



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC**  
**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**THAINÁ PESSATA DE SOUZA**

**CORROSÃO DO AÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

**UBÁ**  
**2017**

**THAINÁ PESSATA DE SOUZA**

**CORROSÃO DO AÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dr. Érika Maria Carvalho Silva Gravina

**UBÁ**  
**2017**

## **AGRADECIMENTO**

Em primeiro lugar, agradeço ao Dono do Universo e Mestre da Vida: Deus, Senhor e consumidor da minha fé motivadora.

Aos meus amados pais, João e Rosemere, os quais sempre me incentivaram em todos os obstáculos. Pelo amor, carinho, cuidado, paciência e investimento em minha educação ao longo de toda minha vida. Essa conquista é um belo resultado do esforço não só meu, mas também de vocês. Aos queridos irmãos, Euller e Beatriz, por sempre estarem presente em minha vida em todos os momentos.

Em especial ao meu amor, meu noivo e futuro esposo, Elias, pelo apoio em todos os momentos, pelo companheirismo, e, principalmente, por entrar na minha vida de forma inusitada e torná-la tão maravilhosa.

Aos meus queridos amigos de classe, Tainara, Bruno, Moisés e Pedro por me ajudarem nessa longa jornada de 5 anos, pela amizade de vocês, a qual creio que persistirá por longos anos.

À minha querida professora e orientadora Érika, pela paciência, comprometimento e extrema competência, a qual acrescentou muito em minha formação acadêmica. A todos os professores que compartilharam de alguma forma a experiência e o conhecimento ao longo desta jornada.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

## RESUMO

Atualmente, observa-se inúmeras estruturas com problemas patológicos, e muitos deles estão relacionados à corrosão das armaduras. O presente trabalho objetiva conhecer melhor as causas do processo de corrosão do aço no concreto armado, incluindo como ocorrem essas reações químicas, além de mostrar medidas preventivas para evitar essa patologia e propor alternativas para amenizar e/ou reparar os danos quando a mesma já tiver ocorrido. As causas de corrosão estão, em geral, relacionadas de alguma forma com patologias no concreto, devido a cura incorreta, cobrimento insuficiente e relação água/cimento incorreta. Para prevenção é aconselhado seguir os valores determinados por normas, além de existirem alguns métodos de proteção para evitar ou amenizar esses danos: proteção catódica, inibidores de corrosão, isolamento da armadura. Também ressaltou-se a sintomatologia de acordo com cada tipo de corrosão, as quais podem ser divididas em generalizada ou localizada. Por fim, observou-se que a maioria das causas estão relacionadas aos erros humanos, ao não cumprimento das exigências de normas, sendo que obedecer a esses critérios é a forma mais eficaz de evitar o processo corrosivo do aço, além da necessidade de maiores estudos nessa área buscando meios de reparo mais econômicos e eficazes.

**Palavras-chave:** Patologia. Armadura. Engenharia.

## **ABSTRACT**

Currently, numerous structures with pathological problems are observed, and many of them are related to the corrosion of the reinforcement. What is a work that is better known as a process of corrosion of steel in reinforced concrete, including how these chemical reactions occur, besides showing preventive measures to avoid this pathology and propose alternatives to ameliorate and / or repair damages when the same already had observed. As causes of corrosion, in general, somehow related to pathologies in concrete, due to incorrect curing, insufficient coating and incorrect water / cement ratio. For prevention and treatment, check the protection methods to avoid or minimize these damages: cathodic protection, corrosion inhibitors, insulation of the armature. In addition, it is necessary to replace any type of corrosion, as it can be divided into generalized or localized. Finally, it is observed that most of the causes are related to human errors, it is not a fulfillment of the requirements of standards, and complying with these criteria is a more effective way of avoiding the corrosion process of the steel, besides the necessity of studies in this area seeking more economical and effective means of repair.

**Keywords:** Pathology. Armor. Engineering.

## 1 INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, considerou-se que o concreto era um material muito resistente e praticamente inerte. Porém, a partir do século XX, talvez pelo fato de existir uma maior demanda e conseqüentemente maior decorrência de erros humanos, começaram a surgir diversas patologias com grande incidência e intensidade, sempre acompanhadas de elevados custos de recuperação.

O termo patologia deriva do grego "*pathos*" que significa doença, sofrimento e "*logia*", ciência ou estudo, portanto trata-se do ramo que estuda as doenças e suas causas. No caso da construção civil, conhecida como "Patologias das Edificações", estuda as manifestações anômalas que podem vir a ocorrer em uma construção. Contudo, existe uma patologia que merece uma atenção especial de projetistas e construtores: a corrosão do aço no concreto armado.

A corrosão é caracterizada como um desgaste gradual de um corpo que sofre transformação química e/ou física, proveniente de uma interação com o meio ambiente. No caso do aço, essa corrosão é causada por uma reação química ou eletroquímica do metal com o seu ambiente circundante. O agente de corrosão é em geral líquido, mas também pode ser gasoso ou sólido. No concreto armado, a corrosão é considerada preponderantemente de natureza eletroquímica e ocorre em meio aquoso e necessita de uma diferença de potencial, oxigênio, um eletrólito e agentes agressivos. Esse tipo de patologia pode comprometer o aspecto estético da estrutura, mas na maioria das vezes afeta diretamente a capacidade resistente, podendo limitar a utilização ou até levar ao colapso total da construção.

Atualmente patologias em edificações é um tema comum e a tendência é de que esse assunto cada vez mais seja debatido, uma vez que erros, aparentemente pequenos, podem causar um grande problema futuramente. Assim como a corrosão do aço no concreto armado que pode ser julgado por muitos como um pequeno detalhe e em algumas situações pode levar a um comprometimento da estrutura em seu estado de utilização. Com isso, conclui-se a extrema importância de um estudo aprofundado desse assunto, evitando possíveis danos futuros indesejados.

Dessa forma, objetiva-se conhecer melhor as causas do processo de corrosão do aço no concreto armado, incluindo como ocorrem essas reações químicas, além de mostrar medidas preventivas para evitar essa patologia e propor alternativas para amenizar e/ou reparar os danos quando a mesma já tiver ocorrido.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 A estrutura de concreto armado

De acordo com Bastos (2006, p.1) "os primeiros materiais a serem empregados nas construções foram a pedra natural e a madeira, sendo o ferro e o aço empregados séculos depois." O concreto armado surgiu por volta de 1850, é utilizado até os dias de hoje, atende de forma satisfatória as necessidades estruturais.

Uma das grandes preocupações atualmente é com a durabilidade do concreto, material esse que tem seu uso cada vez mais difundido em todo o mundo. O concreto é constituído basicamente de cimento Portland; agregado graúdo (pedra ou brita), agregado miúdo (areia), água e aditivos químicos quem têm a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas.

Além disso, o concreto é caracterizado por sua alta capacidade de resistência à compressão, mas possui baixa resistência à tração e, por conta desse fator, necessita do aço, o qual possui elevada resistência à tração. Dessa forma, compõe-se o concreto armado, que se baseia na junção do aço e do concreto, formando, enfim, uma estrutura resistente simultaneamente aos esforços de tração e compressão.

No entanto, como ressalta Bastos (2006) quando se fala de concreto armado ainda deve-se considerar o conceito de aderência, que é essencial e deve existir entre o concreto e a armadura obrigatoriamente, uma vez que não é suficiente apenas a junção entre aço e concreto para a formação de concreto armado. Para que exista realmente o concreto armado deve haver uma real solidariedade entre aço e concreto, para que o trabalho seja realizado de forma conjunta; resumidamente, "a união do concreto simples e de um material resistente à tração (envolvido pelo concreto) de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes." (BASTOS, 2006, p.7).

As barras de aço incorporadas à peça de concreto são denominadas armadura passiva quando seu objetivo é apenas resistir às tensões provenientes das ações atuantes, sem introduzir nenhum esforço adicional à peça. Ou seja, as armaduras em peças de concreto armado só trabalham se houver solicitação. Por exemplo, enquanto uma viga estiver escorada e, portanto, sem atuação de cargas externas, as barras de aço não sofrem tensão, a menos daquelas originadas pelo processo de endurecimento do concreto. (CLÍMACO, 2008, p.36).

Conforme Santos (2015) o concreto possui uma dupla proteção ao aço. Primeiramente é uma proteção física que impede o contato direto com o meio externo e, em segundo, uma proteção química devido ao elevado pH do concreto que proporciona a formação de uma película que envolve o aço. Esse fator de proteção é de importante, visto que a deterioração de inúmeras obras devido à corrosão da armadura é um dos principais problemas associados à durabilidade do concreto. Levando em consideração a grande frequência com que esses eventos ocorrem, torna-se evidente a necessidade de buscar meios alternativos para minimizar a incidência e evolução desses processos corrosivos.

## 2.2 O processo de corrosão

Entende-se como corrosão a destruição gradativa de metais. Existem três tipos de corrosão: química, eletroquímica e eletrolítica. Esses processos podem ocorrer em metais, no concreto ou em polímeros orgânicos. Porém, ao longo desse trabalho, será dada mais ênfase na corrosão eletroquímica, a qual é o tipo de corrosão mais comum no aço (ANDRADE, 2001).

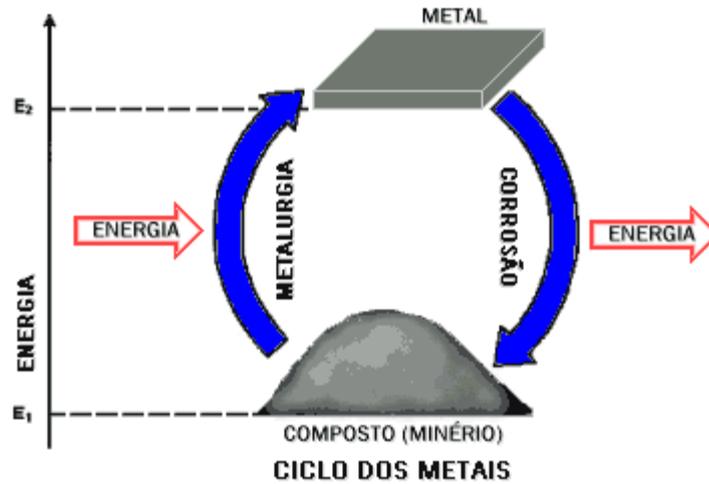
A corrosão eletroquímica é o tipo de corrosão que acontece com maior frequência na natureza e necessita de alguns fatores para que ocorra. Dentre esses fatores destaca-se: a presença de água no estado líquido, temperatura abaixo do ponto de orvalho da água, o qual designa a temperatura na qual o vapor de água presente no ar ambiente passa ao estado líquido na forma de pequenas gotas por via da condensação da água, sendo a grande maioria na temperatura ambiente; formação de uma pilha ou célula de corrosão, com a circulação de elétrons na superfície metálica. Por conta da necessidade de que esse processo ocorra na presença de água, também chama-se a corrosão eletroquímica de corrosão em meio aquoso (GENTIL, 1996).

De acordo com a Associação Brasileira de Corrosão- ABRACO (2015)<sup>1</sup>, durante o processo de corrosão os metais reagem com substâncias não metálicas, como, por exemplo, o oxigênio, o enxofre, o gás carbônico entre outras, produzindo, assim, substâncias semelhantes as encontradas na natureza, da qual foram extraídas. Dessa forma considera-se que a corrosão é correspondente ao inverso do processo metalúrgico. (FIG. 1)

---

<sup>1</sup> <http://www.abraco.org.br/>

Figura 1: Comparação entre o processo metalúrgico e o processo corrosivo



Fonte: ABRACO<sup>2</sup>

Como foi citado anteriormente, para que ocorra uma reação eletroquímica é necessário a presença de uma pilha ou célula de corrosão eletroquímica.

Segundo a Universidade Estadual de São Paulo (2012)<sup>3</sup> essa pilha é constituída de quatro elementos fundamentais. São eles:

- área anódica: é a região onde ocorrem as reações de oxidação, conseqüentemente é a superfície na qual a corrosão ocorre.
- área catódica: é a região onde ocorrem reações de redução, assim a superfície torna-se protegida e não há corrosão.
- eletrólito: solução condutora ou condutor iônico que envolve simultaneamente as áreas anódicas e catódicas.
- ligação elétrica entre as regiões anódica e catódica.

Em qualquer átomo estável o número de prótons é igual ao de elétrons. Quando, por um motivo qualquer, os números forem diferentes, o sistema ficará eletricamente carregado. Isto caracteriza o íon (POLITO, 2006).

Sendo assim, os processos de oxidação e redução citados anteriormente são processos contrários e que ocorrem simultaneamente em uma reação química em que existe uma transferência de elétrons, como na pilha eletroquímica. A oxidação ocorre quando a substância química perde elétrons para outra, ficando com a carga mais positiva, ou seja, íon positivo ou cátion. Uma vez que a carga de elétrons é negativa e a de prótons é positiva, como houve transferência de elétrons, carga negativa, entende-se que a substância está com "excesso" de

<sup>2</sup> Disponível em: <<http://www.abraco.org.br/>>. Acesso em 10 out. 2017

<sup>3</sup> [https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46363/4/2ed\\_qui\\_m4d7.pdf](https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46363/4/2ed_qui_m4d7.pdf)

carga positiva, prótons. Por conta disso, que na área anódica ocorre a corrosão, considerando que a superfície se encontra desprotegida. Já o processo de redução, baseia-se no ganho de elétrons de uma espécie química, dessa forma ela recebe carga negativa, formando um íon negativo ou ânion tornando-se mais protegida e, então, evitando a corrosão. Resumidamente, pode-se dizer que o processo de oxidação é a perda de elétrons e o processo de redução é o ganho de elétrons, uma vez que esta é a única partícula do átomo que pode se mover livremente.

Assim sendo, de acordo com a Universidade Estadual de São Paulo (2014)<sup>4</sup> a área anódica é aquela onde o aço está sendo corroído, ou seja, é neste local que o aço está passando da forma que saiu da siderúrgica para a forma oxidada, tendendo a voltar ao aspecto que foi encontrado na natureza. A passagem de elétrons citada anteriormente ocorre da região anódica para a catódica. Nesta região catódica é onde ocorre a redução em que os elétrons que foram liberados na reação de oxidação são usados nas reações de redução.

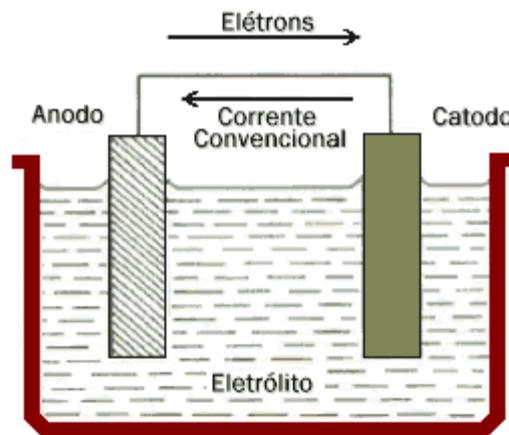
O eletrólito pode ser classificado como a água presente na natureza, a qual contém sais, ácidos ou bases. Pode-se citar, como exemplo de sais, o cloreto de sódio e são exemplos de ácidos, o enxofre, que naturalmente se transforma em ácido sulfúrico na presença de água e também o gás carbônico, que reage naturalmente com a água formando ácido carbônico.

A ligação elétrica entre as regiões pode ser chamada de um fio condutor, que possui a função de transportar os elétrons de uma região até a outra. E para que ocorra esse transporte de elétrons, ou seja, para que a pilha funcione corretamente, é necessário que exista uma diferença de potencial entre as regiões. Essa diferença de potencial, por sua vez, vai reduzindo à medida que a pilha for utilizada até que se torne zero e a pilha cesse seu funcionamento. (FIG. 2)

---

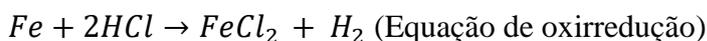
<sup>4</sup> [https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46363/4/2ed\\_qui\\_m4d7.pdf](https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46363/4/2ed_qui_m4d7.pdf)

Figura 2: Exemplo de uma pilha eletroquímica destacando os quatro elementos principais

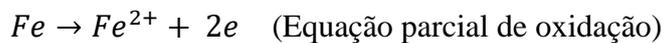


Fonte: ABRACO<sup>5</sup>

Posto isto, pode-se dizer que a corrosão dos metais também ocorre dessa maneira, através de reações de oxirredução na qual segundo Polito (2006, p.28) "os dois eventos são simultâneos, ou seja, sempre que ocorre a perda de elétrons (oxidação), também ocorre à redução (ganho de elétrons)." É válido, então exemplificar uma reação de oxirredução em que o ferro está sendo atacado pelo ácido clorídrico:



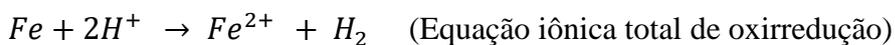
↓



↓



↓



"Neste processo existe o elemento redutor que é responsável pela redução do outro elemento e sofre oxidação, ou seja, perde elétrons; e existe o elemento oxidante que é o responsável pela oxidação do outro elemento e sofre redução, ou seja, recebe elétrons." (Polito, 2006, p.28).

<sup>5</sup> Disponível em: <<http://www.abraco.org.br/>>. Acesso em 18 out. 2017

## 2.3 O processo de corrosão do aço no concreto armado

Como relata Cascudo e Helene (2001) um dos principais problemas no setor de Patologia das Construções é a corrosão de armaduras em estruturas de concreto. Atualmente, esse fato vem aumentando bastante e torna-se relevante a mobilização de segmentos da engenharia civil para tentar combater ou evitar esse fenômeno, que pode trazer muitos prejuízos para a sociedade de forma abrangente.

As armaduras existentes no concreto armado devem estar inicialmente protegidas pelo revestimento que é definido no projeto e é especificado pela norma brasileira NBR 6118 de acordo com a agressividade do meio. Esse forma uma barreira física aos fatores externos. Porém, a perda ou ineficiência desta proteção pode estimular e acelerar o processo de corrosão na estrutura. Esse processo corrosivo ocorre quando o concreto é permeável suficiente permitindo que os íons atinjam a armadura, os quais juntamente com a água e o oxigênio dão início a deterioração da estrutura (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).

Além dessa proteção física, o concreto também protege o aço com a chamada proteção química, em função do seu elevado pH, o qual, segundo Meira (2017, p.25) "contribui para a formação e estabilidade da capa passiva que protege a armadura de corrosão futura". A composição química dessa camada ainda é objeto de discussão entre estudiosos. O que se sabe é que "o filme passivo é formado a partir de uma rápida e extensa reação eletroquímica, que resulta na formação de uma fina camada de óxidos, transparente e aderente ao aço." (POURBAIX, 1987 *apud* MEIRA, 2017, p.25). Logo, essa película protege o aço da corrosão, já que impossibilita o acesso de agentes agressivos, oxigênio e umidade ao ferro e o concreto devido ao seu elevado pH, ou seja, sua alta alcalinidade preserva essa camada de passivação do aço.

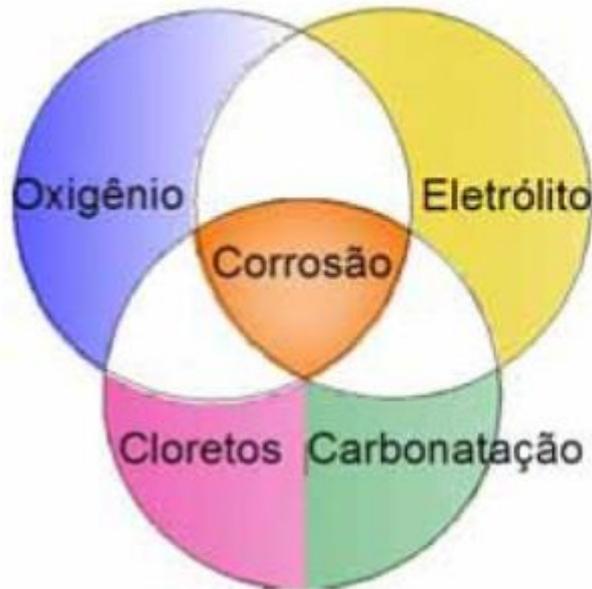
Sendo assim, caso alguma dessas características de proteção que o concreto proporciona ao aço seja danificada, ocorrerá algum tipo de corrosão no aço. E, segundo Molin (1988), determinadas circunstâncias, podem alterar esse quadro de proteção que o concreto fornece ao aço. Entre elas, pode-se destacar: carbonatação e ataque por íons cloretos

### 2.3.1 Fatores que interferem no processo de corrosão

O processo de corrosão do aço no concreto armado é um processo proveniente da ação de íons cloretos ou da carbonatação, como relata Torres (2011). Quando existem cloretos ou

carbono no ambiente e a presença de oxigênio e alguma substância funcionando como eletrólito, a corrosão é desencadeada. (FIG.3)

Figura 3: Condições para que ocorra corrosão



Fonte: Böhni (2005)

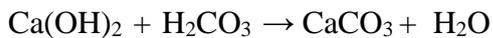
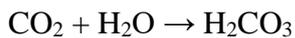
### 2.3.1.1 Carbonatação

Segundo Rocha (2015) se o pH da solução dos poros do concreto for em torno de 12,5 a 13,5, a película de passivação permanece estável e se mantém inalterada e o processo de corrosão não ocorre. Porém, caso esse pH deixe de ser tão alcalino e passe para níveis inferiores haverá danos para a armadura. Assim, denomina-se o fenômeno de carbonatação como sendo o processo químico de redução de pH do concreto para valores inferiores a 10.

De acordo com Figueiredo e Meira (2013) o concreto contém poros e nesses poros estão presentes água ( $H_2O$ ) e cal livre/ hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ) e a estabilidade da película passivadora está relacionada a esses componentes presentes nos poros do concreto. Inicialmente acreditava-se que essa alcalinidade se devia essencialmente a presença de hidróxido de cálcio, as quais resultavam das reações de hidratação do cimento. No entanto, com estudos mais avançados sobre o tema, verificou-se que também é necessária a presença de outros componentes como hidróxidos de sódio ( $NaOH$ ) e de potássio ( $KOH$ ), conferindo pHs da ordem de 13 a 14 à fase líquida do concreto. "O crescente uso de adições no cimento pode reduzir o pH na solução dos poros do concreto." (HAUSMANN, 1998 *apud* FIGUEIREDO; MEIRA,

2013, p.4), sem, contudo, prejudicar a camada passivadora do aço. Posto isto, pode-se dizer que a perda de estabilidade dessa camada é o que conduz o ferro ao processo de corrosão.

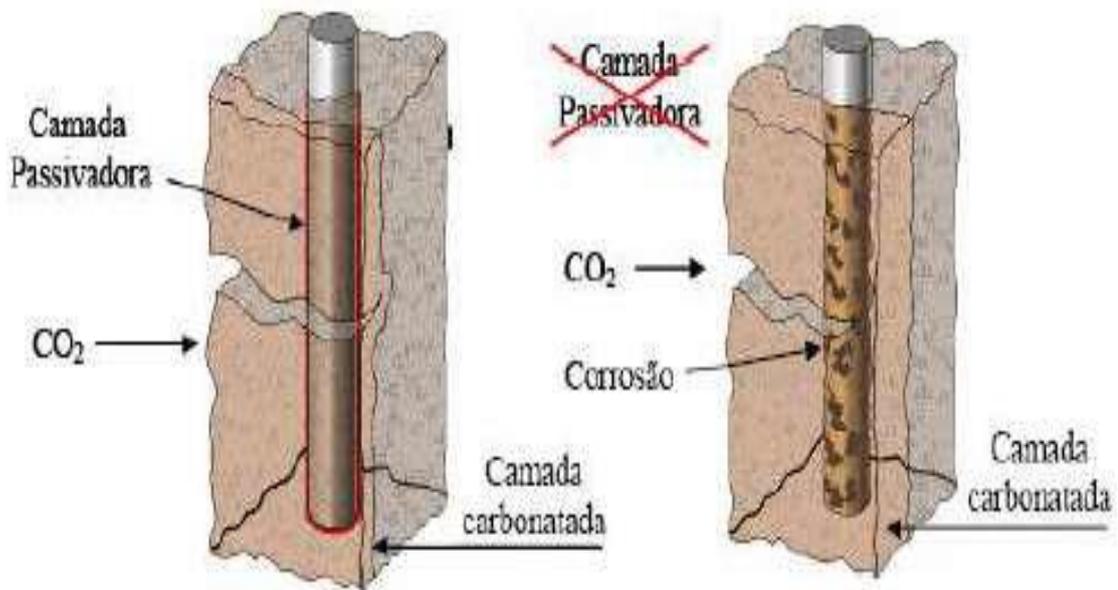
Como relata a Revista Corrosão e Proteção (2015) um composto essencial para vida no planeta é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), uma vez que faz parte da realização da fotossíntese. A concentração do  $\text{CO}_2$  na atmosfera aumentou no final do século XVIII com a revolução industrial quando grandes quantidades de carvão mineral e petróleo passaram a ser utilizados como fontes de energia. Essa grande concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera é o principal fator causador da carbonatação da armadura de aço no concreto armado. Esse  $\text{CO}_2$  presente na atmosfera penetra os poros do concreto e, quando encontra as moléculas de água presentes na estrutura, forma o ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), esse reage com o hidróxido de cálcio, também presente na estrutura de concreto armado ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), gerando, dessa forma, carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e água.



O carbonato de cálcio, por sua vez, não deteriora o concreto, porém, durante a sua formação, consome os componentes alcalinos do cimento e reduz o pH, conduzindo-os para níveis próximos de 8. Com essa redução há um comprometimento da camada passivadora e o metal sai da zona de passivação e entra na zona de corrosão (FIGUEIREDO; MEIRA, 2013).

Para Poggiali (2009) o processo de carbonatação inicia-se na superfície do concreto formando uma camada de carbonatação separando duas zonas diferentes de pH, uma com valores na faixa de 12 e outra com valores na faixa de 8. Essa camada se avança progressivamente para o interior do material e, ao atingir a armadura, desestabiliza o filme passivador, promovendo a despassivação, o que propicia um processo de corrosão generalizada. Esse processo pode ser melhor observado na FIG.4 a seguir:

Figura 4: Representação do avanço da carbonatação



Fonte: Tula (2000) *apud* Bazan (2014)

### 2.3.1.2 Ataque por íons cloretos

Segundo a Revista Corrosão e Proteção (2015) a carbonatação pode ocorrer no concreto exposto em qualquer meio externo, tipo de atmosfera. Já a corrosão por íons cloretos ocorre, em sua maioria, por meio da exposição da névoa salina ou, diretamente, à água do mar e seus respingos ou maresia.

Para Rocha (2015) quando os íons penetram o cobrimento do concreto, despassivando a armadura embutida no concreto, e quando a concentração desses íons na superfície do aço atinge níveis críticos, o processo de corrosão é desencadeado. Esse processo, devido ao ingresso dos cloretos, caracteriza-se por ser um dos mais intensos e graves que podem ocorrer nas estruturas de concreto armado, uma vez que podem provocar sérias degenerações e, portanto, reduzir a vida útil de serviço da estrutura.

Denomina-se "teor crítico de cloretos", aos presentes no concreto, junto às armaduras, que são capazes de desencadear o processo corrosivo. Não existe um consenso na comunidade científica mundial sobre o teor exato de cloreto que pode provocar a despassivação da armadura, iniciando o fenômeno de corrosão (CASCUDO, 2005 *apud* ROCHA, 2015).

A diferença entre a carbonatação e a corrosão por íons cloretos é que a carbonatação age apenas no concreto, reduzindo o pH do mesmo e assim possibilitando o processo de corrosão. Já o ataque por íons cloretos atua no concreto e no aço, sendo que no concreto ele abaixa o

valor de pH e destrói a camada passivadora, uma vez que o íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) reage com a água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e se transforma em ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ), reduz o pH do concreto. No aço, o íon cloreto ( $2\text{Cl}^-$ ) reage com o íon ferro ( $\text{Fe}^{++}$ ) formando o cloreto férrico ( $\text{FeCl}_2$ ), que reage com a hidroxila ( $2\text{OH}^-$ ) formando hidróxido de ferro ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ) e íon cloreto ( $2\text{Cl}^-$ ). Esse íon cloreto resultante dessa última reação faz com que esse processo se torne um ciclo, posto que ele reage novamente com o íon ferro repetindo o processo, o que desencadeia uma corrosão localizada no aço (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).



### 2.3.2 Corrosão eletroquímica do aço no concreto armado

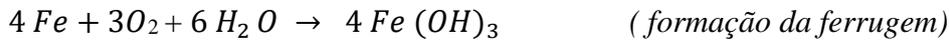
Uma vez afetada a proteção do aço fornecida pelo concreto, inicia-se o processo de corrosão e, como foi citado anteriormente, para que ocorra a corrosão eletroquímica, é necessário que existam alguns fatores, um eletrólito, uma diferença de potencial, oxigênio e podem existir ou não agentes agressivos. De acordo com Helene (1986), na formação de qualquer pilha eletroquímica há a área anódica, área catódica, um condutor metálico e um eletrólito. Qualquer diferença de potencial entre as zonas anódicas e catódicas acarretará o surgimento de uma corrente elétrica, sendo assim, de acordo com a significância dessa corrente e do acesso de oxigênio, poderá ou não ocorrer corrosão.

- O eletrólito: a água que sempre está presente no concreto, e geralmente em quantidades suficientes para atuar como eletrólito. Além disso, existem os produtos de hidratação do cimento como, por exemplo o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (hidróxido de cálcio), que é solúvel em água e também forma poros e capilares e constitui um bom eletrólito (HELENE, 1986).

- A diferença de potencial: quando o aço está submerso em uma solução, parte dos átomos de ferro tendem a passar para a solução, transformando-se em cátions ferro ( $\text{Fe}^{++}$ ), com carga elétrica positiva e a armadura fica, dessa forma, com carga negativa e então cria-se o que se conhece como potencial de equilíbrio ou reversível. Porém, esse fato isolado não é capaz de formar uma pilha ou célula de corrosão eletroquímica. É necessário que haja também a presença

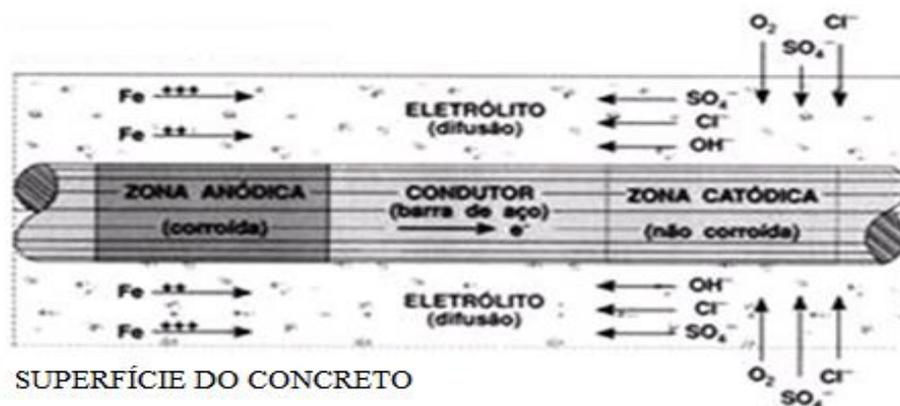
de reagentes capazes de sofrer redução, ou seja, capazes de combinar com o elétron liberado na reação de formação do íon ferroso. Sendo assim, pode-se dizer que qualquer diferença de potencial que se produza entre dois pontos da barra, seja por diferença de umidade, aeração, concentração alcalina ou tensão no concreto e no aço, falta de uniformidade na composição do aço, é capaz de formar uma célula de corrosão eletroquímica (HELENE,1986).

- Oxigênio: Segundo Helene (1986) é necessário que exista oxigênio para a formação da ferrugem, cientificamente conhecida como óxido ou hidróxido de ferro ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Também necessita do eletrólito, que pode ser representado pela umidade e o hidróxido de cálcio como demonstrado na seguinte equação:



- A existência de agentes agressivos: esses agentes aceleram o processo de corrosão. Eles podem estar contidos no concreto ou serem absorvidos por ele. Além disso, essas substâncias não possibilitam a formação ou quebram a película passivadora do aço e então agilizam o processo de corrosão. São exemplos de agentes corrosivos: íons sulfetos ( $\text{S}^{2-}$ ), os íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), os quais já foram relatados de acordo com a interferência de cada um. A penetração desses íons é tão maior quanto maior for a porosidade e permeabilidade do concreto (HELENE,1986). (FIG. 5)

Figura 5: Processo de corrosão eletroquímica do aço no concreto armado



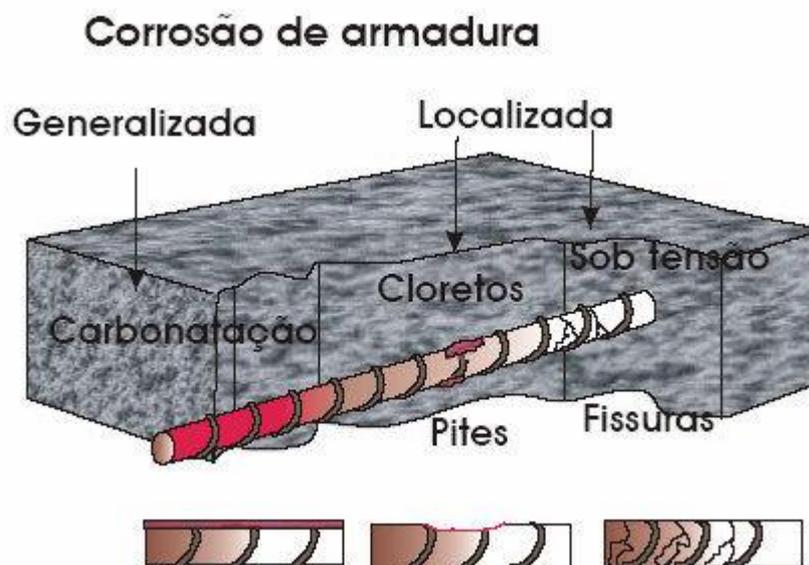
Fonte: Helene, 1986

### 2.3.3 Sintomatologia e tipos de corrosão

Segundo Figueiredo e Meira (2013), quanto à morfologia, a corrosão pode ser classificada em dois tipos: generalizada e localizada. Na corrosão generalizada a deterioração ocorre de forma mais uniforme e se entende por área maiores no metal. Já na corrosão localizada, o desgaste acontece numa superfície delimitada, e, normalmente, tende a se aprofundar de forma mais rápida que a corrosão generalizada.

A corrosão generalizada é ocasionada pela carbonatação já a localizada se divide em dois tipos: corrosão por pite ou puntiforme e corrosão sob tensão fraturante. Na corrosão por pite são formados pontos de desgastes definidos na superfície do metal, os quais progridem podendo causar o rompimento pontual da barra. São causadas pela corrosão por íons cloretos. A corrosão sob tensão fraturante ocorre, simultaneamente, com uma tensão de tração na armadura (CASCUDO, 1997 *apud* SANTOS, 2012). Esses tipos de corrosão estão ilustrados na FIG.6:

Figura 6: Tipos de corrosão e fatores que provocam



Fonte: Cascudo (1997) *apud* Polito (2006)

Em estruturas de concreto armado, as formas mais comuns de corrosão são a corrosão generalizada, causada pela carbonatação que atua desencadeando a corrosão ao longo de uma vasta superfície do metal e a corrosão por pites ou puntiforme, causada pelos íons cloreto, com ação localizada em uma determinada região. A corrosão sob tensão não é muito comum em estruturas de concreto armado. Este tipo ocorre com mais frequência em estruturas protendidas,

nas quais a associação de reações eletroquímicas com as mecânicas propicia o aparecimento de fissuras no metal (corrosão com fissuração) (FIGUEIREDO; MEIRA, 2013).

## **2.4 Causas e prevenção do processo de corrosão**

De acordo com Freire (2005), vários fatores podem influenciar o processo de corrosão. Destacam-se os seguintes fatores: mecânicos, físicos (variações de temperatura) e químicos.

### *2.4.1 Concreto*

Exerce uma proteção mecânica sobre a armadura, protegendo essa estrutura da corrosão com o devido revestimento. Além disso, ainda possui outras características que agem diretamente na ocorrência da corrosão das armaduras. São elas: permeabilidade, a qual está relacionada à granulometria dos agregados, tipo de cimento e à relação água/cimento, pH, que protege a camada passivadora do aço (TORRES, 2011).

As variadas proteções proporcionadas pelo concreto ao aço, sejam elas física ou química só são efetivas quando o concreto é bem executado com valores preconizados por norma (HELENE, 1986). Sendo assim, vê-se a importância de uma boa concretagem visando sempre evitar as falhas, principalmente os nichos, os quais de acordo com Santos (2014), são vazios deixados no concreto, causados pela dificuldade de penetração do mesmo nas formas durante o processo de lançamento e adensamento. Aliás, ainda vale ressaltar que

(...) Um bom revestimento das armaduras, com concreto de alta compactação, sem vazios e com um perfeito equilíbrio entre seus elementos e homogeneidade 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. (Helene, 1986, p.4).

Esses agentes agressivos citados anteriormente estão relacionados à classe de agressividade do meio, que exige outra função importante do revestimento, a proteção química. Em ambientes altamente alcalinos, o revestimento possui a função de proteger o filme passivador do aço contra esses agentes provocadores de corrosão. Esse valor de revestimento é determinado pela norma brasileira NBR 6118 (TAB. 1) que relaciona a classe de agressividade ambiental e o revestimento necessário para cada elemento: laje, viga ou pilar (ALMEIDA, 2012).

Tabela 1: Relação entre cobrimento necessário e classe de agressividade do meio

Tipos de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/ Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55

<sup>1)</sup> Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

<sup>2)</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela pode, ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$ mm.

<sup>3)</sup> Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações e tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas e efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$ mm.

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014 adaptada pelo autor

Sendo assim, observa-se a importância de uma boa execução do concreto para que o mesmo possa cumprir com as exigências de proteção ao aço. Caso o mesmo não seja realizado de acordo com o prescrito, alguns danos aparecerão no concreto, como nichos ou ninhos, permeabilidade, cobrimento insuficiente, entre outros. E esses fatores poderão desencadear o processo corrosivo deteriorando a estrutura e então, podendo até comprometer a utilização da mesma.

#### 2.4.2 Temperatura

A temperatura é um fator de importante influência quando o assunto é corrosão. Caso a temperatura aumente, ocorre um aumento na velocidade de corrosão, influenciando a penetração dos íons cloretos. No entanto, a diminuição da temperatura pode acarretar a condensação no interior do concreto, o que aumenta a umidade dos poros e então facilita o acesso dos íons (CASCUDO, 1997 *apud* ALMEIDA, 2012). Por conta da corrosão acontecer mais rapidamente em temperaturas maiores, conclui-se o porquê que existem muito mais concretos corroídos em regiões litorâneas quentes do que em regiões de temperaturas mais amenas. Já em ambientes secos, a vida útil de uma estrutura tende a aumentar, devido a esses ambientes não apresentarem características para o surgimento dos eletrólitos, o que impossibilita o surgimento das células eletroquímicas, dificultando o processo de corrosão.

### 2.4.3 Fissuras

As fissuras no concreto podem ser causadas por vários fatores e nessa região fissurada a carbonatação e agentes agressivos tendem a penetrar mais facilmente até atingirem a armadura, assim iniciando o processo de corrosão principalmente se o meio for agressivo. Uma vez fissurado o concreto e iniciado o processo de corrosão, novas fissuras podem aparecer devido a esse processo (MOLIN, 1988). "A velocidade em que a corrosão se desenvolve depende da abertura da fissura, da qualidade do concreto e da relação área catódica/anódica." (TORRES, 2011, p.19). Algumas das causas de fissuração são: cura realizada incorretamente, o movimento de dilatação e retração do concreto devido a inadequada relação água/cimento, faltas de juntas de dilatação, fissuras devido ao alto calor de hidratação do cimento entre outras. Portanto, evitar essas situações minimizaria a ocorrência de trincas e fissuras do concreto.

### 2.4.4 Relação água/cimento

Essa relação é de importante relevância no concreto, uma vez que define as propriedades de compacidade ou porosidade. Diz-se que quanto menor a relação a/c, menos poroso é o concreto e menor a probabilidade dele ser atacado por agentes corrosivos.

A relação água/cimento, é um dos principais fatores que pode levar a armadura do concreto à corrosão, sua relação pode fazer com que o concreto apresente características como porosidade, capacidade de absorção e permeabilidade favorecendo a penetração de agentes agressivos ao aço. (ALMEIDA, 2012).

Para evitar erros na relação água/cimento é necessário seguir corretamente a indicação (TAB.2) que define qual a relação deve ser usada de acordo com a classe de agressividade e tipo de concreto utilizado. No caso do referido estudo, deve-se observar a sigla CA, concreto armado, e não CP, correspondente a concreto protendido.

Tabela 2: Correspondência da classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
NOTAS: 1. O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos pela NBR 12655. 2. CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. 3. CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014 adaptada pelo autor

#### 2.4.5 Agentes ambientais

Para Andrade (2001), o meio ambiente em locais de clima tropical marítimo pode apresentar grandes variações de valores de umidade, direção do vento, temperatura, períodos de chuvas/secas e, quando uma estrutura de concreto é estabelecida nesses locais, os íons cloretos podem penetrar facilmente a estrutura, iniciando o processo de corrosão. Essa situação pode se agravar na presença da névoa salina intensa e contínua e com umidade relativa elevada. Com isso a penetração dos íons pode ser bem maior que numa atmosfera normal. Para evitar a corrosão nesses ambientes, deve-se consultar a norma NBR 6118 de classe de agressividade (TAB.3) e então observar a relação da classe de agressividade com o cobrimento necessário definido na TAB.1, evitando danos de corrosão devido a hostilidade do meio.

Tabela 3: Relação da classe de agressividade e cobertura

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1),2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

NOTAS: 1) Pode-se admitir um micro-clima com classe de agressividade um nível mais branda para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).  
2) Pode-se admitir uma classe de agressividade um nível mais branda em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.  
3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014 adaptada pelo autor

## 2.5 Outros métodos de controle da corrosão

Além de realizar um bom projeto com o objetivo de evitar a corrosão, ainda existem métodos para inibir ou amenizar o processo corrosivo. Dentre eles, de acordo com Freire (2005), pode-se citar:

### 2.5.1 Proteção catódica

A proteção catódica é um dos principais métodos de prevenção de corrosão utilizados hoje em dia. É dividida em dois processos: proteção por ânodo de sacrifício ou proteção por corrente impressa. Basicamente, na proteção por ânodo de sacrifício é conectado ao metal que deseja-se proteger, no caso o aço, um "metal de sacrifício", que é mais facilmente corrosível, para atuar como ânodo. Esse metal de sacrifício então será corroído no lugar do aço. Já na proteção por corrente impressa, existe uma corrente de proteção que será fornecida por tensões

elétricas geradas por uma fonte externa, normalmente usa-se retificadores, o pólo positivo será conectado a um ânodo e o pólo negativo, na armadura e dessa forma é possível controlar a diferença de potencial entre eles. São métodos de proteção mais utilizados em navios e oleodutos (FREIRE, 2005).

#### *2.5.2 Isolamento da armadura*

O isolamento da armadura é feito com o uso de revestimentos com tintas anti-corrosivas e é o método mais comum e mais barato, porém, só é efetivo caso o revestimento esteja em perfeito estado. Caso seja danificado de alguma forma, o processo de corrosão pode acontecer. Utiliza-se em construção civil, de acordo com a Revista Corrosão e Proteção (2015), o processo tradicional de revestimento epóxico, o qual é obtido após uma pintura eletrostática do aço com uma tinta epóxi em pó e a peça é submetida ao aquecimento até o processo de fusão dessa tinta.

#### *2.5.3 Uso de inibidores de corrosão*

Um inibidor de corrosão é classificado, de acordo com Gentil (1996), como uma substância química ou uma mistura de substâncias que, quando adicionada(s), em teores ideais, reduz ou elimina a corrosão do aço sem prejudicar as propriedades do concreto. De acordo com Freire (2005) um exemplo de inibidor comercial e tradicionalmente usado é o nitrito de cálcio. São muito utilizados na construção civil.

#### *2.5.4 Uso de espaçadores*

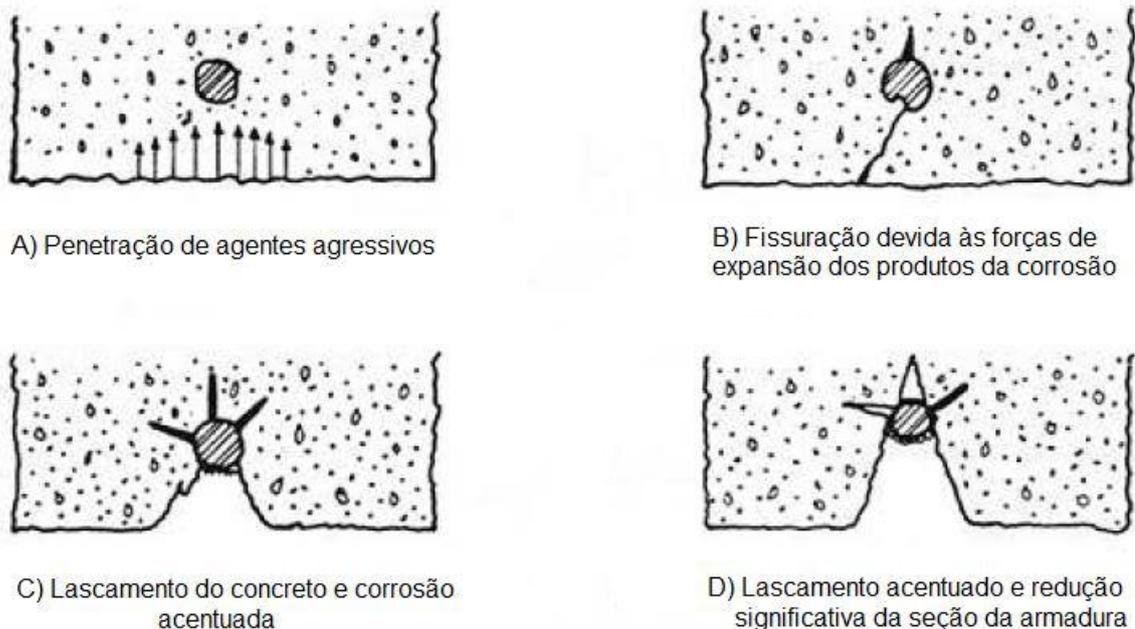
Os espaçadores podem ser de metal, plástico ou em argamassa e possuem a função de manter a posição em que a armadura foi colocada inicialmente e garantindo o cobrimento pelo concreto, evitando exposição e corrosão do aço (ROCHA, 2015).

### **2.6 Danos causados na estrutura devido ao processo de corrosão e técnicas de recuperação**

"A corrosão das armaduras no concreto armado causa trincas, deslocamento do concreto e perda de seção do aço na área afetada." (ROCHA, 2015, p.18).

De acordo com Alves (2012) quando a armadura sofre corrosão que ocorre de fora para dentro, ela aumenta de volume e é gerada uma tensão no interior da peça. E quando essa expansão supera a resistência à tração do concreto, começam a aparecer microfissuras, e dessa forma permite a entrada de agentes corrosivos que aceleram o processo já iniciado. E então essas microfissuras aumentam de tamanho, formando trincas, até atingirem o processo de deslocamento da camada de cobrimento do concreto. Esse deslocamento conduz a um processo de corrosão intenso e, conseqüentemente, redução da área da seção transversal do aço, portanto, há a diminuição da capacidade de carga, como relata Rocha (2015). Esse fenômeno pode ser melhor entendido na FIG. 7.

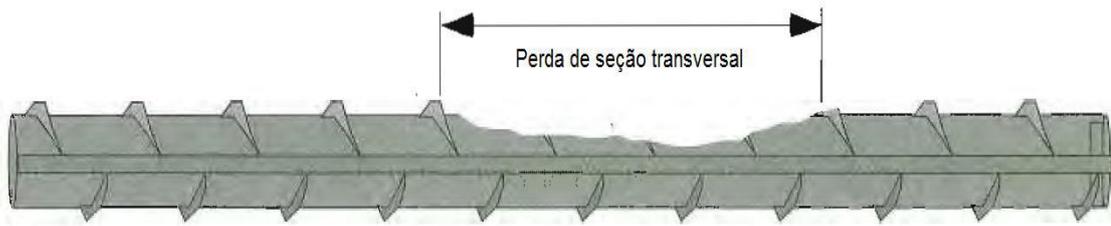
Figura 7: Processo de deterioração da armadura devido à corrosão



Fonte: Mendes e Azevedo (2009) *apud* Alves (2012)

Segundo Rocha (2015) quando a corrosão se apresenta em regiões de ancoragem das armaduras ou quando os óxidos gerados pelo processo difundem pelos poros do concreto não ocorrem fissuras ou deslocamento do concreto. Nessa situação observa-se a ocorrência de grandes perdas de seção de aço, de acordo com a FIG. 8, sem que se perceba o ocorrido podendo ocasionar um colapso repentino do elemento estrutural.

Figura 8: Perda de seção do aço devido ao processo de corrosão



Fonte: Cascudo (1997) *apud* Rocha (2015)

Para definir o processo de correção dessa patologia, dependerá, inicialmente, do nível de corrosão que a estrutura se encontra, se essa corrosão ocorre ou não em toda a barra, se existem zonas de maiores e menores intensidades. Portanto, para fazer uma recuperação estrutural, é necessário começar pelo diagnóstico das possíveis causas. Como citado anteriormente, as causas mais comuns são: fissuras e trincas, falta de cobertura, variações de temperatura e deficiências em geral na concretagem. Pode ocorrer, também, que ao longo do tempo o concreto se degrade naturalmente ou devido a ações externas e falhas de execução. Como se trata de um elemento estrutural de importância relevante para a segurança, o mesmo deve ser rapidamente recuperado (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).

Após definido o diagnóstico e os objetivos da intervenção serão escolhidas as interferências possíveis com base em uma média de parâmetros como: grau de incerteza sobre os efeitos que produzirão; relação custo/benefício; disponibilidade de tecnologia para a execução dos serviços. (HOLANDA, 2005. p.23).

Alguns são os métodos de tratamento da estrutura. Os principais são: reparos localizados e reparos generalizados (CASCUDO, 1997 *apud* MARQUES, 2015).

Quando a armadura do trecho corroído se encontra exposta, realiza-se reparos localizados com tratamento no local e posteriormente a reconstituição da seção de aço. Então, nesse tipo de recuperação, os componentes de aço devem ser rigorosamente limpos e tratados com produtos que irão evitar a corrosão. De preferência deve-se utilizar elementos à base de zinco, que funcionará como um ânodo de sacrifício, protegendo assim as armaduras. Para reparos generalizados utiliza-se os mesmos procedimentos e materiais do método anterior. Trata-se de uma intervenção mais comum, uma vez que são técnicas conhecidas no ramo da construção civil e com resultados bastante satisfatórios, quando bem executados em termos de reestabelecimento do desempenho estrutural (MARQUES, 2015).

Para realizar esse procedimento de remoção da área de aço corroída, ao colocar uma nova seção da armadura, é necessário o uso de soldas, controlando o tempo e a temperatura para evitar mudanças na estrutura do aço. Caso necessário, deve-se colocar novos estribos ou até novas armaduras (RIBEIRO *et al.* 2013).

Vale ressaltar que o objetivo de iniciar um procedimento de recuperação de uma estrutura danificada pela corrosão é recuperar a integridade do componente danificado e, também, tratar a armadura de modo a evitar que essa manifestação patológica volte a ocorrer (MARQUES, 2015).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, pode-se concluir que quando o assunto é Patologia em Edificações deve-se dedicar uma atenção especial para a corrosão do aço no concreto armado, devido a grande incidência e frequência com que ocorre, além de causar problemas tanto estéticos quanto estruturais, o que compromete a utilização.

O processo corrosivo do aço se caracteriza por ser de natureza eletroquímica e obedece ao princípio de formação de uma pilha eletroquímica. Algumas circunstâncias são responsáveis por desencadear a corrosão como a carbonatação e o ataque por íons cloretos, os quais reduzem ou inibem a proteção mecânica e química que o concreto proporciona ao aço, reduzindo o pH ou causando despassivação da armadura, respectivamente.

Para evitar esses problemas futuros, durante a elaboração e execução de qualquer projeto é de extrema importância que os valores ditados pelas normas sejam rigorosamente respeitados, uma vez que elas fornecem garantia de qualidade e funcionalidade da construção e garantem a segurança e integridade física de seus usuários. No caso específico da prevenção da corrosão do aço no concreto armado deve-se observar nas normas, principalmente no revestimento mínimo definido de acordo com a classe de agressividade do meio, a relação água/cimento ideal e procurar evitar falhas de concretagem entre outros fatores.

Caso já iniciado o processo corrosivo, existem alguns meios de recuperação da estrutura, apesar de ainda serem poucos e normalmente com custos elevados. Vale ressaltar a necessidade de mais estudos e investimentos nessa área, objetivando encontrar novos meios de recuperação mais eficazes e com baixo custo.

Portanto, observa-se que a durabilidade da estrutura está relacionada diretamente com uma boa execução, descartando quase que completamente a chance de que ocorra qualquer patologia na estrutura. Nesta fase, as medidas a serem tomadas possuem um custo muito inferior a qualquer tipo de recuperação posterior da construção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L. U. S. **Corrosão em armaduras de concreto - verificação do processo corrosivo em postes de concreto armado no conjunto Feira VI, Feira de Santana – BA.** 2012. 72 f. Dissertação (Monografia de Graduação) – Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.
- ALVES, L. F. **Obras de arte especiais BR-267/MG: Patologias x Fatores influentes.** 2012. 84 f. Dissertação (Monografia de Graduação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.
- ANDRADE, J. J. de. O. **Contribuição a previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: Iniciação por cloretos.** 2001. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118.** Projeto de estruturas de concreto- procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. **Corrosão- Uma abordagem geral.** p. 1-5. Disponível em: <<http://www.abraco.org.br/>>. Acesso em: 01 out. 2017.
- BASTOS; P. S. dos S. **Fundamentos do concreto armado.** 2006. 92 f. Dissertação (Notas de Aulas) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.
- BAZAN, G. C. da. G. **Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo.** 2014. 150 f. Dissertação (Monografia de pós- graduação) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- BOHNI, H. **Corrosión in reinforced concrete structures.** New York: CRC, 2005. 247 p.
- CASCUDO, O.; HELENE, P. R. do L. Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP,** São Paulo, PCC, n. 272. 20 p, 2001.
- \_\_\_\_\_. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas.** São Paulo: Goiânia, GO: PINI, Editora UFG, 1997. 237p ISBN 8572660801(Pini). apud ALMEIDA, L. U. S. **Corrosão em armaduras de concreto - verificação do processo corrosivo em postes de concreto armado no conjunto Feira VI, Feira de Santana – BA.** 2012. 72 f. Dissertação (Monografia de Graduação) – Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.
- \_\_\_\_\_. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas.** São Paulo: Pini, 1997. apud MARQUES, V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo.** 2015. 92 f. Dissertação (Monografia de Graduação) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- CASCUDO, Osvaldo. **Estrutura de Concreto com Problemas de Corrosão da Armadura.** Capítulo 35. pg. 1071-1108. São Paulo: IBRACON, 2005. v.2. apud ROCHA, I. **Corrosão**

**em estruturas de concreto armado.** 2015. 26 f. Dissertação (Monografia de pós-graduação) - MBA Projeto, execução e controle de estruturas e Fundações, Instituto de Pós- Graduação, Goiânia, 2015.

\_\_\_\_\_. **O controle da corrosão de armaduras em concreto – inspeção e técnicas eletroquímicas.** Goiânia, GO: Editora UFG, 1997. 237p. apud POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado:** causas, mecanismos, prevenção e recuperação. 2006. 191 f. Dissertação (Monografia de Graduação)- Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

\_\_\_\_\_. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas.** Goiânia: Editora UFG, 1997. 237p. apud SANTOS, M. R. G. dos. **Deterioração das estruturas de concreto armado- estudo de caso.** 2012. 109 f. Dissertação (Monografia de Especialização em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CLÍMACO; João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado:** Fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 2. ed. revisada. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008. 389 p.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto.** 2005. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FIGUEIREDO, Enio Pazini; MEIRA, Gibson. Corrosão de armaduras de estruturas de concreto. **Boletins Técnicos Alconpat**, México, n. 6, mar. 2013.

GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Afiliada, 1996. 345 p.

SANTOS, A. V. B. dos. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação.** 2015. 26 f. Dissertação (Monografia de pós-graduação) - MBA Projeto, execução e controle de estruturas e Fundações, Instituto de Pós- Graduação, Salvador, 2015.

HAUSMANN, D. A. **Steel corrosion in concrete: how does it occur? Materials Protection**, p. 19-23, 1967. \_\_\_\_\_. A probability model of steel corrosion in concrete. *Materials Performance*, Houston, v. 37, n. 10, p. 64-68. 1998. apud FIGUEIREDO, Enio Pazini; MEIRA, Gibson. Corrosão de armaduras de estruturas de concreto. **Boletins Técnicos Alconpat**, México, n. 6, mar. 2013.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: Editora Pini Ltda, 1986. 47 p.

HOLANDA, M. J. de. O. **Técnicas preventivas e de recuperação de estruturas de concreto.** 2015. 47 f. Dissertação (Monografia de Graduação) – Centro de Ciências Tecnológicas e Saúde, Universidade Estadual do Paraíba, Araruna, 2015.

MARQUES, V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo.** 2015. 92 f. Dissertação (Monografia de Graduação) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto**: Fundamentos, diagnóstico e prevenção. João Pessoa: Editora IFPB, 2017. 125 p.

MENEZES, L. F.; AZEVEDO, M. T. **Análise da influência do cobrimento das armaduras na durabilidade das estruturas de concreto armado**. apud ALVES, L. F. **Obras de arte especiais BR-267/MG**: Patologias x Fatores influentes. 2012. 84 f. Dissertação (Monografia de Graduação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

MOLIN, D. C. C. D. **Fissuras em estruturas de concreto armado**: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. 1988. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

MOREIRA, Ana Ramus. Corrosão e manutenção do concreto e suas armaduras. **Revista Corrosão e Proteção**, Rio de Janeiro, n. 55, p. 10- 15, fev. / mar. 2015.

POGGIALI, F. S. J. **Durabilidade de estruturas de concreto em usinas siderúrgicas**. 2009. 81 f. Dissertação (Monografia de Especialização em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado**: causas, mecanismos, prevenção e recuperação. 2006. 191 f. Dissertação (Monografia de Graduação)- Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

POURBAIX, M. **Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions**. Brussels: CEBELCOR, 1974. 644 p. apud MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto**: Fundamentos, diagnóstico e prevenção. João Pessoa: Editora IFPB, 2017. 125 p.

RIBEIRO, Daniel Vêras *et al.* **Corrosão em estruturas de concreto armado**: Teoria, controle e método de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 272 p.

ROCHA, B. dos. S. **Manifestações Patológicas e avaliação de estruturas de concreto armado**. 2015. 63 f. Dissertação (Monografia de Graduação) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

ROCHA, I. **Corrosão em estruturas de concreto armado**. 2015. 26 f. Dissertação (Monografia de pós-graduação) - MBA Projeto, execução e controle de estruturas e Fundações, Instituto de Pós- Graduação, Goiânia, 2015.

SOARES, A. P. F.; VASCONCELOS, L.T.; NASCIMENTO, F.B.C. do. **Corrosão em armaduras de concreto**. 2015. Caderno de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas, Maceió, v.1, n.3, p. 177-188, 2015.

SANTOS, M. R. G. dos. **Deterioração das estruturas de concreto armado- estudo de caso**. 2012. 109 f. Dissertação (Monografia de Especialização em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

TORRES, A. da. S. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado**: Uma meta análise. 2011. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

TULA, L. S. **Contribuição ao estudo da resistência a corrosão de armaduras de aço inoxidável**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. apud BAZAN, G. C. da. G. **Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo**. 2014. 150 f. Dissertação (Monografia de pós- graduação) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Energia Elétrica e Reações Químicas**. Rede São Paulo de Formação Docente, São Paulo, módulo 6, disciplina 7, 2012. Disponível em: <[https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46363/4/2ed\\_qui\\_m4d7.pdf](https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46363/4/2ed_qui_m4d7.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2017.