

## PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

ÉBERTO ROQUE DOS SANTOS NASCIMENTO  
ENGENHARIA CIVIL

*E-mail:* [tec.eber@hotmail.com](mailto:tec.eber@hotmail.com)

MICHEL DIEGO DE SANTANA FONTES  
ENGENHEIRO CIVIL

*E-mail:* [michel.dsfontes@hotmail.com](mailto:michel.dsfontes@hotmail.com)

### RESUMO

O concreto armado é um dos principais materiais utilizados no ramo da construção civil, ele é encontrado na maior parte das obras (edifícios, pontes, usinas hidrelétricas entre outras construções). Tais estruturas de concreto armado, são formadas basicamente pela composição de concreto e aço, geralmente são encontradas na forma de pilares, vigas, fundações e lajes. Entretanto, a execução e manutenção desse método construtivo deve ser realizadaa rigorosamente, evitando – se assim as chamadas manifestações patológicas. Dentro dessa vertente este estudo permite analisar as possíveis causas mais comuns e determinar soluções para as manifestações. A falta de referências e métodos aplicativos a serem seguidos quando trata de patologias especificadamente da região bahiana, motiva se o desenvolvimento deste trabalho. Dito isto o presente trabalho trata das manifestações patológicas no concreto armado, tendo como objetivo de ser uma ferramenta útil a profissionais de engenharia, os aqueles que buscam entender os fenômenos patológicos, sendo assim as análises, diagnostico das causas, o fornecer a busca pelas soluções para tais manifestações patológicas e de grande valia. A grande maioria das estruturas de concreto armado apresenta problemas oriundos de projetos falhos, de seleção incorreta de materiais, como também execuções inadequadas e falta de manutenção. Tendo em vista que o resumo conciso sobre as origens, as diversas formas das manifestação se apresentarem, mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado é de suma importância. As manifestações patológicas tem sido muito crescente, reduzindo assim a vida útil do concreto armado é comprometendo diretamente a durabilidade das edificações.

**Palavras-chaves:** Patologias; Concreto armado; Manifestações patológicas.

## ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the main materials used in the civil construction industry, it is found in most works (buildings, bridges, hydroelectric plants, among other constructions). Such reinforced concrete structures, basically formed by the composition of concrete and steel, are usually found in the form of columns, beams, foundations and slabs. However, the execution and maintenance of this constructive method must be carried out rigorously, avoiding – if so, the so-called pathological manifestations. Within this aspect, this study allows us to analyze the possible most common causes and determine solutions for the manifestations. The lack of references and application methods to be followed when dealing with specific pathologies in the Bahia region, motivates the development of this work. That said, the present work deals with pathological manifestations in reinforced concrete, aiming to be a useful tool for engineering professionals, those who seek to understand pathological phenomena, thus analyzing, diagnosing causes, providing the search for solutions for such pathological manifestations and of great value. The vast majority of reinforced concrete structures have problems arising from flawed projects, incorrect selection of materials, as well as inadequate execution and lack of maintenance. Considering that the concise summary of the origins, the different forms of manifestations, mechanisms of deterioration of reinforced concrete structures is of paramount importance. Pathological manifestations have been increasing, thus reducing the useful life of reinforced concrete and directly compromising the durability of buildings.

**Keywords:** Pathologies; Reinforced concrete; Pathological manifestations.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento em ritmo acelerado da construção civil para atender uma demanda crescente por edificações sejam elas laborais, industriais ou habitacionais, impulsionado pela própria modernização da sociedade, promoveu um grande salto científico e tecnológico (AMBROSIO, 2004).

Tais avanços foi um dos fatores que contribuíram para o declínio da qualidade na construção civil, e do aumento do número das patologias nas construções. Deixando assim suscetíveis a diversas manifestações patológicas.

Segundo Nazário e Zancan (2011), o termo Patologia, tem origem grega *páthos* = doença, e *logos* = estudo, e, portanto, pode ser entendido como o estudo da doença, é muito utilizado nas áreas da ciência.

Na construção civil pode-se atribuir patologia aos estudos dos danos ocorridos em edificações. No trabalho busca enfatizar tais estudo sendo ele específico no concreto armado.

De acordo com (Souza e Riper, 1998), patologias estruturais é um novo campo da engenharia das construções responsáveis por analisar as origens, manifestações, consequências é instrumentos responsáveis pelas ocorrências das falhas dos sistemas que degradam as estruturas.

A patologia se resume ao estudo da identificação das causas e dos efeitos dos problemas encontrados em uma edificação, elaborando seu diagnóstico e correção. A obtenção de tais conhecimento, o saber evidenciar e diagnosticar possíveis causas e soluções para patologias podem evitar problemas futuros, sendo os problemas mais simples que podem ser corrigidos como pequenos reparos ou até mesmo problemas mais graves como desastres ou a condenação da obra. Todos eles têm impacto diretamente da vida útil das estruturas de concreto armado, como também impacta diretamente na segurança dos civis. Podendo ser por falha de ( Projeto Execução > Manutenção) durante sua vida útil.

Portanto, esta pesquisa bibliográfica com foco nas patologias em estruturas de concreto armado, vem de modo a fazer se atentar sobre as ocorrência de manifestações patológicas nas estruturas. Tais pesquisas tem como objetivo adquirir mais conhecimento sobre o tema e desenvolver novos métodos de prevenção e soluções para problemas patológicos. Pois a escolha deste tema vem da necessidade

de inibir as ocorrências de manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado que vem ocorrendo cada vez com mais frequência no dia a dia da construção civil.

Lapa (2008), no artigo Patologia das Estruturas de Concreto, afirma que após concluir a fase de diagnóstico e prognóstico, o especialista passará para a fase de escolha das possíveis intervenções ao problema. Essas intervenções podem ser concluídas sob três diferentes causas, que são elas: o reparo - que consiste em corrigir pequenos danos da estrutura; recuperação - que visa devolver à estrutura o desempenho original perdido; e o reforço - que tem por finalidade aumentar o desempenho da estrutura.

## **2. METODOLOGIA**

O método da elaboração deste artigo científico, foi em uma revisão bibliográfica geral sobre as causas e danos das patologias mais comuns, de modo que venha inibir as manifestações patológicas, abordando as principais causas e possíveis soluções, dando ênfase aos tipos patológicos mais ocorrentes. O levantamento de dados e informações se dá por meio de pesquisa eletrônica via internet, via livros dos autores mais reconhecidos no ramo da Engenharia Civil, bem como em dissertações, publicações de revistas, boletins técnicos e monografias.

Para contextualizar o tema de modo adequado e suficiente, desde o ponto de vista dos limites da pesquisa, procedeu-se ao método de cruzamento das palavras-chaves associadas à pesquisa e que já foram demonstradas no resumo.

O levantamento da bibliografia teve início em dezembro de 2020, e se baseou em critérios de exclusão sistemática. Assim, em um primeiro momento, no que tange a seleção das produções literárias, se realizou a leitura analítica de trabalhos e artigos científicos encontrados na literatura, bem como participação de congressos sobre patologias, de acordo com o que fora enunciado.

Tendo sido feita essa primeira abordagem de pesquisa, procedeu-se ao estudo mais aprofundado dos textos e assuntos separados pela prévia leitura e análise. Isso possibilitou a exclusão dos textos que não atendiam suficientemente ao que se pretendia encontrar.

Achados os textos considerados mais relevantes para a elaboração deste trabalho, os mesmos foram submetidos a uma síntese com a finalidade de caberem na orientação das análises ao desenvolvimento da produção autoral deste trabalho.

### **3. JUSTIFICATIVA**

A construção civil vem se tornando extremamente necessárias para todas as atividades humanas nos dias de hoje, para todos fins. Tendo como o concreto armado sendo a técnica mais utilizada em todo o mundo na construção civil, por ser um excelente material de alta resistência e custo-benefício e fácil de moldar. Entretanto, com o passar dos anos começou a apresentar manifestações patológicas de significativa intensiva e exorbitante não só no aspecto estrutural, como também nos elementos químicos que compõe o cimento. Vários fatores podem afetar a durabilidade das estruturas, levando ao aparecimento de manifestações patológicas, portanto, se atentar a qualquer sinal de manifestação patológica, avaliando suas causas e tomando medidas corretivas e preventivas, para garantir a durabilidade e integridade dessa estrutura.

Segundo Do Carmo (2003), o conhecimento da causa que gerou o problema é importante para que se possa prescrever a terapêutica adequada, uma vez que se tratar os sintomas sem eliminar a causa, o problema tende a se manifestar novamente.

A existência de patologias nas estruturas de concreto armado é preocupante, uma vez que sua evolução pode levar edificações ao desabamento, em casos extremos, colocando em risco tanto bens materiais quanto a vida de pessoas. Sendo assim a conscientização, portanto, é de extrema importância, a fim de despertar uma visão não só sobre os riscos vigentes que as patologias venham a causar, mas também salientar aos profissionais e as pessoas para tentar inibir essas patologias tais como: lixiviação, corrosão, fissuras, segregação de concreto e desagregação estrutural, dentre outras, visando à segurança de todos as pessoas que venham utilizar os métodos construtivos com material de concreto armado.

#### **4. PATOLOGIAS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

O termo “patologia”, no contexto da “Construção Civil”, está alinhado com a definição encontrada na Medicina, na qual se estudam as origens, os sintomas e a natureza das doenças. Desta forma a patologia seria o estudo das doenças de modo geral, representando um estado ou condição anormal cujas causas podem ser conhecidas ou desconhecidas. É claro que este termo é utilizado a uma analogia, em detrimento de uma derivação dos termos “pathos”, que significa sofrimento, doença, e “logos”, que significa ciências, estudos.

Patologias são todas as manifestações cuja ocorrência no ciclo de vida da edificação venha prejudicar o desempenho esperado do edifício e suas partes (subsistemas, elementos e componentes), que pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis. São tais problemas construtivos que podem comprometer a integridade estrutural de uma obra. Além disso, a ausência de manutenção pós projeto também é uma das grandes causas que comprometem as estruturas de concreto.

Segundo Cánovas (1988), patologia é a parte da engenharia que estuda os mecanismos, os sintomas, as causas e origens dos defeitos das obras. Em alguns casos, é possível se fazer um diagnóstico das patologias apenas através da visualização. Entretanto, em outros casos o problema é mais complexo, sendo necessário verificar o projeto, investigar as cargas a que foi submetida à estrutura; analisar detalhadamente a forma como foi executada a obra e, inclusive, como esta patologia reage diante de determinados estímulos. Dessa forma, é possível identificar a causa destes problemas, corrigindo-os para não se manifestarem novamente.

#### **5. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO**

Manifestações patológicas e toda manifestação de problemas existentes nas estruturas de concreto armado, ou seja, todos sintomas indicando algum mecanismo de degradação (doença), onde eles precisam de um diagnóstico para detectar o que ocasionou a patologia. Decorrente a erros no processo, vem gerando manifestações patológicas nas estruturas de concreto que com tempo vão se agravando devido ao processo interligado na produção, desde uma projeção, a uma execução da obra, provocando uma baixa qualidade no concreto. Tendo em vista que conta também com

ataques de agentes químicos, físicos nas estruturas de concreto armado.

Souza e Ripper (1998) afirmam que o processo de sistematização do estudo da patologia das construções nos últimos tempos, e em específico no que diz respeito à patologia das estruturas (mas que pode também ser entendido perfeitamente às demais áreas ou sistemas das edificações), conduz ao estabelecimento de uma classificação preliminar dos problemas ou manifestações patológicas em dois grandes segmentos: os simples e complexos.

As estruturas de concreto armado apresentam, ao longo de suas vidas úteis, sinais de que algo não está a ocorrer como deveria e que essas estruturas precisam de intervenção. A sintomatologia é o estudo e interpretação do conjunto de sinais/sintomas observados que indicam os estados doentes. Na construção civil, trata-se do processo de identificação dos efeitos produzidos pelos agentes agressivos. As manifestações patológicas, salvo exceções, apresentam características em forma de sintomas com base nos quais é possível definir a sua origem, a causa, o mecanismo de ação e também estimar quais as consequências que a não regularização do problema pode acarretar.

Neste caso, as manifestações patológicas simples se remetem àquelas que podem ser analisadas e resolvidas através de uma padronização, sendo mais evidentes tanto o diagnóstico quanto o tratamento das mesmas e não demandando que o profissional responsável obrigatoriamente possua conhecimentos elevados sobre o tema.

Cabe enfatizar uma ressalva sobre a distinção entre os termos patologia e manifestação patológica, tendo em vista que a patologia é o ramo da engenharia (ciência) responsável pelos estudos das causas e mecanismo de anomalias e problemas nas estruturas, enquanto a manifestação patológica, são os sinais/sintomas que as estruturas vem indicando ao longo da sua vida útil. Onde muitos agem de forma equivocada e utiliza como sinônimos, comumente encontram manifestações patológicas sendo referenciadas como “patologias” não só para os leigos, como também por profissionais da área.

França (2011) chama a atenção para o correto emprego de ambos os termos citando o seguinte exemplo para ajudar na compreensão: uma fissura encontrada em uma edificação não seria uma patologia (uma vez que esta é a ciência que estuda este

tipo de problema), mas sim uma manifestação patológica, ou seja, um sintoma que indica um mecanismo de degradação (doença), o qual poderia estar acontecendo (causa por conta de um processo de corrosão de armaduras, ou por deformação excessiva da estrutura).

## 6. FISSURAS

As fissuras são os primeiros sintomas a aparecerem em uma estrutura de concreto e podem se manifestar desde a concretagem até anos após ela.

Comumente falando as fissuras são aberturas que afetam a superfície do elemento estrutural tornando-se um caminho mais rápido para a entrada de agentes agressivos à estrutura, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e os íons cloretos (CL<sup>-</sup>), acelerando o processo de corrosão de armaduras e a degradação do concreto, as fissuras em si é um tipo comum de manifestação patológica elas são diagnosticos prévios para decifrar algumas causas e danos que as estruturas vem sofrendo, elas interferem diretamente na estética, na durabilidade e nas características estruturais da obra.

Todas as construções, que tem sua estrutura executada em concreto, fissuras podem surgir depois de anos, dias ou mesmo em horas. As causas destas fissuras são várias e de diagnóstico difícil. O termo fissura é utilizado para designar a ruptura ocorrida no concreto sob ações mecânicas ou físico-químicas (FIGUEIREDO, 1989).

É de suma importância diagnosticar a origem e o que está causando a fissura, pois se as causas não forem solucionadas, apenas cobrirá uma abertura. A sua configuração, sua abertura, posição, espaçamento e trajetória podem indicar como foi causada.

Figura 1 – Fissuras



Fonte: Mapa da Obra

Ainda em relação as fissuras, a NBR 6118 (ABNT,2014) traz limites tamanhos de aberturas para concretos armados inseridos nas classes de agressividade II e III (0,3 mm) e IV (0,2 mm).

As fissuras denominadas ativas são aquelas cujo a causa da patologia ainda age sobre a estrutura, já as fissuras inativas são aquelas em que sofreram uma atuação de forças por um determinado período e depois não agiram mais sobre a estrutura, ou seja, estável.

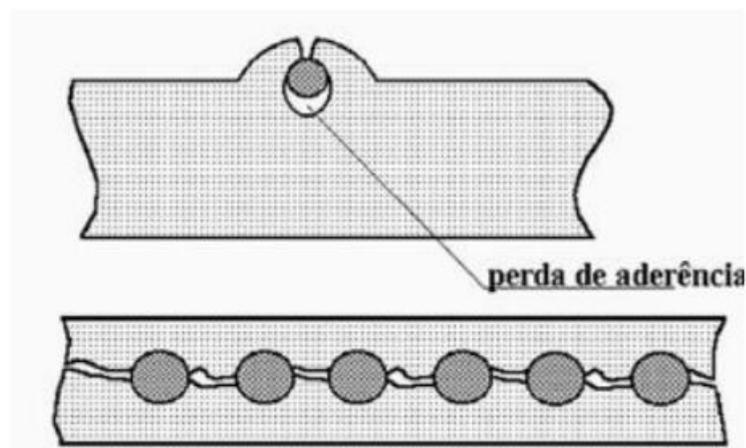
#### Assentamento do concreto/ Perda de aderência

O assentamento está presente no momento da concretagem, quando a pasta se movimenta e se acomodar de forma natural devido ao efeito da gravidade. A fissuração poderá vir a ocorrer quando o concreto for impedido pelas barras de aço e o espaço entre elas for mínimo. A formação das fissuras será tão maior quanto mais espessa for a camada de concreto.

Segundo Souza e Ripper (1998), esse tipo de fissura que se forma devido ao assentamento do concreto, acarreta o efeito parede, que consiste em um vazio que é formado na parte inferior da barra de aço, assim causando uma perda de aderência e fissuras. No caso das barras estarem próximas e em grande número, poderá haver uma interação entre as fissuras, gerando um quadro mais grave.

Tendo em vista que além da perda de aderência, a fissuração é um grande porta de entrada de agentes nocivos às armaduras, na qual neste caso afetara as armaduras facilitando assim a corrosão como ilustra na figura abaixo;

Figura 2 - Perda de aderência por efeito parede

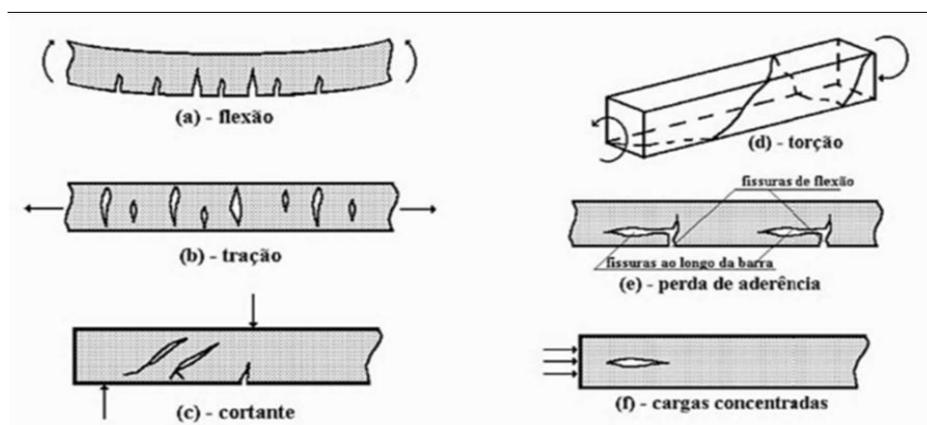


Fonte: Souza; Ripper, 1998.

### ▪ Sobrecarga

As fissuras de sobrecarga podem ser ocasionadas por falhas decorrente do cálculo estrutural ou a estrutura pode estar sendo submetida a uma carga superior à que foi prevista, como também pode ter sido projetada para determinado fim, e ser modificada pós obra concluída, sendo assim ela estará fora do padrão gerando fissuras. São diversas as causas que podem ocasionar fissuras, por exemplo: flexão(a); fissuras causadas por esforços de tração (b); Insuficiência de armadura de combate ao esforço cortante (c); fissuração por esforços de torção (d); por perda de aderência das armaduras (e) e cargas concentradas (f).

Figura 3 - Configurações genérica de algumas fissuras em função do tipo de sollicitação predominante.



Fonte: DocPlayer

A fissura é originada por conta da atuação de tensões nos materiais. Quando a sollicitação é maior do que a capacidade de resistência do material, a fissura tem a tendência de aliviar suas tensões. Quanto maior for a restrição imposta ao movimento dos materiais, e quanto mais frágil ele for, maiores serão a magnitude e a intensidade da fissuração. Entre as ações internas, as causas das fissuras estão ligadas à retração dos produtos à base de cimento e às alterações químicas dos materiais de construção.

As fissuras denominadas ativas são aquelas cujo a causa da patologia ainda age sobre a estrutura, já as fissuras inativas são aquelas em que sofreram uma atuação de forças por um determinado período e depois não agiram mais sobre a estrutura, ou seja, estável.

- **Retração**

O principal mecanismo da retração é a perda de água através da evaporação, pois o mesmo causa a diminuição do seu volume por causa da exsudação. Levando em consideração a trabalhabilidade necessária, o concreto normalmente é preparado com água em excesso, o que agrava a retração. A relação da estrutura com o meio ambiente no qual se encontra a estrutura se encontra no período da concretagem, é

de suma importância pois existem alguns fatores agravantes que podem ter um processo de fissuração mais rápido, como elevadas temperaturas, baixo teor de umidade do ar e incidência direta de ventos são prejudiciais ao endurecimento do concreto. Existem alguns tipos de fissuras de retração do concreto, sendo ela plástica, por secagem, química, autógena e térmica.

Figura 4 – Fissuras por retração no concreto



Fonte: Tecnosilbr

- **Retração Plástica**

Ocorre pela eliminação de água do concreto por exsudação, quando ainda em seu estado fresco. A exposição da superfície do concreto às intempéries como vento, baixa umidade relativa do ar e aumentando da temperatura ambiente podem acelerar este processo.

A retração plástica é a redução do volume do concreto devido à perda de água para o meio, ainda em seu estado fresco. Esse tipo de evento é mais comum em lajes em climas quentes e/ou com vento. A retração plástica não é bem quista na construção civil, uma vez que a água que estava destinada para o processo de hidratação da pasta é perdida para o meio, tendo como consequência a diminuição da resistência e a ocorrência de fissuras. (Ripper, Souza, 1998).

- **Retração por secagem ou hidráulica**

Ocorre de maneira similar à retração plástica, porém com o concreto já no estado endurecido.

- **Retração química**

De acordo com Silva (2007), a retração química acontece devido a redução de volume apresentada pelos produtos de hidratação quando comparados com os reagentes (cimento + água).

Essa fase, são formadas substâncias como o hidróxido de cálcio, a etringita e o silicato de cálcio hidratado, que, graças ao seu reduzido volume em relação ao cimento à a água, acabam diminuindo também o volume do concreto.

- **Retração autógena**

A água utilizada na reação de hidratação sai dos poros capilares do concreto, e assim, reduz seu volume.

Essa retração ocorre devido a diminuição de umidade relativa na pasta do cimento. De forma simplificada, os poros mais finos, para continuação do seu processo de hidratação,

drenam a água dos capilares e dos poros maiores do concreto. A partir do momento no qual não há mais água suficiente, são geradas tensões capilares no concreto, tendo como consequência a diminuição do volume ou um processo de fissuração. Esse tipo de retração é mais significativo em concretos de alto desempenho por possuírem poros menores devido à baixa relação água/cimento (DANTAS; SILVA, 2005).

- **Retração térmica**

A retração térmica se dá pela liberação de calor durante o processo de endurecimento do concreto, que, inicialmente, aumento de volume para depois diminuir durante o resfriamento. Esta variação de volume acontece devido aos efeitos térmicos.

É também conhecida como “retração exotérmica”, pois o que ocorre é uma reação química que resulta na transmissão de calor do interior de um objeto para o meio ambiente.

É a variação de volume que acontece devido aos efeitos térmicos. Considerando o comportamento do concreto nas primeiras idades, tais variações dimensionais são induzidas pelas variações térmicas causadas pela natureza exotérmica da reação de hidratação do cimento. Em um primeiro momento acontece o efeito expansão, porém ao se resfriar há diminuição de volume denominada retração térmica (SILVA, 2007).

- **Fissuras por Reação Álcali-Agregado**

Reação entre os silicatos e os íons álcalis gera um gel expansivo que absorve água por osmose e se expande entre os poros do concreto. Quando os vazios do concreto estão todos preenchidos por esse gel, gera-se uma tensão interna e o concreto é fissurado. Esta reação se desenvolve lentamente, podendo mesmo levar vários anos para surgir, sendo o sintoma mais aparente a fissuração desordenada nas superfícies expostas (GOMES; BARRETO, 2013).

As fissuras causadas pela reação álcali-agregado podem assumir dois tipos principais de configuração: orientação alternada, tipo mapa, quando a restrição à expansão é nula ou baixa; e fissuração orientada na direção da menor restrição, quando existe estado de compressão e/ou armação no concreto.

Figura 5 – Fissuras tipo mapa causada pela RAA



Fonte: ResearchGate

Figura 6 – Fissuras orientadas na direção menor da RAA



Fonte: Blog do Professor

## 7. CORROSÃO DAS ARMADURAS

A corrosão de armaduras é um dos processos degradantes com maior incidência nas estruturas do concreto armado, pois é nele que ocorre a deterioração da estrutura metálica, que conseqüentemente provoca a perda de seção das barras de aço. Processo este onde o aço inserido no concreto armado retorna ao seu estado natural, ou seja, como foi encontrado e retirado da natureza.

A corrosão dos aços tem sido umas das principais manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado, trazendo grandes danos e prejuízos. Devido a isso, entende que este processo por completo, de modo a impedir a sua ocorrência, ou restaurar elementos estruturais atacados, evitar que depois de curados, não sofram novamente esta anomalia.

Souza e Ripper (1998) caracterizam a corrosão das armaduras como sendo a deterioração da camada passivante localizada ao redor da superfície das barras. Sendo esta película formada pelo impedimento da dissolução do ferro, devido à alta alcalinidade da solução aquosa existente no concreto.

Na ocorrência de corrosão, é preciso de um conjunto de fatores que tornam o ambiente propício, são eles: a presença de moléculas  $H_2O$ , de  $O_2$ , área anódica, área catódica onde ficará os íons Fe, um condutor de transferencia de cargas no caso seria as armadura e um eletrólito, sendo a solução aquosa existente no concreto.

A ISO 8044/2015 define corrosão como interação físico-química entre o metal e o meio, resultando em mudanças nas propriedades do metal, sendo prejudiciais a sua função ou ao sistema onde ocorra.

A corrosão conduz à formação de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos de avermelhados, pulverulentos e porosos, denominada ferrugem (ALMEIDA, 2013) Andrade (2001), explica que o mecanismo de corrosão eletroquímica é baseado na existência de um

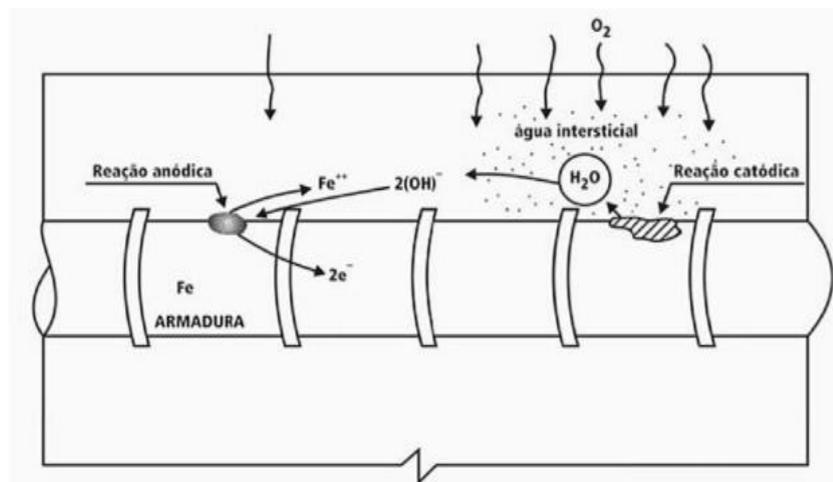
desequilíbrio elétrico entre metais diferentes ou entre distintas partes do mesmo metal, configurando o que se chama de pilha de corrosão ou célula de corrosão.

O principal mecanismo de corrosão do aço no concreto se dá por meio eletroquímico, podendo ser corrosão localizada (conhecida como pites ou cavidades), onde geralmente ocorre em ambientes em contato com íons agressivos (cloretos) e sua formação se torna favorável na presença de  $O_2$  é umidade, formando assim um ciclo fechado e localizado; já a corrosão generalizada, ocorre em função da redução

de pH do concreto para valores menores que 9. O concreto fornece á armação uma proteção alcalina, desde que seja homogêneo e compacto, pois possui um pH aproximado entre 12,5 e 13,5.

Conforme Fusco (2008), ocorrem duas reações, uma anódica e outra catódica. Na reação anódica, o ferro fica carregado positivamente de modo que ocorre a dissolução dos íons  $Fe^{++}$ , que passam para a solução. Na solução anódica, o Ferro irá atuar como eletrodo, junto do qual os elétrons liberados pelo anodo passam à solução, formando-se desta maneira o circuito elétrico, não havendo consumo do ferro no cátodo.

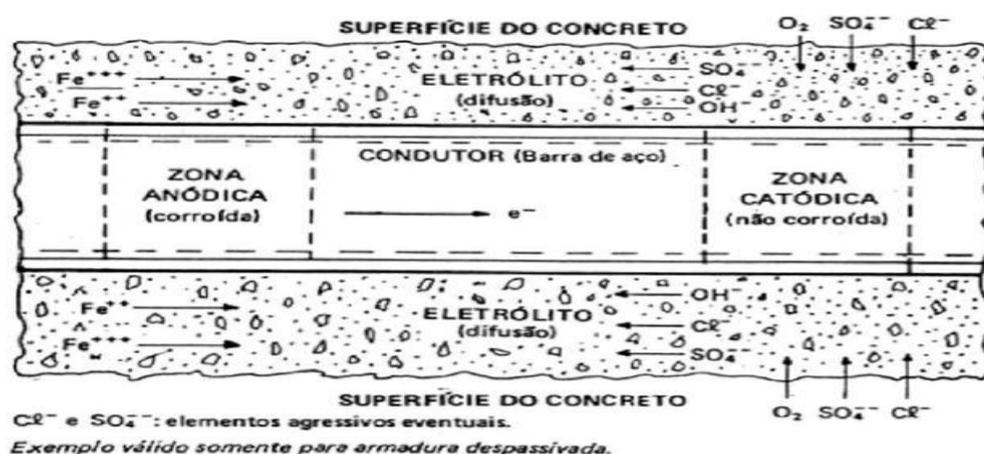
Figura 7 – Mecanismo de corrosão na barra de aço.



Fonte: FUSCO (2008).

Na figura a seguir podemos perceber que em uma barra de aço que são alternadas, formando um efeito de pilha; a área de menor concentração de  $O_2$ , onde apresenta corrosão nas armaduras é a área anódica.

Figura 8 – Célula de corrosão no concreto armado



Fonte: Helene (1986)

HELENE (1986) informa que para a ocorrência corrosão nas armaduras no interior do concreto são necessárias as seguintes condições:

- Deve existir um eletrólito - Meio que permite a dissolução e movimento de íons ao longo das regiões anódicas e catódicas, gerando uma corrente de natureza iônica e, também, para dissolver o oxigênio. No concreto, podem ser eletrólitos: a água presente no concreto em grandes quantidades; alguns produtos da hidratação do cimento como portlandita e hidróxido de cálcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

- Deve existir diferença de potencial (ddp) - entre dois pontos aleatórios da armadura, seja pela diferença de umidade, aeração, concentração salina, 51 tensão do concreto e/ou no aço, impurezas no metal, heterogeneidades inerentes ao concreto, pala carbonatação ou pela presença de íons.

- Deve existir oxigênio - Que regulará todas as reações de corrosão, dissolvido na água presente nos poros do concreto.

Há, ainda, a presença de agentes agressivos no eletrólito que podem acelerar a corrosão, como, por exemplo, os íons sulfetos ( $\text{S}^-$ ), os íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (CUNHA; HELENE, 2001).

Com base nesta análise a corrosão vem avançando da superfície do concreto até o interior na estrutura onde se encontra a armadura. Tendo dito isto, podemos definir que o cobrimento do concreto é de tamanho eficácia com a proteção física, criando assim uma barreira impedindo a entrada de agentes agressivos para que não entre em contato com a armadura.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a agressividade do meio ambiente independe das ações mecânicas, variações volumétricas devido a temperatura ou retração hidráulica, estando assim, relacionada apenas com ações físicas e químicas atuante na estrutura de concreto.

Nesta NBR 6118 existem tabelas que expõe graus de agressividades ambientais (CAA) – ABNT NBR 6118/2014. Na tabela 1, a estrutura estará classificada dependendo da sua exposição ao ambiente. O projetista poderá se basear pela CAA, pois na mesma norma encontra informações que definirão a qualidade do concreto através da sua relação água/cimento (a/c) e da sua classe de resistência. Já a critério de cobrimento de uma peça estrutural pode se consultar através da tabela 2, onde pode ser avaliada simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1 – Classes de Agressividade Ambiental (CAA) – ABNT NBR 6118/2014.

Quadro I - Classes de agressividade ambiental

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	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) 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).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) 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.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT (2014).

Tabela 2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</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, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: ABNT (2014).

Percebe-se que a tabela de cobrimento aumenta na medida em que há aumento na CAA. Além disso, quanto maior for a classe, menor será o fator a/c, assim como maior a classe de resistência mínima para o concreto inserido no CAA. Tal fator remete diretamente à diminuição da porosidade dos concretos à medida que piora a CAA.

A muitos acabam confundindo oxidação com corrosão. A oxidação nas armaduras é um processo menos agressivo comparado com a corrosão dos vergalhões, a oxidação é algo superficial, ou seja, aço sofre uma reação onde é produzido uma película de óxido de ferro, onde ele não houve a necessidade de contato com a água. Sendo assim por se tratar de um efeito superficial e não alterar a seção da barra, e acaba não comprometendo a resistência do aço podendo assim ser normalmente utilizado. A corrosão ele é um processo mais agressivo com as armaduras, pois ele gera ferrugem nas barras e conseqüentemente alteram sua seção comprometendo

sua resistência e sua utilização. Em detrimento do meio úmido, a armadura expõe – se a água e oxigênio, gerando um processo eletroquímico e através disso se gera a ferrugem nas barras, tendo em vista que, toda ferrugem expande a seção da barra, sendo assim expande o concreto gerando fissuração.

A oxidação ocorre pela reação gás-metal, caracterizada por ser um processo lento, com formação de uma película de óxido e a ausência da deterioração superficial das barras de aço, salvo casos especiais onde os gases são extremamente agressivos (CASCUDO, 1997).

De acordo com Cascudo (1997), a classificação dos processos de corrosão se dá a partir da natureza do processo: corrosão química (também conhecida como corrosão seca ou oxidação) e corrosão eletroquímica (também denominada de corrosão aquosa).

## **8. CARBONATAÇÃO**

A carbonatação do concreto comumente é uma reação entre o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente na atmosfera e os produtos gerados durante a hidratação do cimento. O dióxido de carbono penetra nos poros do concreto através de difusão e reage com o hidróxido de cálcio no interior do concreto. Resulta na reação carbonato de cálcio, que afeta diretamente o pH do concreto causando a redução dele trazendo valores inferiores a 9 e à consequente perda da película passivante que protege as armaduras. Com a perda dessa proteção as armaduras estarão sujeitas à ocorrência de oxidação caso haja a presença de oxigênio e água.

A carbonatação tem como ponto inicial a superfície e avança progressivamente para o interior do concreto formando uma “frente de carbonatação”; onde o processo ainda não se perfectibilizou, o pH é próximo a 13, já nos pontos percorridos pela carbonatação, o pH é próximo a 8 (HELENE, 1986).

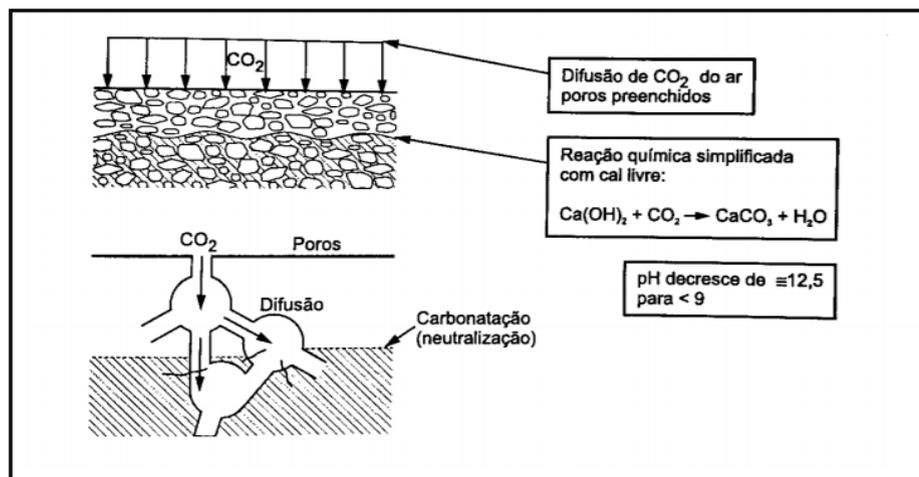
Uma das maneiras de avaliar este fenômeno da verificação do pH utiliza – se fenolftaleína, como ilustra a figura abaixo:

Figura 9 – Ensaio de carbonatação



Fonte: Clube do concreto

Figura 10 – Causas da carbonatação é corrosão nas armaduras de concreto armado

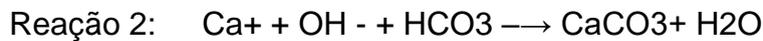


Fonte: CASCUDO (1997)

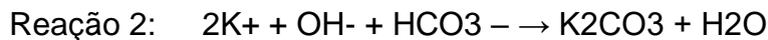
Para haver uma grande alteração das condições de estabilidade química da película passivadora do aço, o pH de precipitação do CaCO<sub>3</sub> deve ser da ordem de 9,4 (à temperatura ambiente). Sobre este fato, muitos autores segundo Cascudo, (1997) têm proposto um valor crítico de pH entre 11,5 e 11,8, um pouco abaixo para que não se tenha quebra da passivação do aço (PINI, 1986 e NOGUEIRA, 1989).

Segundo Cunha e Helene (2001), reações de despassivação por carbonatação ocorrem de seguinte forma:

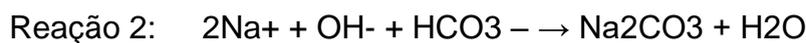
Hidróxido de cálcio:



Hidróxido de potássio

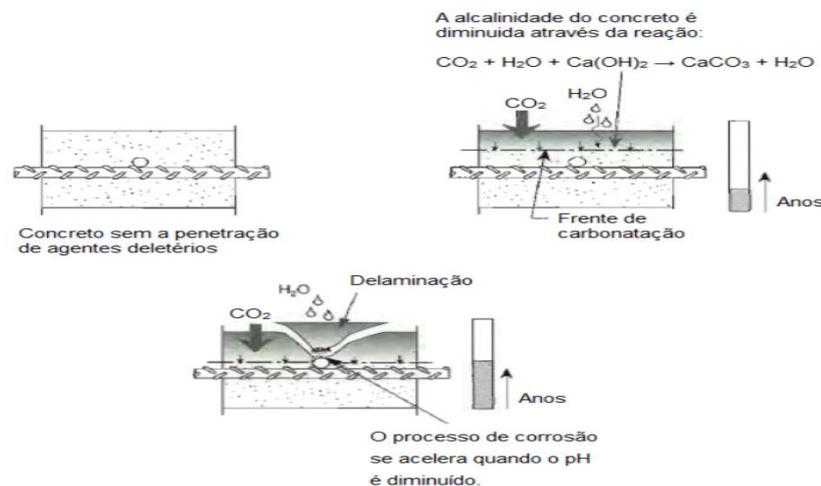


Hidróxido de sódio



A despassivação da armadura ocorre justamente quando a frente de carbonatação atravessa o concreto de cobrimento e atinge a armadura, causando a perda da camada passivadora do aço, camada que protege a barra de corrosões. Desta forma, tem-se que a carbonatação do concreto proporciona o início do processo de corrosão da armadura (CASCUDO, 1997).

Figura 11 – Processo de carbonatação no concreto armado.



Fonte: Emmons, 1994 – (adaptado).

A velocidade de avanço da frente de carbonatação depende de inúmeros fatores entre os quais se podem citar esta a concentração de CO<sub>2</sub> da atmosfera, porosidade, níveis de fissuração, temperatura e umidade do ambiente no qual o concreto está inserido.

Ponto positivo da carbonatação está na obtenção de aditivos, onde ele preencher alguns vazios nocivos interno no concreto.

Nas reações de carbonatação percebe-se a obtenção de sais como produtos. Esses sais vão permanecendo no concreto, diminuindo o índice de vazios e retardando o próprio processo de carbonatação. A esse fechamento dos poros, dá-se o nome de colmatação (REPETTE, 2017).

Segundo Silva referido por Lapa (2008, p.19), a velocidade do processo de carbonatação, em concretos de qualidade mediana, varia entre 1 a 3 mm por ano. Então, as armaduras protegidas por uma menor camada de cobrimento serão atingidas mais rapidamente pela corrosão. Desta forma, a espessura do cobrimento influencia diretamente o processo de corrosão por carbonatação.

## 9. DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO

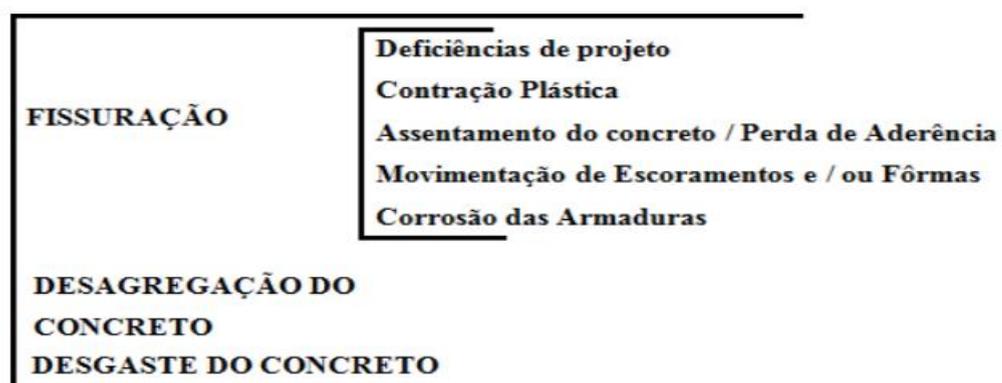
A desagregação é a perda de massa de concreto devido a um ataque químico expansivo de produtos inerentes ao concreto e/ou devido à baixa resistência do mesmo, caracterizando-se por agregados soltos ou de fácil remoção (MEHTA, 2008).

É a deterioração do concreto, porque o revestimento fica exposto ao tempo e faz com que a argamassa tenha baixo poder coesivo deixando o próprio material desprendido.

São vários fatores que podem ser causadores da desagregação: fissuração, movimentação das formas, corrosão do concreto, ataques biológicos e o fenômeno da calcinação que consiste na perda de resistência e mudança de cor do concreto, que ocorre quando ele se encontra na presença de fogo e começa a se desintegrar em uma temperatura próxima à 600° C.

Como efeito direto e visível da atuação dos agentes extrínsecos e intrínsecos, os processos físicos de deterioração são muitas vezes o sincretismo dos dois últimos.

Figura 12 – Processos físicos de deterioração do concreto



Fonte: Souza; Ripper, 1998 (modificada)

## 10. ESTUDO DE CASO

Vigas Baldrame construídas em 1997, na parte superior da laje para sustentação de torres de resfriamento, porém nesta viga baldrame não houve inserção das torres, porém foi executada nas mesma dimensão e fck das demais. Tais vigas não ocorreu nenhuma avaliação ou manutenção nas estruturas dentro de alguns anos, manutenção esta, seja preventiva ou corretiva, desde a construção. Sendo assim, por se tratar de um ambiente agressivo classe IV, ainda mais por se tratar de uma viga exposta acaba estando bastante propício a acarretar diversas patologias, e impactando diretamente na vida útil da estrutura, como também, podendo a vim ocasionar problemas maiores, como cisalhamento, tais ações poderiam ser sanadas a partir destas avaliações buscando terapias.

Figura 13 – Vigas Baldrames para sustento de torres.



Fonte: Autor

- **Descrição visual:** A figura mostra uma qualidade muito ruim do concreto, bem como a exposição da armadura da viga.
- **Manifestação:** Nota-se que houve umas fissurações, conseqüentemente um deslocamento e exposição da armadura onde ela apresenta corrosão.
- **Causas:**
  - **Fissuras;**

Esta manifestação patológica ocasionou a entrada de agentes agressivos na camada passivadora do concreto. Em detrimentos de temperaturas variáveis, e exposição a  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $CL^-$ , tal fissuração fez com que os agentes agressivos trouxessem variações no pH do concreto, fazendo com que ele chegasse até a armadura.

Figura 14 - Fissuras



Fonte: Autor

- Penetração de agentes agressivos;
- Concreto poroso;
- Ação de íons Cloretos;
  - Detectada presença de íons cloreto a partir do reagente CL<sub>2</sub>-1, onde ele expôs a sua presença através da cor rosa, sendo assim no diagnóstico foi detectado que os íons cloreto atingiu a camada de passivação do concreto, fazendo com que o mesmo deslocasse, e ao chegar nas armaduras do concreto, fez com que acelerasse o processo de corrosão, sendo ela localizada conhecida com pites ou cavidades.

Figura 15 – Teste da ação de cloretos.



Fonte: Autor

- Partes, pós deslocamento com ataque de carbonatação;
  - Foi pego a parte do concreto que foi desprendida da armadura para fazer o diagnóstico, por meio de testes de carbonatação. Onde foi aplicado sob toda a superfície do concreto fenolftaleína, para detecção da presença de carbonatação, sendo assim caso o concreto não estivesse carbonatado indicaria por cor roxa ou rosa que o pH alcalino estaria ideal, neste caso, feito o teste apenas mostrou alguns pontos onde o mesmo não carbonatou,

sendo assim exceto esses pontos ilustrado na foto, foi constatado que o concreto houve carbonatação.

Figura 16 – Pontos de carbonatação.



Fonte: Autor

■ Teste analíticos:

Figura 17 – Reagente de cloreto e fenolftaleína.



Fonte: Autor

■ Mecanismo de ocorrência:

Como apresentado até o momento, a corrosão da armadura foi decorrente a sua exposição a um meio agressivo, causando assim a reação expansiva do processo de corrosão.

■ Solução:

A recuperação das armaduras, danificadas pela corrosão, é delicada segundo Helene (1986). Requer uma mão de obra especializada. Consiste em três etapas, sendo elas:

Etapa 01 Efetuar uma limpeza rigorosa, de preferência com jato de areia e quebra de todo o concreto solto ou fissurado, inclusive das camadas de óxidos/hidróxidos das superfícies das barras.

Etapa 02, com base em análise foi detectado algumas partes com perda de seção transversal das armaduras atacadas. Em algumas partes irá preciso fazer ancoragem química, em outra parte será necessário fazer a inserção de novas armaduras longitudinais e novos estribos. Sempre que for empregado a solda, colocar eletrodos controlando o tempo e a temperatura para que não se tenha mudança da estrutura do aço, principalmente se for da classe B (deformados a frio).

Etapa 3 é a reconstrução do cobrimento das armaduras de preferência com concreto bem adensado, com o intuito de impedir a penetração de umidade, oxigênio e agentes agressivos até a armadura, recomposição da área da seção de concreto original e por fim, propiciar um meio que garanta a manutenção da capa passivadora do aço.

A reconstrução do cobrimento pode ser executada de acordo com alguns requisitos: o concreto projetado em espessura mínima de 50mm, tem boa aderência ao concreto antigo e não requer fôrmas, mas tem a desvantagem de gerar perda de materiais e degradar o ambiente.

Por isso se fazer o uso de adesivos a base epóxi são úteis, pois o mesmo faz união do concreto antigo com o novo, e tem maior vantagem em relação ao concreto projetado por impermeabilizar definitivamente a armadura, impedindo que se forme a corrosão mesmo que haja a carbonatação superficial.

De acordo com Souza e Ripper (1998), no caso de estruturas recém-construídas, os reparos devem ser feitos imediatamente após a retirada das fôrmas, para diminuir a possibilidade de existirem grandes diferenças entre as propriedades dos dois concretos. O concreto de reposição deverá ter resistência no mínimo igual à do concreto existente na estrutura, possuir granulometria e diâmetro máximo dos agregados compatíveis com o serviço, além de apresentar uma trabalhabilidade conveniente, a qual poderá ser melhorada com o uso de aditivos fluidificantes.

## **11. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As manifestações patológicas das estruturas de concreto armado podem decorrer de diversos fatores, dessa forma, a realização de estudos que buscam investigar, caracterizar e diagnosticar essa problemática são indispensáveis para que a recuperação dos elementos danificados seja feita de forma eficiente.

Além de que, ao se entender as causas e origens desses problemas, pode-se traçar critérios preventivos para garantir o desempenho das edificações, corroborando com a constante evolução do processo produtivo e o correto uso das edificações.

Portanto, o conhecimento das origens, formas de manifestação e os mecanismos de deterioração das estruturas é de fundamental importância para a evolução das diversas etapas envolvidas na construção de estruturas de concreto armado. O conhecimento das falhas mais comuns por todos os envolvidos no processo podem embasar a tomada de decisões referente aos procedimentos a serem adotados para garantir a durabilidade e desempenho satisfatórios das estruturas de concreto armado.

A partir deste estudo definimos que o conhecimento sobre as patologias é de grande importância, tanto para a segurança como para a durabilidade e maior vida útil das edificações, bem como de intenção para ser uma base para estudos futuros, mais aprofundados, com intervenções e ensaios práticos, mas tem a característica de ter buscado sintetizar as ocorrências patológicas nas estruturas de concreto, desde a verificação dos procedimentos das normas listando os cuidados necessários para se evitarem as patologias em cada etapa.

## 12. REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 12654. Controle tecnológico de materiais componentes do concreto - Procedimento, 2000.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 14931. Execução de estruturas de concreto - Procedimento, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 15575. Edificações habitacionais — Desempenho, 2013.

AGUIAR, J. E. Durabilidade, proteção e recuperação das estruturas. Notas de aula. Especialização em Construção Civil (Especialização) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

AZEVEDO, M. T. Patologia das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto – Ciência e Tecnologia. v.2; São Paulo, 2011.

BASTOS, P. S. S. Fundamentos do Concreto Armado – Notas de Aula. UNESP. Bauru, São Paulo, 2006.

PAULO H, PAULO R. L. Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. São Paulo: Pini, 1997.

CÁNOVAS, M. F. Patologia e terapia do concreto armado. Tradução de M. Celeste Marcondes, Beatriz Cannabrava. São Paulo: PINI, 1988

NEVILLE, A. Propriedades do Concreto. São Paulo: Pini, 1997.

PIANCASTELLI E. M. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado. Ed. Departamento de Estruturas da EEUFMG – 1997.

CASCUDO, O. O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: PINI, 1997

