

FACULDADE GALILEU

Engenharia Civil

SILVIO DE FREITAS JUNIOR

**A CORROSÃO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE
SUAS CARACTERÍSTICAS, CAUSAS, EFEITOS E AÇÕES DE
CORREÇÃO**

BOTUCATU
2020

SILVIO DE FREITAS JUNIOR

**A CORROSÃO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE
SUAS CARACTERÍSTICAS, CAUSAS, EFEITOS E AÇÕES DE
CORREÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Galileu como
requisito parcial para a aquisição do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

BOTUCATU
2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

SILVIO DE FREITAS JUNIOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Galileu,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro
Civil.

Data da Aprovação: ____ / ____ / ____

Assinatura

RESUMO

O propósito deste artigo é identificar os motivos das corrosões das armaduras em estruturas de concreto armado, assim como apresentar suas características, impacto e possíveis soluções de reparo. O método utilizado foi uma revisão integrativa de literatura, com análise de artigos indexados em diversas bases de dados nacionais e internacionais, com a finalidade de indicar as evidências necessárias. Foi realizado em 6 etapas: definição dos descritores (patologia; concreto armado; engenharia); estratégia de busca; seleção da amostra com busca em bases de dados eletrônicos; categorização dos estudos; análise dos resultados e a síntese do conhecimento. A corrosão do concreto provoca a sua deterioração, e também pode afetar a estabilidade e a durabilidade das estruturas. A corrosão nas armaduras pode ser acelerada por uma série de outros fatores intrínsecos e extrínsecos. Por isso, evidencia-se a necessidade de buscar soluções que contribuam para minimizar a incidência e evolução do processo corrosivo nas estruturas de concreto, tanto pela gravidade do problema, quanto pela frequência de ocorrência de corrosão da armadura. Além disso, ressalta-se a importância do aprimoramento de profissionais de engenharia, voltados para a investigação das falhas, diagnosticando a origem da manifestação patológica, e elaborando procedimentos de recuperação ou projetos específicos para o reforço estrutural. O correto dimensionamento, a execução realizada com todos os controles de qualidade, o uso correto da estrutura e a sua manutenção periódica, são as condições ideais para prolongar sua vida útil.

Palavras chaves: patologia, concreto armado, engenharia.

ABSTRACT

The purpose of this article is to identify the reasons for reinforcement corrosion in reinforced concrete structures, as well as to present their characteristics, impact and possible repair solutions. The method used was an integrative literature review, with analysis of articles indexed in several national

and international databases, in order to indicate the necessary evidence. It was carried out in 6 stages: definition of descriptors (pathology; reinforced concrete; engineering); search strategy; sample selection with search in electronic databases; categorization of studies; analysis of results and synthesis of knowledge. The corrosion of concrete causes not only its deterioration, but can also affect the stability and durability of the structures. Armature corrosion can be accelerated by a number of other intrinsic and extrinsic factors. Therefore, it is evident the need to seek solutions that contribute to minimize the incidence and evolution of the corrosive process in concrete structures, both due to the severity of the problem and the frequency of corrosion occurring in the reinforcement. In addition, it emphasizes the importance of improving engineering professionals, focused on the investigation of failures, diagnosing the origin of the pathological manifestation, and developing recovery procedures or specific projects for structural reinforcement. The correct dimensioning, the execution carried out with all the quality controls, the correct use of the structure and its periodic maintenance, are the ideal conditions to prolong its useful life.

Key words: pathology, reinforced concrete, engineering.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	7
1.1 . OBJETIVO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 CONCRETO.....	10
2.2 COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO.....	11
2.3 CORROSÃO DAS ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	15
2.4 MECANISMO DE CORROSÃO.....	18
2.5 MÉTODOS DE CONTROLE DE CORROSÃO.....	19
3.METODOLOGIA.....	22
4.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
5.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23

1. INTRODUÇÃO

No mundo contemporâneo tem-se observado existência de estruturas de concreto armado deterioradas por velozes e ferozes processos de deterioração, fato que induz a incerteza quanto à sua segurança e estabilidade. Tal situação circunstância, em muitos casos, é motivada pelo desconhecimento dos processos e mecanismos de degradação, bem como pela ausência de ensaios que possam apreciar, avaliar e estimar, com propriedade, a duração dos concretos, uma vez que os requisitos de controle e avaliação continuam sendo a quantidade de cimento utilizado na produção dos concretos e a ligação água e cimento. (AGUIAR, 2006).

O conhecimento e divulgação das práticas construtivas adequadas do concreto não acompanharam o crescimento da atividade de construção, causando seguidos descuidos nas obras, e limitando a capacidade do concreto em proteger as armaduras contra a corrosão. (AGUIAR, 2006).

A deterioração do concreto acontece inúmeras vezes como resultado de uma associação de diferentes fatores extrínsecos e intrínsecos. São processos complexos, determinados pelas propriedades físico-químicas do concreto e da forma como está exposto. Os processos de degradação modificam a capacidade de o material desempenhar as suas funções, e nem sempre se apresentam visualmente. Os três principais sintomas que podem manifestar-se isoladamente ou simultaneamente são a fissuração, o destacamento e a desagregação. (AGUIAR, 2006).

Conforme Silva (2006), a resistência e durabilidade são algumas das principais características do concreto armado, por isso ele é considerado um dos materiais mais importantes da engenharia estrutural, mas devido a essa característica é comum ver algumas pessoas confundi-lo como um material perene. Portanto, faz-se necessário esclarecer que as estruturas executadas em concreto armado não são eternas, pois com o passar do tempo elas se deterioram e, além disso, há o agravante de erros de projeto, má execução e conservação que contribuem para a degradação prematura, ou seja, a estrutura não atinge o tempo de vida útil para que foi projetada.

O correto dimensionamento, a execução realizada com todos os controles de qualidade, o uso correto da estrutura e a sua manutenção periódica, são as

condições ideais para prolongar sua vida útil. Porém, se houver alguma falha em alguma dessas etapas e decorrer então algum processo de degradação da estrutura, deve-se então proceder a sua recuperação ou seu reforço. (SILVA, 2006).

Os processos e etapas necessários para as intervenções nas superfícies de concreto são: polimento, lavagem e limpeza da superfície, remoção de resíduos com uso de soluções ácidas ou alcalinas, remoção de resíduos com uso de jatos de água, areia, vapor ou ar comprimido, escovação manual, apicoamento, saturação e corte de concreto. Após o preparo da superfície e limpeza das armaduras, ou sua substituição quando necessário, é realizada a composição da área recuperada com diversos materiais existentes: recuperação com argamassa, recuperação com graute e recuperação com concreto. (SILVA, 2006).

Apesar da Indústria da Construção Civil apresentar evoluções, inovações e avanços tecnológicos com o decorrer do tempo no campo das técnicas e dos materiais de construção, ainda é comum observar um grande número de edificações apresentando patologias. As principais manifestações patológicas discutidas na literatura são: corrosão das armaduras, devido aos cloretos ou carbonatação; fissuras; desagregação do concreto; reação álcali-agregado; infiltrações; e deslocamento do revestimento externo. De uma maneira geral, as causas mais comuns das patologias são o uso inadequado de materiais, aliado à falta de cuidados na execução e mesmo adaptações quando do seu uso; tudo isto somado à falta de manutenção. Nota-se então que alguns cuidados devem ser observados durante o planejamento, execução e manutenção das estruturas de concreto armado no sentido de melhorar a qualidade e o desempenho das edificações. A manutenção periódica também é considerada fundamental para prolongar a vida útil das estruturas. (JUNIOR et al, 2013).

A quantidade de estruturas de concreto que apresentam alguma manifestação patológica são maiores em ambientes que possuem maior agressividade, como as indústrias petroquímicas, como as fissurações, perda de massa por ataque químico, corrosão de armaduras, entre outras. É de suma importância a manutenção contínua dessas estruturas, para prolongar e permanecer o nível de desempenho projetado. Deve-se avaliar adequadamente para realizar a correção, a fim de não comprometer as condições de estabilidade

e segurança da estrutura, além de prevenir o aparecimento e a evolução da manifestação patológica, pois envolvem alto risco de acidentes e altos custos de manutenção. Após diagnosticar a origem da patologia, deve-se elaborar procedimentos de recuperação ou projetos para um reforço estrutural. (CORREA, 2013).

É de suma importância definir as prioridades de intervenção, de manutenção e de inspeção, classificando a problemática em Gravidade (impacto causado), Urgência (estado ou nível da manifestação patológica), Tendência (o potencial de crescimento do problema), Recursos para a recuperação (físicos, financeiros e humanos) e a previsão orçamentária disponível. (CORREA, 2013).

O aperfeiçoamento de profissionais de engenharia, é de suma importância, pois devem ter a capacidade de analisar os problemas e emitir os pareceres técnicos conforme cada caso específico. (VITÓRIO, 2003).

Diante do exposto, questiona-se: Quais são os fatores relacionado a corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado, bem como as estratégias utilizadas para a prevenção e soluções de reparo?

Este estudo justifica-se pela busca das estratégias utilizadas para a prevenção e soluções de reparo diante corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado. Assim, considerando-se toda a problemática que envolve tais eventos para a população, bem como as complicações advindas, torna-se indispensável identificar os fatores de risco e estratégias para a prevenção e soluções de reparo, pois, a partir desse diagnóstico situacional torna-se possível planejar e implementar intervenções que minimizem esses eventos adversos.

1.1 OBJETIVO

Identificar os motivos das corrosões das armaduras em estruturas de concreto armado, bem como apresentar suas características, impacto e possíveis soluções de reparo, por meio de uma revisão bibliográfica que discorra sobre pesquisas realizadas por diversos autores.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

O concreto é um compósito constituído basicamente por agregados miúdos e graúdos, dispersos em uma matriz formada pelas reações químicas durante a hidratação do cimento Portland pela água. O compósito é bastante heterogêneo, muito complexo e possui elevada resistência à compressão e uma alta alcalinidade. (DA SILVA, 2007)

A mistura do concreto é feita por medidas, chamada comumente de traço, na qual descreve a quantidade de materiais necessários para se obter uma boa característica para o mesmo. Ela é formada por água, brita, cimento, areia e outros aditivos, que trazem novas características ao concreto, aumentando sua resistência, impermeabilidade e tenacidade. (BASTOS, 2019)

De acordo com Freire (2005), o concreto é um material intrinsecamente poroso, face à impossibilidade de preenchimento total dos vazios entre agregados e a pasta de cimento. Os vazios são decorrentes do uso de água na massa em quantidade superior à necessária para a hidratação do aglomerante hidráulico e cujo excesso, ao evaporar, deixa cavidades, em virtude da diminuição dos volumes absolutos e também da inevitável incorporação de ar à massa do concreto. Estes vazios ou poros formam uma rede conectada com o exterior que é relevante ao processo de transporte de gases, água e substâncias agressivas dissolvidas para o interior do concreto. A destruição do concreto bem como a corrosão das armaduras depende desta estrutura de poros, pois os mecanismos de degradação se fundamentam na mesma. A resistência do concreto a influências químicas e físicas é reduzida consideravelmente quando aumenta a quantidade de poros capilares.

Sua durabilidade é definida como a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente. Para o caso específico do concreto e das construções à base de concreto, define-se a

durabilidade como a capacidade de manter em serviço e com segurança uma estrutura, durante um tempo especificado ou período de vida útil em um determinado meio ou entorno, mesmo que este meio seja desfavorável ao concreto. Ainda a durabilidade das estruturas de concreto armado é função de uma série de fatores relacionados com a qualidade do concreto e sua interação com o ambiente externo. (DA SILVA, 2007)

A versatilidade do concreto como material de construção é incomparável. Seus constituintes básicos são encontrados em praticamente todas as partes do mundo, além de seu processo de produção ser um método relativamente simples, que possibilita uma grande variabilidade de formas, aspectos estéticos e em geral uma boa durabilidade. Essa versatilidade faz do concreto o material de construção mais utilizado em todo mundo. No entanto, quando se deseja que o concreto resista à tração, é incorporado ao sistema o aço, dando origem ao material compósito denominado concreto armado. O problema é que ao imergir o aço no concreto, se tem todas as condições necessárias a formação de uma pilha eletroquímica: ânodo, cátodo, eletrólito e circuito metálico, fazendo com que os processos corrosivos ocorram se não controlados adequadamente. (VIEIRA et al, 2010).

Segundo Freire (2005) A barreira que o concreto impõe à corrosão do aço em uma estrutura é importante tanto pelo alto pH, necessário para manter passiva a superfície do aço, como também pela proteção física ao ingresso de substâncias presentes no meio externo. Então, o concreto pode proporcionar uma baixa permeabilidade, que minimiza a penetração de substâncias que podem induzir à corrosão.

2.2 COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO

De acordo com Bastos,

De modo geral, quando se utiliza um elemento estrutural em concreto armado, as armaduras de aço são posicionadas dentro de um molde, em seguida o concreto fresco é usado para preencher o molde e envolver as armaduras, e ao mesmo tempo, o adensamento é feito. Após a cura e o endurecimento do concreto, o molde é retirado e assim origina-se a peça de Concreto Armado. O Concreto Armado alia as qualidades do concreto (baixo custo, durabilidade, boa resistência à compressão, ao fogo e à água) com as do aço (ductilidade e excelente resistência à tração e à compressão), o que permite construir

elementos com as mais variadas formas e volumes, com relativa rapidez e facilidade, para os mais variados tipos de obra. (BASTOS, 2019)

No interior da rede do concreto, os poros são ocupados pela fase aquosa do mesmo, contendo componentes iônicos como OH^- , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} , liberados pelas reações de hidratação ou de cura. Os íons Na^+ e K^+ são os principais responsáveis pela elevação da alcalinidade do concreto. A fase líquida ou aquosa do concreto apresenta pH entre 12,5 e 13,5, favorecendo a formação da camada de óxido férrico passivante, compacta e aderente à superfície da armadura. (FREIRE, 2005).

A baixa permeabilidade também aumenta a resistividade elétrica do concreto que impede o fluxo de correntes elétricas entre áreas anódicas e catódicas que causam a corrosão eletroquímica. Por causa destes atributos protetores inerentes, a corrosão do aço não ocorre na maioria dos elementos ou estruturas de concreto. Porém, ela pode ocorrer se o concreto não é de qualidade adequada, se a estrutura não foi projetada corretamente para o ambiente de serviço ou se o ambiente não era como esperado, variando durante a vida útil do concreto. (FREIRE, 2005).

Os componentes do Concreto Armado são: os agregados, água, armadura, adições, Cimento Portland

Sobre os agregados, afirma-se que:

Os agregados são considerados um material granular, sem forma ou volume definido, de dimensões e propriedades adequadas às obras de engenharia, para fabricação de concretos e argamassas de cimento portland, que podem ser: naturais, britados, artificiais, reciclados. Mostrou-se que é indispensável conhecer melhor este material, pois muitas das propriedades dos concretos estão influenciadas pelas características dos agregados como: porosidade, composição granulométrica, absorção d'água, estabilidade, forma e textura superficial dos grãos, resistência mecânica, módulo de deformação e substâncias deletérias. Os materiais utilizados como agregados na fabricação do concreto são encontrados na crosta terrestre originados de rochas ígneas ou magmáticas como, basalto granito, diabásio; rochas sedimentares como, arenito, argilito, calcário, gipsita, turfa; rochas metamórficas como, gnaiss, mármore, xisto, filito. (AMORIM, 2010).

Sobre as rochas pode-se afirmar que:

Dentre as origens das rochas as que apresentam melhores resultados são as ígneas, pois são mais densas, compactas ex.: granitos, basaltos (exceção dos basaltos com estrutura vesicular que são vazios na forma de cavidade). As rochas metamórficas como o gnaiss e o quartzito apresentam bons potenciais como agregado. As rochas sedimentares

são as que apresentam menores condições de serem utilizados como agregado devido à grande porosidade, menor resistência mecânica, somente são usados quando o nível de exigência é baixo, como por exemplo: arenito e os argilitos. (NETO, 2005)

Os agregados miúdos e graúdos são obtidos diretamente da natureza, como a areia; da britagem de rochas, a brita; de processos industriais, as argilas expandidas; ou ainda por reaproveitamento de rejeito urbanos e industriais, a escória de alto forno e concreto reciclado. O termo agregado graúdo se refere a partículas de agregados maiores do que 4,8 mm e o termo agregado miúdo se refere a partículas de agregados menores de 4,8 mm. A areia é, normalmente, usada como agregado miúdo e é resultante da desintegração natural e da abrasão de rochas ou processamento de rochas arenosas friáveis. Utilizada no concreto é obtida em leitos e margens de rios, ou em portos e bancos de areia. (FREIRE, 2005).

A água a ser utilizada no concreto deve ser tratada; não deve apresentar elevada concentração de sais ou resíduos industriais. Do contrário, poderá prejudicar a integridade do concreto. Normalmente, a água aceita é aquela que apresenta como teores máximos os mesmos que definem as águas potáveis, principalmente aqueles relativos ao Cl^- , Na^+ e Mg^{2+} . (FREIRE, 2005).

De acordo com Yazigi,

O excedente de água permanece na argamassa até vaporizar, deixando canais capilares e pequenas bolhas no produto. Quanto mais água existir, maior será o número de vazios e possuirá a tendência de uma composto menos resistente. Sempre haverá vazios no concreto, pois é necessária a utilização da água para hidratação do cimento. (YAZIGI, 2007).

É importante evitar o excesso, utilizando somente o essencial para ocorrer as reações químicas, e facilitar a trabalhabilidade do concreto. A durabilidade e a resistência a estanqueidade estão diretamente ligados à quantia de água que é inserida na composição, por isso, o fator água/cimento é de extrema importância na produção do concreto. (AMORIM, 2010).

A armadura é composta de barras de aço, também chamadas de ferro de construção ou vergalhões. Eles têm a propriedade de se integrar ao concreto e de apresentar elevada resistência à tração. Por isso, são colocados nas partes da peça de concreto que vão sofrer esse esforço. As Normas Técnicas Brasileiras classificam os vergalhões para concreto de acordo com a sua

resistência em: aço CA 25, aço CA 50, aço CA 60. Os números 25, 50 e 60 referem-se à resistência do aço: quanto maior o número, mais resistente será o vergalhão. (FREIRE, 2005).

O uso de adições minerais nos concretos reflete de forma benéfica, pois elas incorporam grandes qualidades ao produto; resultam do efeito físico associado ao pequeno tamanho das partículas, pelo efeito químico pozolânico. A eficiência das adições está diretamente interligada à quantia utilizada e das condições de cura. (AMORIM, 2010).

Segundo menciona Molin (2005), surgiram outras adições que geralmente são obtidos por meio de subprodutos (resíduos), o que reduz a extração de matéria prima para fabricação de produtos cimentícios. Um exemplo de subproduto da indústria que é utilizado como adição é a escória de alto, cinza da casca de arroz. Dos materiais empregados nas adições pode-se destacar: Pozolanas naturais, Cinza Volante, Sílica ativa, Metacaulin, Cinza de casca de arroz, Escória granulada de alto-forno e Fíler.

Amorim (2010) afirma que:

O principal componente do cimento é o clínquer, material sinterizado e peletizado, resultante da calcinação a aproximadamente 1450 °C de uma mistura de calcário e argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera, empregados de modo a garantir o quimismo da mistura. De acordo com Kihara e Centurione (2005), a mais simples formulação do cimento Portland consiste na moagem do clínquer previamente obtido com uma ou mais forma de sulfato de cálcio em pequenas proporções (3 a 5% do volume) com o objetivo de regular o tempo de pega ou endurecimento inicial.

O cimento, principal componente do concreto, é um material finamente pulverizado, que sozinho não é um aglomerante, mas desenvolve propriedades ligantes quando hidratado. Um cimento é dito hidráulico quando seus produtos de hidratação são estáveis em meio aquoso. O cimento Portland é o cimento hidráulico mais usado na fabricação do concreto, consistindo essencialmente de mistura de óxidos de cálcio, silício, alumínio e ferro. (FREIRE, 2005). No Brasil são fabricados diversos tipos de cimento para diversas aplicações, cuja fabricação em muitos casos depende da disponibilidade de matéria prima em cada região. (AMORIM, 2010).

2.3 CORROSÃO DAS ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Segundo Gentil (1996), a corrosão e a deterioração que podem ser observadas no concreto podem ser atribuídas principalmente à fatores mecânicos, físicos, biológicos e químicos. No caso da corrosão em concreto armado, os principais causadores da corrosão das armaduras são os íons cloretos e a redução da reserva alcalina através do fenômeno da carbonatação. Fatores físicos e mecânicos, como variações térmicas e choques na estrutura, podem acelerar o ingresso dos agentes agressivos, através de formação de fissuras, por exemplo.

Segundo Furtado (1981), corrosão é a deterioração de um corpo sólido por meio de uma ação química ou eletroquímica, provocada pelo meio ambiente. Já Helene (1986) diz que corrosão é a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química ou eletroquímica. Panossian (1993) define corrosão metálica como sendo a transformação de um metal em íon metálico pela sua interação química ou eletroquímica com o meio em que se encontra.

De acordo com da Silva (2007),

A corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado é um dos principais fatores de redução de sua vida útil devido à interação do concreto com o meio ambiente. A vida útil pode ser reduzida quando a relação água/cimento, tipo de cimento, cura e cobrimento forem inadequados às condições ambientais impostas. Para aumentar a vida útil, muitas vezes, além de precauções adequadas com relação à qualidade do concreto são utilizados alguns aditivos que têm a função de impedir ou reduzir a corrosão das armaduras. (Silva, 2007)

Quando o aço fica envolvido e com um cobrimento adequado de concreto, ele fica protegido de corrosão, bem como quando submetido a elevadas temperaturas. (BASTOS, 2019)

De acordo com Silva,

A armadura não é suscetível de sofrer corrosão, a não ser que ocorram contaminações ou deteriorações do concreto. Os constituintes do concreto inibem a corrosão do material metálico e se opõem à entrada de contaminantes. Pode-se afirmar que, quanto mais o concreto se mantiver inalterado, mais protegida estará a armadura. Na maioria dos casos, a armadura permanece por longo tempo resistente aos agentes corrosivos, podendo esse tempo ser praticamente indefinido. Todavia, ocorrem alguns casos onde a corrosão da armadura é bastante rápida e progressiva. (DA SILVA, 2007)

A corrosão nas armaduras de concreto armado é um fenômeno de natureza predominantemente eletroquímica, pois ocorrem na presença de água, íons e oxigênio. Além disso, pode ser acelerada por uma série de outros fatores intrínsecos – espessura do recobrimento, permeabilidade do concreto, resistividade elétrica, tipo de cimento, areia e brita utilizada – os quais tem importante papel na velocidade da corrosão. O ambiente onde a estrutura se encontra inserida também tem uma grande influência sobre o desenvolvimento deste fenômeno. (DA SILVA, 2007)

Para que a corrosão eletroquímica se manifeste nas armaduras do concreto, é necessária a presença de pelo menos um eletrólito e oxigênio dissolvido no mesmo. A corrosão pode ser ainda mais acentuada se, além destes fatores, tivermos a presença de cloretos, sulfatos e/ou outros gases atmosféricos. (DA SILVA, 2007)

A corrosão de metais no concreto, especialmente do aço, tem recebido atenção crescente nos últimos anos devido a essa ocorrência difundida em certos tipos de estruturas e ao elevado custo para reparos. A corrosão e a deterioração observada no concreto podem estar associadas a fatores mecânicos, físicos, biológicos ou químicos, e entre os quais são citados como exemplo:

- mecânicos – vibração e erosão;
- físicos – variações de temperatura;
- biológicos – bactérias;
- químicos – produtos químicos como ácidos e sais.

(FREIRE, 2005).

Entre os fatores mecânicos, as vibrações podem ocasionar fissuras no concreto, possibilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Líquidos em movimento, principalmente contendo partículas em suspensão, podem ocasionar erosão no concreto, com o seu consequente desgaste. Se esses líquidos contiverem substâncias químicas agressivas ao concreto, tem-se ação combinada, isto é, erosão-corrosão, que é evidentemente, mais prejudicial e rápida do que as ações isoladas. A erosão é mais acentuada quando o fluido em movimento contém partículas em suspensão na forma de sólidos, que funcionam como abrasivos, ou mesmo na forma de vapor, como no caso de cavitação. (FREIRE, 2005).

Segundo Freire (2005), a cavitação é observada quando se tem a água sujeita a regiões de grande velocidade, com consequente queda de pressão,

possibilitando, então, a formação de bolhas de vapor água que são arrastadas pela água em movimento. Quando ela entra em regiões de pressões mais elevadas, as bolhas de vapor sofrem implosão, transmitindo grande onda de choque para os materiais presentes. São responsáveis por grandes danos em concreto sujeitos a altas velocidades de água, como no caso de canais e vertedouros de barragens.

Os fatores físicos, como variações de temperatura, podem ocasionar choques térmicos com reflexos na integridade das estruturas. Variações de temperatura entre os diferentes componentes do concreto (pasta de cimento, agregados e armadura), com características térmicas diferentes, podem ocasionar microfissuras na massa do concreto que possibilitam a penetração de agentes agressivos. (FREIRE, 2005).

Os fatores biológicos, como microrganismos, podem criar meios corrosivos para a massa do concreto e a armadura, como aqueles criados pelas bactérias oxidantes de enxofre ou de sulfetos, que aceleram a oxidação dessas substâncias para ácido sulfúrico. (FREIRE, 2005).

Os fatores químicos estão relacionados com a presença de substâncias químicas nos diferentes ambientes, normalmente água, solo e atmosfera. Entre as substâncias químicas mais agressivas devem ser citados ácidos como o sulfúrico e o clorídrico. Os fatores químicos podem agir na pasta de cimento, no agregado e na armadura de aço-carbono. O mecanismo de deterioração química deve-se à ação de substâncias químicas sobre os componentes não metálicos do concreto. Como exemplo tem-se o ataque do concreto por ácidos como o clorídrico com a formação de cloretos de cálcio e sílica gel. (FREIRE, 2005).

A corrosão das armaduras de aço pode ser considerada uma das principais causas da deterioração do concreto armado. Diversos fatores podem ser apontados como responsáveis pela ocorrência desta manifestação patológica: deficiências de projeto, espessura de cobrimento insuficiente, especificações e características inadequadas do concreto e de seus materiais constituintes, falhas de execução e manutenção e a ação agressiva do meio ambiente na qual a estrutura está inserida. (FREIRE, 2005).

2.4 MECANISMO DE CORROSÃO

A Corrosão pode ser entendida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, como resultado de reações deletérias de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de degradação. As armaduras inseridas nos componentes estruturais de concreto estão, em princípio, protegidas e passivadas contra corrosão. Essa proteção é proporcionada pelo concreto de cobrimento que forma uma barreira física ao ingresso de agentes externos e principalmente por uma proteção química conferida pela alta alcalinidade da solução aquosa presente nos poros do concreto. (HELENE, 1993)

De acordo com Freire (2005) a corrosão pode ser classificada em química ou eletroquímica. Corrosão química é também conhecida por corrosão seca ou oxidação e se processa por uma reação gás/metalo, formando uma película de óxido. É um processo lento, não provocando estragos relevantes nas superfícies metálicas; geralmente está associado a altas temperaturas, podendo ocorrer na temperatura ambiente, em meio gasoso e em alguns meios líquidos. Em geral, acarreta uma corrosão homogênea na superfície do metal, não existindo reações de oxidação e redução e por, conseguinte, geradores de correntes elétricas. Já o segundo tipo de corrosão é um ataque de natureza preponderantemente eletroquímica, que ocorre em meio aquoso, sendo o resultado da formação de pilhas ou células de corrosão, com eletrólito e diferença de potencial entre os trechos da superfície do aço.

Na corrosão eletroquímica o fenômeno ocorre como resultado da formação de pilhas ou células de corrosão devido presença de umidade, água ou uma solução aquosa na superfície das barras ou no concreto que a envolve, que possam atuar como eletrólito. A dissolução do aço ocorre nas regiões anódicas e o processo não é uniforme pois nas regiões catódicas o ataque pode ser considerado desprezível. A corrosão das armaduras de aço em presença de umidade ou temperatura ambiente pode ser considerado sempre um processo do tipo corrosão eletroquímica. (HELENE, 1993)

Segundo Helene (1993), na oxidação direta os átomos do aço reagem diretamente com o oxigênio. Geralmente é uma reação gás-metal ou Íon-metal com formação de uma película uniforme e contínua de óxido de ferro. Este tipo

de corrosão muito lenta à temperatura ambiente podendo ser significativa somente em altas temperaturas. Em geral acarreta uma corrosão uniforme que ocorre igualmente sobre toda a superfície da armadura. Pode ocorrer segundo quatro processos de difusão distintos; a) por formação de película porosa que permite a difusão contínua do oxigênio, b) por formação de película compacta onde predomina a difusão de cátions, c) por formação de película compacta onde predomina a difusão de ânions, e d) por formação de película que permite a difusão de cátions e ânions.

A corrosão eletroquímica da armadura pode ter as seguintes formas:

- corrosão uniforme: corrosão em toda a extensão da armadura quando fica exposta ao meio agressivo;
- corrosão puntiforme ou por pite: os desgastes são localizados sob a forma de pequenas cavidades, também chamados alvéolos;
- corrosão intragranular: processa-se entre os grãos dos cristais do metal e quando os vergalhões sofrem, principalmente, tensões de tração, podem fissurar ou fraturar perdendo a estabilidade;
- corrosão transgranular: realiza-se intragrãos da rede cristalina, podendo levar à fratura da estrutura, quando houver esforços mecânicos;
- fragilização pelo hidrogênio: corrosão originada pela ação do hidrogênio atômico na sua difusão pelos vergalhões da armadura, propiciando a sua fragilização e, em consequência, a fratura. (FREIRE, 2005).

São extremamente graves as quatro últimas formas de corrosão quando existem ações conjuntas de solicitação mecânica e meio corrosivo, pois ocasionam a corrosão sob tensão fraturante, podendo provocar a ruptura da armadura. A corrosão menos prejudicial é a uniforme, pois se apresenta distribuída em toda a extensão da barra e, portanto, dificilmente traz consequências inesperadas. (FREIRE, 2005).

2.5 MÉTODOS DE CONTROLE DE CORROSÃO

Além das medidas relacionadas ao projeto e execução, existem métodos específicos para reduzir ou inibir a corrosão das armaduras, entre as quais pode-se enumerar: · métodos eletroquímicos (proteção catódica e anódica); · isolamento da armadura do eletrólito pelo uso de revestimentos orgânicos inertes

(tintas) ou de revestimentos com metais mais nobres (galvanização); · inibição da reação catódica e/ou da reação anódica por meio de agentes (chamados inibidores) que reagem com os produtos da corrosão e formam camadas impermeáveis nas superfícies dos eletrodos. (DA SILVA, 2007)

Na prática, o risco de corrosão é avaliado por meio da verificação periódica do estado da armadura e das alterações nas características do concreto. Isso pode ser feito por meio do embutimento, no concreto, de cobrimento de sensores de permanente aquisição de dados. Os sensores são usados para o monitoramento do risco de corrosão tanto em estruturas novas como em estruturas existentes. Em estruturas novas, os sensores são posicionados sobre as armaduras antes da concretagem. Em estruturas existentes, são introduzidos em furos realizados ao longo da espessura do concreto de cobrimento da armadura. (ARAÚJO, 2013)

A maioria dos sensores disponíveis no mercado internacional para avaliação do risco da corrosão em estruturas de concreto fundamenta-se no monitoramento da variação da corrente galvânica. A corrente galvânica aparece quando, em um mesmo meio condutivo, se faz o contato elétrico entre dois metais distintos ou entre dois metais similares. Para essa medição, usa-se um amperímetro de resistência zero, conhecido como técnica Zero - Resistance Ammeter (ZRA). Na prática, para a avaliação do risco de corrosão nas estruturas de concreto, os sensores galvânicos constam de um conjunto de barras de aço-carbono, eletricamente isoladas. Com o embutimento do sensor no concreto, essas barras ficam posicionadas em diferentes profundidades, sempre menores do que a da armadura. Esse conjunto de barras do sensor é também denominado de ânodo. Na proximidade do ânodo, é embutida a mencionada barra de metal mais nobre, denominada de cátodo. Em geral, como cátodo, utilizam-se aços inoxidáveis altamente resistentes à corrosão e aos íons cloreto, ou ainda titânio revestido com platina ou com mistura de óxidos de metais nobres (MMO). A corrente galvânica é medida entre cada barra de aço-carbono do ânodo e o cátodo. (ARAÚJO, 2013)

Conforme Araújo (2013), em concreto íntegro, essa corrente é desprezível, ou seja, muito baixa. Isso porque as barras de aço-carbono estão em estado passivo, portanto, apresentam uma diferença de potencial

desprezível em relação ao cátodo também passivo. O mesmo não ocorre quando um processo corrosivo é estabelecido nas barras. Nesse caso, a corrente galvânica apresenta um valor significativo em decorrência da variação do potencial do ânodo, que assume valores mais negativos em relação aos obtidos inicialmente, em seu estado passivo.

Nos últimos tempos, a utilização de inibidores de corrosão, tem se tornado mais comum nas construções com utilização de estruturas de concreto. Eles são uma forma simples para se prevenir de eventuais danos à estrutura, bem como, em medidas de reparo, sendo aplicados na superfície do concreto. (SILVA, 2007)

Uma vasta linha de inibidores de corrosão das armaduras metálicas em concreto é encontrada atualmente no mercado, sendo os mais tradicionalmente comercializados aqueles baseados em nitrito de cálcio. Igualmente, deve ser mencionado que a utilização de inibidores de corrosão das armaduras metálicas somente se justifica em ambientes agressivos, onde a proteção natural do concreto é destruída e a vida útil das estruturas torna-se menor que a necessária. Nestes casos, a adição desses inibidores à mistura com água é um dos procedimentos mais convenientes e econômicos para evitar os danos causados pela corrosão. (DA SILVA, 2007)

Um inibidor de corrosão ideal é definido como um “componente químico que, quando adicionado em quantidades adequadas, pode prevenir a corrosão da armadura de aço e não tem efeitos contrários às propriedades do concreto”. Atua junto às superfícies das armaduras, podendo retardar, reduzir ou mesmo impedir a corrosão do aço e, necessariamente, não afeta de forma adversa as propriedades da mistura, seja no estado fresco ou endurecido. É importante salientar que os inibidores são específicos em termos do metal a proteger, do meio corrosivo, da temperatura e da sua faixa de concentração. É essencial usar uma quantidade adequada de inibidor, já que muitos agentes inibidores podem acelerar a corrosão, provocando em especial um ataque localizado, como corrosão por pontos, se a concentração for abaixo da correta. (FREIRE, 2005).

Conforme Freire (2005), além do nitrito de cálcio, que é um inibidor comercial tradicionalmente usado em estruturas de concreto armado, muitas substâncias foram testadas como inibidores contra a corrosão da armadura de aço do concreto. Monofluorofosfato de sódio na presença de cloreto e na presença

de carbonatação, Alcanolaminas tais como dietanolamina, dimetilpropanolamina, monoetanolamina, imetiletanolamina, metildietanolamina e trietanolamina.

Os inibidores anódicos, atuam reprimindo reações anódicas, ou seja, retardam ou impedem a reação do anodo. Funcionam geralmente, reagindo com o produto de corrosão inicialmente formado, gerando um filme aderente e extremamente insolúvel na superfície do metal, causando polarização anódica. Substâncias como hidróxidos, carbonatos, silicatos, boratos e fosfatos terciários de metais alcalinos são exemplos de inibidores anódicos. (FREIRE, 2005).

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do referido artigo, foi realizado uma revisão integrativa da literatura ou revisão bibliográfica, pois permite o embasamento teórico e a recuperação dos resultados de publicações que tragam luz a pergunta de pesquisa. A análise de artigos indexados em diversas bases de dados nacionais e internacionais pode indicar as evidências necessárias para a prática, além de ser um instrumento capaz de unificar vários autores que promoveram a contextualização sobre um mesmo tema.

A revisão bibliográfica foi realizada em seis etapas: (1) definição dos descritores; patologia; concreto armado; engenharia (2) estratégia de busca; (3) seleção da amostra com busca em bases de dados eletrônicas; (4) categorização dos estudos; (5) análise dos resultados E (6) a síntese do conhecimento.

Os critérios de inclusão serão os artigos com texto completo disponível nas bases de dados e que estejam relacionados a pergunta de pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos através desta revisão bibliográfica apontam a importância do aprimoramento de profissionais de engenharia, voltados para a investigação das falhas e avarias, que além de causarem acidentes de natureza grave, como desabamento, também acarretam a depreciação do patrimônio e

altos custos de recuperação. Uma vez diagnosticado a origem da manifestação patológica, deverão ser elaborados especificações e procedimentos de recuperação ou projetos específicos para o reforço estrutural.

A compreensão e a disseminação das práticas construtivas apropriadas não acompanharam o crescimento da atividade de construção ocasionando erros nas obras, e diminuindo a capacidade do concreto em preservar as armaduras contra a corrosão. Aguiar (2006)

As manifestações em estruturas de concreto armado envolvem alto risco de acidentes com danos materiais, pessoais e ambientais; prejuízos a confiabilidade das unidades de processo, no caso de indústrias; dificuldade de identificação das prioridades de intervenção; e altos custos de manutenção e baixa efetividade em comparação à manutenção preventiva. (CORREA, 2013). Além disso, a resistência e durabilidade são algumas das principais características do concreto armado, porém, a deterioração dele ocorre muitas vezes como resultado de uma combinação de diferentes fatores externos e internos. Há também o agravante de erros de projeto, má execução e conservação que contribuem para a degradação prematura, ou seja, a estrutura não atinge o tempo de vida útil para que foi projetada. Silva (2006)

Com isso, o correto dimensionamento, a execução realizada com todos os controles de qualidade, o uso correto da estrutura e a sua manutenção periódica, são as condições ideais para prolongar sua vida útil. Porém, se houver alguma falha em alguma dessas etapas e decorrer então algum processo de degradação da estrutura, deve-se então proceder a sua recuperação ou seu reforço. (SILVA, 2006).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, conclui-se que a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado é um dos principais fatores de redução de sua vida útil devido à interação do concreto com o meio ambiente. Tal problemática acontece quando as condições de proteção proporcionadas pelo cobrimento desse concreto são insuficientes. Para ampliar a vida útil, além de precauções adequadas com relação à qualidade do concreto são utilizados alguns aditivos que têm a função

de impedir ou reduzir a corrosão das armaduras. Além disso, a corrosão do concreto provoca não somente a sua deterioração, mas também pode afetar a estabilidade e a durabilidade das estruturas. A corrosão nas armaduras pode ser acelerada por uma série de outros fatores intrínsecos – espessura do recobrimento, permeabilidade do concreto, resistividade elétrica, tipo de cimento, areia e brita utilizada – os quais tem importante papel na velocidade da corrosão, incluindo o ambiente onde a estrutura se encontra inserida. Tanto pela gravidade do problema, quanto pela frequência de ocorrência de corrosão da armadura, evidencia-se a necessidade de buscar soluções que contribuam para minimizar a incidência e evolução do processo corrosivo nas estruturas de concreto. Com isso, ressalta-se a importância do Engenheiro Civil desde o projeto, passando pelas manutenções preventivas, até destacando possíveis causas de danos em armaduras de concreto armado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, José Eduardo. **“Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis.”** Dissertação ao Programa de Pós-graduação. Escola de Engenharia UFMG – Belo Horizonte; 15 de Dezembro de 2006.

AMORIM, Anderson Anacleto. **“Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes”**. Universidade Federal de Minas Gerais – Curso de Especialização em Construção Civil. Belo Horizonte, Janeiro de 2010.

ARAÚJO, Adriana ; et al; **“Monitoramento da corrosão em estruturas de concreto: sensor galvânico”**. Revista Techne; Maio de 2013.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **“Fundamentos do concreto armado”**. UNESP, Bauru/SP – Estruturas de Concreto I. Disponível em: www.feb.unesp.br/pbastos ; Bauru SP, Abril de 2019.

CORREA, Marcelo Inocência Ferreira. **“Implantação de programas de manutenção preventiva e corretiva em estruturas de concreto armado.”** IX International Congress on Pathology and Repair of Structures – João Pessoa PB; 2 a 5 de Junho de 2013. (CORREA, 2013).

DA SILVA, Djalma Ribeiro. **“Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade”**. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part), UFRN, Natal, 01 de Março de 2007. (DA SILVA, 2007)

FREIRE, Karla Regina Rattmann. **“Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto.”** Dissertação; Curitiba; 15 de Fevereiro de 2005. (FREIRE, 2005).

GENTIL, V. **Corrosão**. 3a Ed., Rio de Janeiro, LTC, 1996.

HELENE, P.R.L. **“Corrosão em armaduras para concreto armado”** 1a Ed., São Paulo, PINI, 1986.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **“Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado”**. Universidade de São Paulo Escola Politécnica. São Paulo, Fevereiro de 1993.

JUNIOR, Ronaldo Alves de Medeiros; LIMA, Maryangela Geimba; BALESTRA, Carlos Eduardo Tino. **“Identificação das principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado pertencentes ao DCTA.”** IX International Congress on Pathology and Repair of Structures – João Pessoa PB; 2 a 5 de junho de 2013. (JUNIOR et al, 2013).

KIHARA, Yushiro; CENTURIONE, Sérgio Luiz. **O Cimento Portland**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon. V1. Cap. 10, p. 295-321, 2005.

MOLIN, Denise Carpena Coitinho Dal. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, V1. Cap. 12, p. 346-373, 2005.

NETO, Cláudio Sbrighi. **Agregados para Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon. V1. Cap. 11, p. 323-326, 2005

PANOSSIAN, Z. et al. **“Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas.”** Volume 1, 1a ed. São Paulo, IPT, 1993.

SILVA, Erick Almeida. **“Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.”** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Anhembí Morumbi – São Paulo; 2006.

VIEIRA, Daniel Venâncio; PELISSER, Fernando; PAULA, Marcos Marques da Silva; MOHAMAD, Gihad; NÓBREGA, Ana Cecília Vieira; **“Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado.”** UFRN, Revista Matéria, v. 15, n. 3, pp. 431 – 444; 2010. (VIEIRA et al, 2010).

VITÓRIO, Afonso. **“Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia.”** Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia – Recife; Novembro de 2003. (VITÓRIO, 2003).

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar.** São Paulo: Pini. p. 256; 2007

**FACULDADE GALILEU**

Reconhecimento Portaria nº 422 de 29/04/2015 Publicado DOU 29/04/2015
Avenida Marginal 200, nº 680 - Vila Real - Botucatu/ SP
Telefone: (14) 3354-1315 - www.faculdadegalileu.com.br

CARTA DE AUTORIZAÇÃO PARA DEFESA

Venho por meio desta, na qualidade de orientador e professor,
autorizar a entrega do relatório de TCC do estudante:

SILVIO DE FREITAS JUNIOR

Título

**"A CORROSÃO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE SUAS
CARACTERÍSTICAS, CAUSAS, EFEITOS E AÇÕES DE CORREÇÃO"**

Declaro estar ciente do conteúdo deste, bem como autorizar sua
apresentação para defesa, entretanto, registro minha oposição a
qualquer tipo de publicação do referido material ou trechos deste
em revistas, jornais, congressos, entre outros anais da comunidade
científica.

Botucatu, 30 de julho de 2020.

Sem mais,

Douglas Ricardo Fumes