elétrica dirigida do anodo para o catodo, através da água, e do catodo para o anodo pela ddp.

Causas da corrosão da armadura no concreto armado

As principais causas da corrosão da armadura no concreto armado são: presença de elementos formadores da pilha eletroquímica; destruição da camada de passivação; ação de íons cloretos e a carbonatação.

Fatores Influentes na Intensidade de Corrosão

Como fatores influentes na intensidade de corrosão: composição do cimento; relação água/cimento, adensamento e cura; saturação dos poros; fissuras; temperatura e o cobrimento.

Efeitos e sintomas da corrosão das armaduras

Os principais efeitos e sintomas da corrosão das armaduras: surgimentos de tensões internas; aparecimento de fissuras na direção paralela a armadura corroída; surgimento de manchas marrom avermelhada; perda de aderência aço/concreto; degradação do concreto e a perda da seção das armaduras.

Medidas preventivas

As medidas preventivas contemplam as seguintes etapas: etapa de projeto; etapa de execução. As etapas principais de projeto são: escolha apropriada da forma estrutural; determinação da composição do concreto; detalhamento adequado das armaduras; definição da espessura do cobrimento; limitação da abertura nominal das fissuras e as medidas especiais de proteção para ambientes especialmente agressivos. As principais etapas de execução são: controle de lançamento; controle de adensamento e o controle de cura do concreto armado.

Proteção e recuperação

A proteção das armaduras de concreto armado pode ser de dois pios, que são a proteção física e a proteção eletroquímica. A proteção física que consiste na utilização de revestimentos na superfície da armadura. Os principais tipos são: galvanização; as resinas epóxi e o Inibidor de corrosão.

A galvanização consiste em emergir a armadura em um banho de zinco fundido. Em sua superfície se formarão duas camadas. Uma mais interna composta de uma liga de zinco-ferro e uma mais externa composta de zinco puro. A durabilidade da armadura galvanizada depen-

de de dois fatores: a espessura da capa de zinco e o pH da fase aquosa preso nos poros do concreto (ANDRADE, 1992).

Com relação a proteção eletroquímica podemos dizer que em princípio esta técnica consiste em aplicar uma corrente elétrica contínua entre a armadura, que funciona como catodo, e um eletrodo externo auxiliar, que funciona como anodo. Encontramos três tipos de proteção eletroquímica que são: a proteção catódica, a extração eletroquímica de cloretos e a re-alkalinização.

A proteção catódica consiste em situar o potencial da armadura abaixo do potencial de corrosão, através de um fluxo de corrente constante. Podemos perceber na Figura 2 como é feita a proteção catódica no concreto armado.

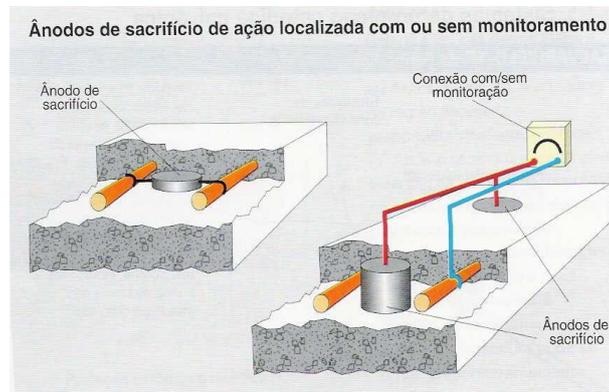


Figura 2 - Proteção catódica no concreto armado. Fonte: CASCUDO,2001

A extração eletroquímica de cloretos consiste na retirada dos íons de cloro, carregados negativamente, por ação de um campo magnético de um eletrodo externo. A re-alkalinização tem por objetivo restaurar a alcalinidade do concreto ao redor das armaduras, por meio da hidrólise da água no catodo e pelo estabelecimento de um fluxo eletrosmótico que introduz os íons carbonato da solução externa para a armadura.

Execução de Reparos nas Estruturas de Concreto Armado

A recuperação da estrutura de concreto armado envolve cinco etapas bem definidas: limpeza; definição das áreas de reparo; preparação da área de reparo; reconstituição da armadura; reparo do concreto.

A reconstituição da seção original da armadura pode ser feita por transpasse e por luva ou solda:

a) Por transpasse para armadura comprimida: de acordo com a argamassa utilizada para o reparo, recomenda-se:

- argamassa base cimento e/ ou graute base cimento, microconcretos e concretos: $L \geq 40\phi$ com cobrimento conforme NBR 6118;
- argamassa e graute base epóxi e/ ou argamassa base poliéster: $L \geq 30\phi$ e $d \geq 0,5\text{cm}$ com cobrimento conforme NBR 6118.

b) Por transpasse para armadura tracionada:

- $\phi \leq 12,5 \text{ mm}$ e até 50% das emendas na mesma seção (idem para armadura comprimida);

- $\varnothing \leq 12,5$ mm e até 100% das emendas na mesma seção é preciso aumentar 50% o comprimento do traspasse.
- c) Por luva ou solda: empregam-se emendas com luvas de pressão e caso isto não seja possível, emprega-se solda, preferencialmente dos dois lados da barra. Em situações de maior responsabilidade, a solda deve ser evitada, pois pode conduzir à fragilização do aço.

Conclusões

Pela bibliografia consultada foi possível chegar à conclusão de que a corrosão de estruturas de concreto armado é um processo eminentemente eletroquímico, e como tal deve ser tratado. Qualquer método de tratamento que não considere os mecanismos de corrosão eletroquímicos (eletrodo, eletrólito, diferença de potencial, condutor), está comprometido, correndo-se o risco de ter o problema agravado pelo desconhecimento.

Os principais causadores da corrosão de armadura do concreto, por unanimidade dos autores consultados, são o CO_2 que causa a carbonatação e os íons de cloreto. Sendo que o primeiro contribui com a queda do pH e a conseqüente despassivação da armadura e o segundo contribui com a diminuição da resistividade do concreto e o ataque a camada passivadora.

De todos os fatores intervenientes acelerantes da corrosão de estruturas de concreto, fica claro que, os mais significativos são a qualidade do concreto e a espessura de cobrimento, apesar de não haver consenso quanto a qual é o melhor concreto para se proteger a armadura.

Ficou bem claro que a ocorrência ou não da corrosão em estruturas de concreto armado se dá pela interação entre o concreto e o meio ambiente. Em ambientes muito agressivos o concreto deve ser de altíssima qualidade para que não venha a sofrer com a corrosão.

E finalmente observamos que a durabilidade da estrutura está muito relacionada à qualidade de projeto e especificação. Nestas fases, qualquer medida tomada tem custos muito inferiores aos de posteriores manutenções, quando na maioria das vezes, são capazes de resolver o problema completamente.

Referências bibliográficas

- ABNT. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- BRITO FILHO, J.P.; FERNANDES FILHO, R. **Detecção de corrosão em estruturas de concreto armado usando sensoriamento remoto**. II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, João Pessoa, 2002
- SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1991.
- CASCUDO, O.; HELENE, P.R.L. **Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003. 341p.

HELENE, P. R.L. **Tecnologia de edificações. Corrosão de armaduras para concreto armado.** São Paulo: Editora Pini, p. 597-602 1988.

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras.** São Paulo: PINI, 1992. 104p.

KIRCHHEIM, A.P. **Uso do concreto branco estrutural: museu Iberê Camargo.** In: Seminário de Patologia das Edificações – Novos Materiais e Tecnologias Emergentes, 2004, Porto Alegre. Anais. : Ed. UFRGS, 2004.