



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
CENTRO MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL FERREIRA DA SILVA

**PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO DE  
CASO DE UM REFORÇO FEITO NO CENTRO ESPECIALIZADO DE  
REABILITAÇÃO - CER EM PAU DOS FERROS/RN**

PAU DOS FERROS – RN  
2017

GABRIEL FERREIRA DA SILVA

**PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO DE  
CASO DE UM REFORÇO FEITO NO CENTRO ESPECIALIZADO DE  
REABILITAÇÃO - CER EM PAU DOS FERROS/RN**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Msc. Rogério de Jesus Santos - UFERSA.

Coorientador: Prof. Bel. Jennef Carlos Tavares – UFERSA.

PAU DOS FERROS – RN  
2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586p SILVA, GABRIEL FERREIRA.  
PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UM  
ESTUDO DE CASO DE UM REFORÇO FEITO NO CENTRO  
ESPECIALIZADO DE REABILITAÇÃO - CER EM PAU DOS  
FERROS/RN / GABRIEL FERREIRA SILVA. - 2017.  
56 f. : il.

Orientador: ROGERIO DE JESUS SANTOS.  
Coorientador: JENNEF CARLOS TAVARES.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,  
2017.

1. Patologia. 2. Reforço. 3. Boletim de  
Lichtenstein. I. SANTOS, ROGERIO DE JESUS ,  
orient. II. TAVARES, JENNEF CARLOS, co-orient.  
III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

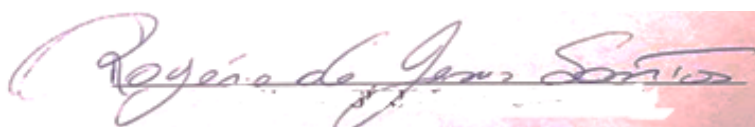
GABRIEL FERREIRA DA SILVA

**PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO DE  
CASO DE UM REFORÇO FEITO NO CENTRO ESPECIALIZADO DE  
REABILITAÇÃO - CER EM PAU DOS FERROS/RN**

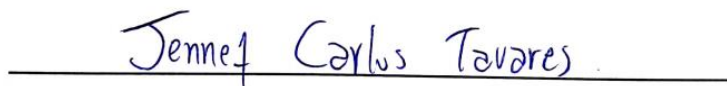
Monografia apresentada a Universidade  
Federal Rural do Semiárido – UFERSA,  
Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros para  
obtenção do título de Engenheiro Civil.

APROVADA EM: 23/10/2017

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Msc. Rogério de Jesus Santos – UFERSA  
Orientador



Prof. Bel. Jennef Carlos Tavares  
Coorientador



---

Felipe Corrêia de Páiva – Eng. Civil  
Membro Externo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pelas graças que Ele me proporcionou.

Agradeço a minha família em especial a minha mãe Maria Dilvanir Ferreira e a minha irmã Mayara Raquel Ferreira por todo apoio que me deram nessa caminhada até aqui.

Agradeço aos amigos que me ajudaram, Ruth Oliveira Alves, Neuba Rocha e Anna Luiza Ribeiro, me dando suporte para prosseguir nessa batalha, essa vitória é também graças a vocês.

Agradeço ao meu orientador Rogério de Jesus e ao meu Coorientador Jennef Carlos, pela paciência, pelas broncas e pelos conselhos que me ajudaram na elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial agradeço a Luana, Ana Nery e Kallyne, que mesmo distante foram essenciais para que eu conseguisse chegar onde estou, eu amo muito vocês.

Agradeço aos amigos que fiz nessa estadia em Pau dos Ferros, Naieide, Fabiola, Antônio, Jefferson, Larissa, Juliana, Renata, Jhully e Airles, muito obrigado por todos os momentos de descontração e por todo incentivo.

Agradeço a todos que fazem parte da Ufersa – Campus Pau dos Ferros, todos os docentes, técnicos e terceirizados, em especial a Rita e Charliane, por muitos momentos de descontração vivenciados nos corredores.

## RESUMO

A busca por qualidade e segurança nas construções foi um fator incentivador para os avanços ocorridos na patologia das estruturas, além da necessidade de se estudar o desempenho e a durabilidade das estruturas de concreto armado. Com isto, a necessidade de se identificar as diversas manifestações patológicas que afetam as estruturas de concreto armado, como também, suas causas e soluções, são fatores de grande importância para a Engenharia Civil. Dessa forma esse trabalho tem como objetivo conceituar a patologia das estruturas de concreto armado, com análise de um estudo de caso de um reforço estrutural realizado no Centro Especializado em Reabilitação localizado na cidade de Pau dos Ferros – RN, baseado no Boletim Técnico de Lichtenstein, com análise das características para obtenção do laudo e métodos aplicados para o reforço realizado na edificação.

**Palavras-chave:** Patologia; Reforço Estrutural; Boletim de Lichtenstein

## **ABSTRACT**

The search for safety and quality in the constructions was an encouraging factor for the advances occurred in the pathology of the structures, in addition to the need to study the performance and durability of concrete structures. With that, the necessity to identify the different pathological manifestations that affect the structures of reinforced concrete, as well as the causes and remedy, are factors of great importance for Civil Engineering. In this way this work aims to conceptualize the pathology of reinforced concrete structures, with analysis of a case study of a structural reinforcement carried out at the Specialized Center for Rehabilitation located in the city of Pau dos Ferros – RN, based on the Technical Bulletin of Lichtenstein, with the analysis of the characteristics to obtain the report and methods applied for the reinforcement performed in the edification.

**Keywords:** Pathology; Structural reinforcement; Lichtenstein Bulletin

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1: FATORES QUE GERAM PROBLEMAS PATOLÓGICOS.....                                                                                                                                        | 15 |
| FIGURA 2: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO .....                                                                                                                           | 17 |
| FIGURA 3: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO .....                                                                                                                    | 18 |
| FIGURA 4: CORRESPONDÊNCIA ENTRE CLASSE DE AGRESSIVIDADE E QUALIDADE DO CONCRETO.<br>.....                                                                                                     | 19 |
| FIGURA 5: EXEMPLO DE A) FISSURA; B) TRINCA; C) RACHADURA. ....                                                                                                                                | 20 |
| FIGURA 6: FISSURAÇÃO DEVIDO A ESFORÇO DE TRAÇÃO .....                                                                                                                                         | 20 |
| FIGURA 7: FISSURAS EM UMA EDIFICAÇÃO; .....                                                                                                                                                   | 21 |
| FIGURA 8: CAUSAS DAS FISSURAS .....                                                                                                                                                           | 21 |
| FIGURA 9: EFLORESCÊNCIA PRESENTE EM UMA CONSTRUÇÃO.....                                                                                                                                       | 24 |
| FIGURA 10: CORROSÃO EM ARMADURAS;.....                                                                                                                                                        | 25 |
| FIGURA 11: TIPOS DE CORROSÃO .....                                                                                                                                                            | 26 |
| FIGURA 12: REAÇÃO DA FENOFITALEÍNA EM UMA VIGA. ....                                                                                                                                          | 27 |
| FIGURA 13: DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO EM VIGA. ....                                                                                                                                             | 28 |
| FIGURA 14: DESGASTE DO CONCRETO POR ABRASÃO. ....                                                                                                                                             | 29 |
| FIGURA 15: DESGASTE DO CONCRETO POR EROSÃO.....                                                                                                                                               | 29 |
| FIGURA 16: DESGASTE DO CONCRETO POR CAVITAÇÃO.....                                                                                                                                            | 30 |
| FIGURA 17: FLUXOGRAMA DE DIAGNÓSTICO. ....                                                                                                                                                    | 31 |
| FIGURA 18: A) LIMPEZA DE ARMADURA ATRAVÉS DE JATEAMENTO DE ALTA PRESSÃO; B)<br>LIMPEZA DE SUBSTRATO ATRAVÉS DE JATEAMENTO DE ALTA PRESSÃO; C) E D) LIMPEZA DE<br>ARMADURA ATRAVÉS ESCOVA..... | 33 |
| FIGURA 19: PROCESSO DE INJEÇÃO DE FISSURAS .....                                                                                                                                              | 35 |
| FIGURA 20: REPARO DE UMA FISSURA POR COSTURA.....                                                                                                                                             | 35 |
| FIGURA 21: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PRFC .....                                                                                                                                           | 38 |
| FIGURA 22: FLUXOGRAMA DO ESTUDO.....                                                                                                                                                          | 40 |
| FIGURA 23: LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE PAU DOS FERROS, NO MAPA DO RIO GRANDE DO<br>NORTE .....                                                                                                   | 41 |
| FIGURA 24: PROJETO ARQUITETÔNICO DA EDIFICAÇÃO JÁ EXISTENTE, MAIS A ÁREA A SER<br>AMPLIADA. ....                                                                                              | 41 |
| FIGURA 25: FLUXOGRAMA DE ATUAÇÃO PARA A RESOLUÇÃO DOS PROBLEMAS PATOLÓGICOS; .....                                                                                                            | 43 |
| FIGURA 26: PILAR DETERIORADO, COM PERDA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO CONCRETO E DA<br>ARMADURA.....                                                                                                | 44 |
| FIGURA 27: PILAR DETERIORADO, APRESENTANDO COBRIMENTO INSUFICIENTE; .....                                                                                                                     | 46 |
| FIGURA 28: ESCORAMENTO DA ESTRUTURA PARA REFORÇO DOS PILARES;.....                                                                                                                            | 47 |
| FIGURA 29 A E B: PILARES REFORÇADOS ATRAVÉS DO AUMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA<br>SEÇÃO.....                                                                                                  | 48 |
| FIGURA 30: PRIMER UTILIZADO NO REFORÇO ESTRUTURAL, PARA EVITAR A CORROSÃO DA<br>ARMADURA;.....                                                                                                | 49 |

## SUMÁRIO

|                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                   | <b>9</b>  |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>                                                                    | <b>11</b> |
| 2.1. GERAL .....                                                                             | 11        |
| 2.2. ESPECÍFICOS .....                                                                       | 11        |
| <b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                          | <b>12</b> |
| 3.1. CONCEITOS BÁSICOS E HISTÓRICOS .....                                                    | 12        |
| 3.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS GERADAS EM FASE DE CONCEPÇÃO DE PROJETO .....                 | 15        |
| 3.3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS GERADAS EM FASE DE EXECUÇÃO DA ESTRUTURA (CONSTRUÇÃO) .....   | 16        |
| 3.4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS GERADAS NA FASE DE UTILIZAÇÃO DA ESTRUTURA (MANUTENÇÃO) ..... | 18        |
| 3.5. TIPOS DE PATOLOGIAS .....                                                               | 19        |
| 3.5.1. Fissuras e Trincas .....                                                              | 19        |
| 3.5.2. Eflorescência .....                                                                   | 23        |
| 3.5.3. Corrosão .....                                                                        | 25        |
| 3.5.4. Carbonatação .....                                                                    | 26        |
| 3.5.5. Desagregação do concreto .....                                                        | 27        |
| 3.5.6. Desgaste do concreto .....                                                            | 28        |
| 3.6. FORMAS DE REFORÇO E REPARO NO CONCRETO ARMADO .....                                     | 30        |
| 3.6.1. Polimento .....                                                                       | 32        |
| 3.6.2. Técnicas de lavagem e limpeza da superfície de concreto .....                         | 32        |
| 3.6.3. Corte .....                                                                           | 33        |
| 3.6.4. Demolição .....                                                                       | 34        |
| 3.6.5. Reparo de fissuras .....                                                              | 34        |
| 3.7. REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO .....                                          | 36        |
| 3.7.1. Reforço mediante ao aumento da seção transversal .....                                | 36        |
| 3.7.2. Reforços em pilares .....                                                             | 37        |
| 3.7.3. Argamassas Comerciais .....                                                           | 38        |
| <b>4. METODOLOGIA .....</b>                                                                  | <b>40</b> |
| 4.1. LOCALIZAÇÃO .....                                                                       | 40        |
| 4.2. BOLETIM DE LICHTENSTEIN .....                                                           | 41        |
| <b>5. ESTUDO DE CASO .....</b>                                                               | <b>44</b> |
| <b>6. CONCLUSÃO .....</b>                                                                    | <b>50</b> |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>REFERÊNCIAS .....</b> | <b>52</b> |
|--------------------------|-----------|

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios o ser humano constrói, utilizando os mais diversos tipos de materiais. Com o tempo e o avanço da tecnologia das edificações a qualidade dessas construções foi sendo aprimorada, devido à descoberta de novos materiais, novas técnicas construtivas e também a preocupação com a qualidade e vida útil da estrutura. Tais avanços proporcionaram, dentro de certos limites, a construção de estruturas adaptadas as necessidades do uso da mesma, seja ele habitacional, laborais ou de infraestrutura.

A busca por qualidade e segurança nas construções foi um fator incentivador para os avanços ocorridos na patologia das estruturas, além da necessidade de se estudar o desempenho e a durabilidade das estruturas de concreto armado. Com isto, a necessidade de se identificar as diversas manifestações patológicas que afetam as estruturas de concreto armado, como também, suas causas e soluções, são fatores de grande importância para a Engenharia Civil.

Manifestações patológicas podem acontecer em qualquer estrutura, não são apenas em estruturas “velhas”, estes problemas podem surgir em estruturas onde se tenha tido um bom projeto, uso adequado de materiais e uma correta execução e uso da estrutura. Porém com o avanço da tecnologia ficou possível identificar a origem, a causa, os sintomas e os meios de reparo dessas manifestações (SANTOS, 2014).

Segundo a revista PINI, nos últimos vinte anos houve um crescimento exacerbado da construção civil, uso de novas tecnologias de construção, novos materiais, novas técnicas executivas, que traziam benefícios em partes, porém acarretava a estrutura certo risco, pois, a falta de conhecimento sobre as características desses novos materiais e técnicas construtivas como também o uso de mão de obra desqualificada acarretou o surgimento de inúmeras manifestações patológicas nas estruturas, ocasionando uma diminuição da sua vida útil.

A ocorrência de patologia nas estruturas pode está associada a erros em uma das etapas da construção, podendo ser no projeto, na execução, no uso dos materiais ou no uso da edificação, podendo surgir desde o início da obra, na fase de uso, ou após anos da conclusão da estrutura.

“Designa-se genericamente por Patologia das estruturas esse novo campo da engenharia das construções que se ocupa das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas”(SOUZA E RIPPER 1998, p.14).

Segundo Trindade (2015) as causas de patologias as estruturas de concreto são diversos, mostrando assim a importância do estudo dessa área da engenharia, buscando evitar problemas que comprometam a vida útil da estrutura, como também buscar técnicas que possam sanar ou diminuir problemas existentes, que possam comprometer a estrutura por completo, e também recuperar ou reforçar as estruturas que passaram por esses processos de degradação.

Este trabalho busca apresentar o tema patologia das estruturas de concreto armado, que ocorrem na maioria das edificações devido a erros em alguma das fases da construção, como a fase de projeto, execução, uso inadequado de matérias e uso inadequado da edificação. A escolha por esse tema vem da necessidade de evitar a ocorrência dessas manifestações patológicas que afetam a qualidade da estrutura, diminuindo sua vida útil, além de acarretar maiores custos com reparo e reforço das estruturas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.GERAL**

- Realizar um estudo de caso sobre o reforço estrutural feito, no Centro Especializado de Reabilitação - CER na cidade de Pau dos Ferros/RN.

### **2.2.ESPECÍFICOS**

- Analisar manifestações patológicas originadas no concreto armado, suas causas, prevenção e recuperação, visando seu melhor desempenho de uma forma geral;
- Realizar um comparativo entre o reforço estrutural feito e o boletim técnico de Lichtenstein;
- Realizar um estudo dos materiais utilizados e métodos para a utilização do reforço estrutural;

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. CONCEITOS BÁSICOS E HISTÓRICOS**

Os primeiros materiais a serem empregados nas construções antigas foram a pedra natural e a madeira, por estarem disponíveis na natureza. O ferro, o aço e o concreto só foram empregados nas construções séculos mais tarde (BASTOS, 2006).

A pedra era um ótimo material para se trabalhar a compressão, mas ineficiente quanto a tração, vindo a romper em grandes vãos. Devido a esse problema, os romanos foram mestres na construção de pontes de pedra em arcos, pois já que não podiam usar vigas retas para vencer grandes vãos, usaram de arcos onde cada peça de pedra era estudada para só trabalhar em compressão (BOTELHO 1996).

Trindade (2015) diz que para vencer grandes vãos fez-se necessário o uso de múltiplos arcos e isso implicou em dificuldades na execução devido às limitações tecnológicas da época.

Com o avanço da tecnologia houve a descoberta de novos materiais, como os materiais cimentícios que segundo o Instituto Brasileiro de Concreto, IBRACON (2005), podem ser considerados como os materiais mais importantes de todas as épocas da civilização humana, porque foram à matéria-prima mais importante que possibilitou suprir as necessidades de edificações e obras de infra-estrutura.

Mesmo com o surgimento e uso do concreto, material que consiste na ligação do cimento, pedra, areia e água, as dificuldades continuaram as mesmas, pois este material resiste a compressão dez vezes mais que a tração, desta maneira a região tracionada fica suscetível ao aparecimento de trincas que afetam questões estéticas da estrutura e podem leva-la ao colapso, dependendo de suas dimensões (TRINDADE, 2015).

O concreto armado surgiu da necessidade de aliar a durabilidade da pedra com a resistência do aço, com as vantagens do material composto poder assumir qualquer forma, com rapidez e facilidade, e com o aço envolvido e protegido pelo concreto para evitar a sua corrosão (BASTOS, 2006).

Durante muito tempo o concreto foi considerado um material imensamente durável, devido a algumas obras muito antigas ainda encontrarem-se em bom estado, porém a

deterioração precoce de estruturas de concreto recentes remete aos porquês das patologias do concreto (BRANDÃO e PINHEIRO, 1999).

A preocupação com a qualidade das estruturas se dá desde muito tempo atrás, Cánovas (1988), diz que na Mesopotâmia, há quatro mil anos, existia uma preocupação com os defeitos que surgiam nas estruturas, o que é reforçado pelo Código de de Hamurabi, que com relação a essas preocupações se sobressaiam cinco regras rígidas, tendo em vista a prevenção de deformidades nas edificações. Essas regras eram:

- Se um construtor faz uma casa para um homem e não a faz firme e seu colapso causa a morte do dono da casa, o construtor deverá morrer;
- Se causa a morte do filho do dono da casa, o filho do construtor deverá morrer;
- Se causa a morte de um escravo do proprietário da casa, o construtor deverá dar ao proprietário um escravo de igual valor;
- Se a propriedade for destruída, ele deverá restaurar o que foi destruído por sua própria conta;
- Se um construtor faz uma casa para um homem e não a faz de acordo com as especificações e uma parede desmorona, o construtor reconstruirá a parede por sua conta.

A rigidez das regras contidas no referido código dá uma noção da preocupação com que os governantes tinham com a qualidade das construções. Todavia, o modo disponível à época para fazer valer essa qualidade era através da intimidação dos construtores (FREIRE, 2010).

Com a chegada do concreto armado e suas diversas vantagens com relação às demais técnicas e materiais empregados na época, logo se expandiu e passou a ser utilizado em grandes escalas. Trindade (2015) afirma que com essa aceleração no uso do concreto armado vieram também as manifestações patológicas que podem surgir devido ao desleixo, má utilização, mão de obra desqualificada ou até mesmo falta de conhecimento de como empregá-lo corretamente.

O grande uso do concreto armado gera uma alta demanda de funcionários para a área, levando a muitas contratações de mão de obra não qualificada graças à necessidade e carência em determinados setores. Tais características podem trazer prejuízos no que se diz respeito à qualidade em uma obra, podendo esse ser o fator que leve ao aparecimento de manifestações patológicas (THOMAZ, 1989).

A expressão patologia na engenharia civil foi definida baseando-se no conceito usado na medicina. Gonçalves 2015 define patologia:

O termo “patologia”, no contexto da Construção Civil, está alinhado com a definição encontrada na Medicina, na qual estudam-se as origens, os sintomas e a natureza das doenças. 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) (GONÇALVES 2015, p.18)

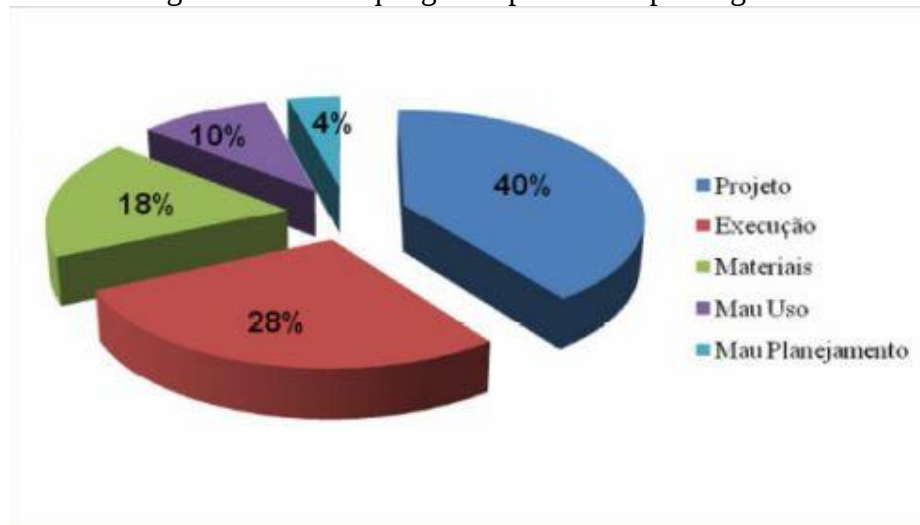
Degussa (2008) apud Gonçalves (2015) entende patologia como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis e à terapia cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles devidos ao envelhecimento natural.

Deve ser levado em consideração que para um dano qualquer na estrutura, existe a possibilidade de vários fatores serem responsáveis. Helene (1992) declara que estes danos podem vir apenas a causar incômodos para aqueles que irão utilizar a obra segundo o fim para que foi feita, tais como pequenas infiltrações até grandes problemas que podem levar a estrutura ao colapso.

Os danos causados as estruturas de concreto, devido as suas patologias, podem variar em diversas escalas, desde danos não visíveis como pequenas fissuras, até grandes colapsos de estruturas que acarretam danos irreparáveis, como a perda de vidas. Não é difícil encontrar estruturas nas quais foi cometido um grande erro em qualquer uma das etapas e mesmo assim não apresentam grandes danos, mas também encontra-se estruturas que apresentam grandes danos que reduzem a durabilidade e resistência mecânica, porém sua causa vem de erros ou falhas menores, mas quando atuam de maneira conjunta, superpõem seus efeitos e trazem grandes conseqüências a estrutura (CÁNOVAS, 1988).

Existem manifestações patológicas geradas por diversos motivos, falhas na fase de projeto, falhas na execução ou falhas na ocupação da estrutura. A Figura 1 mostra os resultados do estudo de Fortes (1994), a cerca da distribuição da origem das manifestações patológicas em uma estrutura, desde a fase de projeto, até o uso da estrutura.

Figura 1: Fatores que geram problemas patológicos



FONTE: Fortes (1994), adaptado.

A figura acima ilustrada por Fortes (1994) mostra que os principais motivos do surgimento de patologias na estrutura estão associados a erros em fase de projeto, levantamento de ações, falta ou excesso de informação, falta de compatibilidade, e execução, falta de conhecimento do comportamento dos materiais, controle e qualidade de mão de obra.

### 3.2.MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS GERADAS EM FASE DE CONCEPÇÃO DE PROJETO

As dificuldades técnicas e o custo para solucionar um problema patológico, oriundo de uma falha de projeto, estão relacionados com a rapidez com que essa falha é solucionada. Uma falha originada no estudo preliminar necessita de uma solução muito mais complexa do que uma que venha a ocorrer na fase de projeto (SANTOS, 2014).

Trindade (2015), afirma que o surgimento de patologias em estruturas de concreto armado que tenham suas causas na concepção do projeto são aquelas que advêm de um mau planejamento do mesmo ou falhas técnicas, sejam por negligência ou desconhecimento. Percebe-se que as possíveis razões das falhas ocorridas durante a etapa de projeto são geradas de um estudo preliminar fraco, incompleto ou de anteprojetos equivocados, o que finda encarecendo o processo construtivo, ou contribui para transtornos relacionados a utilização da obra.

Erros ocorridos na realização do projeto final geralmente acarretam sérios problemas patológicos, tais como: projetos inadequados (deficiência no cálculo da estrutura, equívoco na avaliação da resistência do solo, má definição do modelo analítico); falta de compatibilidade

entre a estrutura e a arquitetura, bem como os demais projetos civis; especificação inadequada de materiais; detalhamento insuficiente ou errado; erros de dimensionamento (SANTOS, 2014).

Cánovas (1988), determina quatro fatores essenciais, em relação a fase de projeto, nos quais é preciso estar atento e cumprir todos os requisitos necessários para que o sucesso seja obtido.

- As condições de equilíbrio básicas da Estática devem ser cumpridas.
- A compatibilidade das deformações das próprias peças estruturais e suas uniões.
- Representação em escala bastante clara, com as dimensões e características de cada elemento estrutural, em especial as medidas que se referem às armaduras.
- A conveniência de elaborar normas detalhadas, nas quais estejam presentes todas as características e detalhes dos materiais a serem empregados na estrutura, forma de controle e armazenamento, penalizações etc. Esse documento, ao qual, geralmente não se dá importância, é absolutamente fundamental e de grande importância para se obter uma construção sem defeitos e de qualidade: e, em caso de litígio, é um documento de grande valor.

Segundo Souza e Ripper (1998), comumente os entraves e o fator custo para curar uma estrutura com danos gerados de erros da concepção do projeto, são proporcionais a antiguidade da falha, ou seja, erros no início da concepção e levados adiante nas outras etapas, tendem a causar um maior prejuízo. Um erro cometido no anteprojeto, por exemplo, possui uma solução bem mais complexa do que um erro cometido já na concepção do projeto.

O projeto estrutural é o que possui maior importância e sendo aquele que em caso de desatenção acarretara maiores problemas a estrutura, assim o responsável técnico pelo projeto estrutural deve estar atento e ciente de sua responsabilidade. Segundo Marcelli (2007), erros em projetos estruturais não são impossíveis de acontecer, o que ocorre em suma maioria é que esses erros são corrigidos a tempo, ou não são graves o suficiente para serem notados.

### 3.3.MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS GERADAS EM FASE DE EXECUÇÃO DA ESTRUTURA (CONSTRUÇÃO)

Ao fim da fase de projeto, inicia-se a fase de execução da estrutura, ou seja, o planejamento da edificação, que deve ser feito antes de qualquer processo da construção, de

forma a garantir um bom andamento da obra, com todo o cronograma para a execução das atividades da obra.

Os responsáveis técnicos da obra juntamente com os mestres de obras, devem estar totalmente atentos ao projeto e a todas as informações que o mesmo fornece, tais como escalas, posições dos elementos estruturais, dimensões dos mesmos e demais medidas para que a execução ocorra da melhor maneira possível, evitando que futuramente surjam patologias na estrutura (TRINDADE, 2015).

No que diz respeito a obras de edificação comum habitacional existem diversos erros comuns visíveis. Souza e Ripper (1998) apud Santos (2014) cita alguns desses erros:

Quando se trata de obras de edificação habitacional, alguns erros são grosseiros e saltam a vista. Dentre eles pode-se citar: falta de prumo, esquadro e alinhamento de partes estruturais e alvenaria, desnivelamento de pisos, falta de caimento correto em pisos com uso freqüente de água, assentamento excessivamente espesso de revestimentos cerâmicos e flechas excessivas em lajes (SANTOS 2014, p.18).

Nas Figuras 2 e 3 mostram alguns desses erros comuns e tão visíveis que ocorrer devido a erros na execução do projeto. Os possíveis erros mostrados na imagem abaixo podem ser, na figura 2 traço do concreto, concreto poroso, e na figura 3 cobertura insuficiente.

Figura 2: Manifestações patológicas em estruturas de concreto



FONTE: Santos (2014) apud Araújo (2014).

Figura 3: Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado



FONTE: [goo.gl/JZHh3q](https://goo.gl/JZHh3q)

### 3.4.MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS GERADAS NA FASE DE UTILIZAÇÃO DA ESTRUTURA (MANUTENÇÃO)

Mesmo com todo controle e planejamento nas fases de projeto e execução da construção para que não ocorram manifestações patológicas, isso ainda não garante a sua estrutura que essas manifestações não irão surgir. Além da vida útil da estrutura, o mau uso da mesma pode ser um fator que gere danos patológicos a edificação.

Uma estrutura só irá apresentar um correto desempenho se a mesma tiver sendo usada para aquilo que foi projetada, especialmente quanto aos carregamentos e possível presença de materiais ou elementos agressivos ao concreto armado. Deve-se fazer um planejamento para que haja uma manutenção rotineira dessa estrutura, principalmente em partes onde o desgaste pode ser mais presente, a fim de evitar manifestações patológicas sérias e, em alguns casos, a própria ruína da estrutura (SANTOS, 2014).

A manutenção se apresenta como um fator fundamental a estrutura, pois na maioria dos casos, onde não há uma manutenção periódica surgem manifestações patológicas na edificação. Deve também haver manutenção quanto ao uso, como também a classe de agressividade a qual a estrutura está exposta, pois uma região que inicialmente tinha uma

baixa classe de agressividade pode ter tido um grande avanço, assim aumentando o número de elementos agressivos atuantes no concreto. A resistência do concreto a ser usado é definida por sua classe de agressividade, segundo a NBR 6118/2014, descritas na Figura 4.

Figura 4: Correspondência entre 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 (ABNT NBR 8953)                                                                                           | CA      | $\geq C20$              | $\geq C25$  | $\geq C30$  | $\geq C40$  |
|                                                                                                                              | CP      | $\geq C25$              | $\geq C30$  | $\geq C35$  | $\geq C40$  |
| Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto $\text{kg/m}^3$                                                     | CA e CP | $\geq 260$              | $\geq 280$  | $\geq 320$  | $\geq 360$  |
| CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado.<br>CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido. |         |                         |             |             |             |

FONTE: NBR 6118/2014

### 3.5.TIPOS DE PATOLOGIAS

#### 3.5.1. Fissuras e Trincas

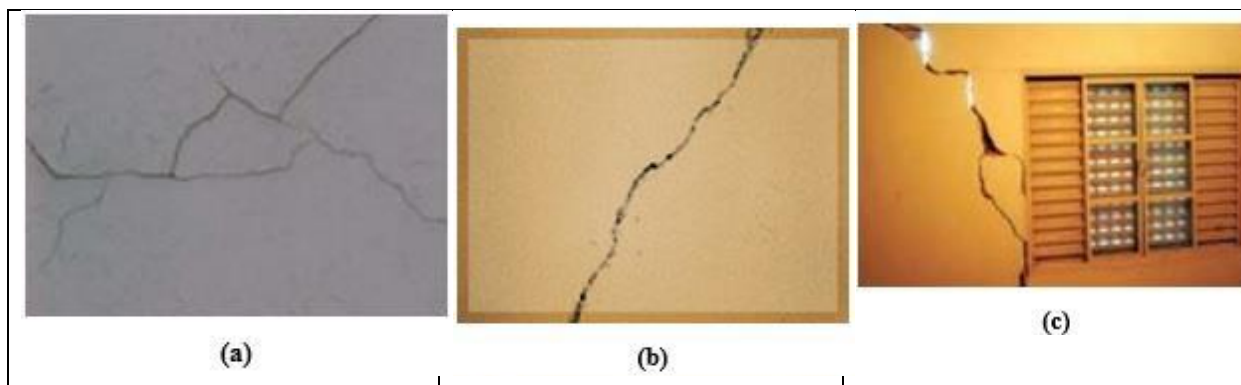
As trincas e fissuras são os tipos de manifestações patológicas mais conhecidas pelos leigos, devido as suas características que tornam a estrutura desagradável ao olhar, pois além de não ser esteticamente agradáveis, trazem consigo uma sensação de insegurança.

Muito são as denominações dadas pelos leigos para essa patologia, fissuras, trincas, fendas, falhas, etc, aparentemente determinam a mesma coisa, porém não são. De fato, uma abertura de um alvenaria ou estrutura pode ser classificada de duas formas: pelas dimensões da abertura ou pelas alterações em suas dimensões que podem ou não ocorrer. A revista Obras Online (2006), define cada uma da seguinte forma:

- Fissura é uma abertura em forma de linha, com espessura de até 0,5 mm;
- Trinca é uma abertura em forma de linha, com espessura de 0,5 mm até 1,0 mm;
- Rachadura é uma abertura expressiva, proveniente de acentuada ruptura de massa, cuja espessura varia de 1,0 mm a 1,5 mm;
- Fenda é uma abertura excessiva, que causa divisão da parede, e sua espessura é superior a 1,5 mm.

A Figura 5 mostra exemplos de fissura, trinca e rachadura.

Figura 5: Exemplo de a) fissura; b) trinca; c) rachadura.



FONTE: FÓRUM DA CONSTRUÇÃO (2015) apud. GONÇALVES (2015)

A fissuração ocorre sempre que a deformação a tração a que o concreto está submetido excede sua própria resistência, como mostrado na Figura 6. A capacidade de deformação a tração do concreto varia com a idade e velocidade de aplicação da deformação (GRANATO, 2002).

Figura 6: Fissuração devido a esforço de tração



FONTE: <https://goo.gl/sxWG4n>

Segundo a NBR 6118:2014, afirma que a fissura não leva o concreto a perigo quando as suas aberturas não ultrapassarem de: 0,1 mm para peças expostas e com meio agressivo; 0,2 mm para peças expostas e em meios não agressivos; 0,3 mm para peças protegidas.

Canovas (1988) afirma que fissuras e trincas são patologias que além do próprio risco que trazem para a segurança da estrutura, acabam por propiciar corrosões das armaduras, já que elas acabam deixando o aço exposto.

Oliveira (2012) apud Melo (2014) define que essas manifestações podem ser geradas por recalque do solo, alteração química, sobrecarga, deformabilidade do concreto. Fatores como clima e variação de temperatura também possuem suma importância quando se trata de trincas e fissuras, os materiais podem se expandir e contrair provocando o surgimento das mesmas. A umidade também é um agente causador dessas manifestações, ela pode acontecer de diversas maneiras, ela pode surgir através da umidade resultante da produção dos componentes, da execução do serviço, fenômenos meteorológicos e da própria umidade do

solo. A Figura 7 representa uma fissura que pode ter sido ocasionada por algum desses fatores.

Figura 7: Fissuras em uma edificação;



FONTE: goo.gl/414Aw

A Figura 8 mostra um quadro das possíveis causas de fissuras que surgem no concreto antes e depois do seu endurecimento:

Figura 8: Causas das fissuras

|                         |                              |                              |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Antes do endurecimento  | Resfriamento precoce         |                              |
|                         | Plásticas                    | Retração plástica            |
|                         |                              | Assentamento plástico        |
|                         | Movimento durante a execução | Movimento do concreto fresco |
| Depois do Endurecimento | Físicas                      | Movimento da sub base        |
|                         |                              | Areias com retração          |
|                         |                              | Retração de secagem          |
|                         | Químicas                     | Perda De água                |
|                         |                              | Corrosão do aço              |
|                         |                              | Reação álcali - agregado     |
|                         | Térmicas                     | Carbonatação do cimento      |
|                         |                              | Gelo x degelo                |
|                         |                              | Variações térmicas           |
|                         | Estruturais                  | Contração térmica precoce    |
|                         |                              | Sobrecarga                   |
|                         |                              | Fluência                     |
|                         | Cargas de cálculo            |                              |

FONTE: Granato, 2002.

As fissuras podem ser classificadas em ativas, variação de abertura em função de movimentações higrotérmicas ou outras, e passivas, a abertura é constante, podendo ocorrer

devido a causas internas e externas como, ataques químicos, excesso de carga, cura deficiente do concreto, ação do fogo nas estruturas, retração, recalques diferenciais, expansão do concreto devido à reatividade dos componentes, etc (BARRA, 2017).

Fissuras geradas por retração plástica no concreto fresco ocorrem pelo impedimento à sedimentação das partículas sólidas do concreto, devido algumas causas como, armadura de grande diâmetro ou muito densa, concreto com elevada relação água/cimento ou mau adensado, perda excessiva de água da mistura por falta de estanqueidade das formas. Ocorrem nas primeiras horas após o lançamento do concreto (10min a 3h) e são estáveis após o endurecimento do concreto (SANTOS, 2014).

A variação de temperatura pode causar variações nas dimensões do concreto, gerando dentro do concreto tensões que buscam a expansão ou contração do mesmo, onde o mesmo rígido está impedido de se movimentar, essa variação térmica irá gerar trincas no concreto.

Fissuras devido a essa variação térmica ocorrem mais em vigas contínuas de vários tramos e grandes panos de lajes, devido a sua vinculação que impedem a movimentação da peça. Com grandes volumes de concreto, nessas peças, os materiais utilizados na execução da obra possuem os mais diversos coeficientes de dilatação térmica, causando fissuras em diversas amplitudes.

A variação de temperatura causa nas faces interna e externa de uma laje um gradiente térmico que devido à diferença de dilatação entre as faces. Esse tipo de ocorrência é particularmente comum em apartamentos localizados na cobertura, com a laje superior exposta ao calor durante o dia, e por chuvas e queda de temperatura durante a noite, por exemplo (GONÇALVES 2015, p. 47).

Helene (1992) diz que as fissuras devido à flexão podem ocorrer quando o engenheiro estrutural subdimensiona a estrutura, ou seja, a avaliação da sobrecarga atuante não é feita de maneira correta. Ou então, a fissura pode ser consequência da deficiência dos materiais empregados na execução e também por mudança no tipo de utilização da estrutura, causando assim cargas maiores do que as previstas em projeto.

O recalque também é um fator causador de fissuras e o local onde a fissura está ocorrendo, indica o local onde o mesmo está atuando, ou seja, a fissura indica o local de ocorrência do recalque. A dimensão da fissura indica também a intensidade na qual aquele recalque está atuando sobre a estrutura.

Os solos apresentam em sua composição água e muitas das vezes matéria orgânica, quando a estrutura do solo for de argila dura ou areia compacta apresentam recalques devido a mudança de forma, já as argilas moles e solos fofos apresentam recalques devido a redução do

volume, onde a água presente procura outro caminho para percorrer (OLIVEIRA, 2012 apud. MELO, 2012).

Fissuras devido aos carregamentos ocorrem pela incapacidade da estrutura resistir às ações a qual a mesma foi imposta, a mesma pode ter se dado por falha de cálculo estrutural, por sobrecarga ou falhas na execução. São fissuras gradativas que podem se estabilizar com o tempo, porém podem levar ao esmagamento do concreto ou plastificação do aço, levando a estrutura ao colapso.

A corrosão pode ocasionar fissuras a estrutura de concreto, já que o processo de corrosão da armadura faz com que a mesma cresça o seu volume, se expandindo dentro do concreto, gerando tensões sobre o mesmo, o que ocasionara pequenas fissuras.

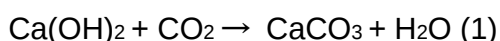
A corrosão do aço em elementos estruturais causa um aumento de volume de até oito vezes na parte corroída da armadura, produzindo dentro do concreto tensões de tração que o mesmo não resiste, fazendo surgir pequenas fissuras ao longo das armaduras situadas mais próximas da superfície do elemento (MARCELLI, 20007).

### **3.5.2. Eflorescência**

O contato da água corrente de baixa dureza com a pasta de cimento tende a dissolver ou hidrolisar os componentes que contém cálcio, como o hidróxido de cálcio, atingindo o equilíbrio químico e percolando tais compostos contidos no concreto. Este tipo de água provém das chuvas, infiltrações, umidade, etc (GENTIL, 1996).

Este processo de dissolução e hidrólise do cálcio presente no concreto, geram depósitos salinos na superfície da alvenaria, como resultado da exposição a essas águas correntes, podendo ocorrer em qualquer elemento da edificação (GONÇALVES, 2015).

Esta forma de decomposição química diminui a resistência do concreto deixando os constituintes cimentícios como géis de sílica e alumina. Além do CO<sub>2</sub>, que interage com o material lixiviado formando o carbonato de cálcio, a este processo se da o nome de eflorescência (MEDEIROS, 2005). A equação 1 representa as reações que ocorrem na eflorescência.



Segundo Santos e Filho (2008) apud Melo (2014), eflorescência são camadas cristalinas, na cor branca, surge em tetos, paredes e revestimentos, sua principal composição são sódio, potássio, cálcio e magnésio, é um problema muito comum em fachadas, devido a

maior exposição à intempéries como chuvas, umidade, sujeira, etc. A Figura 9 mostra um exemplo de eflorescência em uma construção.

Figura 9: Eflorescência presente em uma construção.



FONTE: BARRA, 2017.

Sobrinho (2008), afirma que a eflorescência é causada pela combinação dos seguintes fatores:

- Presença de água para dissolver e transportar os sais solúveis até a superfície da alvenaria;
- Quantidade de sais solúveis geralmente presentes nos componentes da alvenaria e/ou na argamassa de revestimento ou assentamento;
- Atuação de pressão hidrostática ou a evaporação que submete a solução se aflorar na superfície da parede.

Tais manchas, comuns em estruturas onde há maior presença de água como túneis de concreto, caixas de água, ocorrendo livre percolação da água, diminuem a proteção química e o pH do concreto, e em alguns casos, formam estalactites decorrentes de lixiviação acentuada (MEDEIROS, 2005).

### 3.5.3. Corrosão

A corrosão é a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica, associada ou não a esforços mecânicos. Na engenharia civil, este processo ocorre nas barras de aço presentes no concreto armado, esse processo causa a degradação na estrutura, causando perdas na seção do aço, e essa perda gera produtos de corrosão de caráter expansivo, fazendo atuar no concreto tensões internas, não previstas em projeto, lascando-o e deixando o aço da estrutura exposto, ocasionando uma aceleração do processo corrosivo (CASCUDO, 2005).

Marcelli (2007) afirma que o fenômeno da corrosão é de natureza eletroquímica, e pode ser acelerado pela presença de alguns agentes agressivos internos e externos, incorporados ao concreto ou gerados pelo meio ambiente.

Características como a qualidade do concreto, tipo de cimento, a alta relação água/cimento (aumento da permeabilidade), densidade e espessura do cobrimento, impurezas nos materiais, ambiente suscetível à umidade, oxigênio, ataque de bactérias, temperatura, correntes elétricas perdidas, são agentes que aumentam a corrosão (GENTIL, 1996).

A Figura 10 apresenta um exemplo de corrosão nas armaduras do concreto armado.

Figura 10: Corrosão em armaduras;



FONTE: SANTOS, 2014.

Ribeiro (2014) definiu que as armaduras podem sofrer as seguintes formas de corrosão:

- Corrosão uniforme: corrosão em toda a extensão da armadura quando esta fica exposta ao meio corrosivo;

- Corrosão Puntiforme ou por pite: os desgastes são localizados sob a forma de pequenas cavidades, também chamadas alvéolos;
- Corrosão intragranular: é processada entre os grãos dos cristais do metal e quando os vergalhões sofrem, principalmente, tensões de tração, podem fissurar ou fraturar perdendo sua estabilidade;
- Corrosão transgranular: que se realiza intragrãos da rede cristalina, podendo levar à fratura da estrutura, quando houver esforços mecânicos;
- Fragilização pelo hidrogênio: corrosão originada pela ação do hidrogênio atômico na sua difusão pelos vergalhões da armadura, propiciando a sua fragilização e, em consequência, a fratura, sendo, no entanto, bastante rara.

A Figura 11 esquematiza as corrosões que ocorrem no aço do concreto armado.

Figura 11: Tipos de corrosão



FONTE: ANDRADE (1992)

#### 3.5.4. Carbonatação

A deterioração do concreto está associada também ao movimento da água nos poros, seja ela em forma líquida ou de vapor, em conjunto com a alta permeabilidade, transportam o CO<sub>2</sub> presentes na atmosfera, que acaba reagindo com a pasta hidratada (BENNAZOUK, 2004).

A carbonatação é um processo natural em estruturas de concreto expostas à ação de dióxido de carbono, gás muito presente na atmosfera, que devido à porosidade no concreto,

percola por ele, que na presença de umidade reage, formando ácido carbônico, formando uma frente de carbonatação na estrutura (SILVA, 2007).

Segundo Neves (2005), a carbonatação está associada a características de exposição do concreto e que o tornem úmido e/ou poroso, características como: relação água/cimento, cura, concentração de dióxido de carbono, consumo de cimento, tipo e teor dos aditivos utilizados.

Uma característica peculiar sobre a carbonatação é que se a mesma ficasse restrita a uma camada inferior ao cobrimento das armaduras, seria até benéfica para a estrutura, pois iria aumentar sua resistência mecânica e química, o que ocorre é que, em função da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, da porosidade e nível de fissuração do concreto, a carbonatação acaba atingindo a armadura, rompendo seu filme óxido que a protege, causando um aumento no seu processo corrosivo (SORETZ, apud HELENE, 1992).

A fenofitaleína é um indicador de carbonatação no concreto, cuja faixa de viragem é 8,3 a 10,0, ou seja, para valores de pH superiores a essa faixa o concreto que não sofreu carbonatação permanece vermelho carmim, enquanto o concreto carbonatado apresenta-se sem alteração de cor. Porém a fenofitaleína é apenas uma aproximação determinação da frente de carbonatação. A variação da massa do corpo de prova pode ser também um indicativo de carbonatação, pois a incorporação de dióxido de carbono para formar ácido carbônico, da ao corpo de prova um acréscimo de massa (NEVES, 2005). Na Figura 12 temos um exemplo de aplicação do indicador ácido-base em uma estrutura de concreto armado carbonatada.

Figura 12: Reação da fenofitaleína em uma viga.



FONTE: MOREIRA (2007).

### **3.5.5. Desagregação do concreto**

Consiste basicamente na desintegração do concreto, perdendo suas características como aglomerante. É também definida como a separação física do concreto em fatias, de

modo que a estrutura passa a perder sua resistência na parte degradada (SOUZA E RIPPER, 1998).

Canóvas (1988) afirma que devido a desagregação os componentes do concreto perdem sua coesão, o que finda por perder significativamente a sua resistência mecânica.

As causas da desagregação do concreto pode se dar pelos seguintes fatores: movimentos das formas, fissuração, corrosão da armadura, ataques biológicos e ao fenômeno de calcinação que se define como a perda de resistência e mudança de cor do concreto, que ocorre na presença de fogo e o desintegra a uma temperatura de 600°C (TRINDADE, 2015). A Figura 13 apresenta uma viga com concreto desagregado.

Figura 13: Desagregação do concreto em viga.



FONTE: ARALDI (2013).

#### **3.5.6. Desgaste do concreto**

O desgaste do concreto ocorre geralmente por três causas; abrasão, erosão e cavitação e se define como a perda progressiva de massa de uma superfície de concreto (SANTOS, 2014).

Silva (2011), define abrasão como sendo a perda gradativa e continua da argamassa superficial e de agregados em uma área limitada, que se dá por ações como atrito ou fricção proveniente do tráfego de pessoas e veículos, ou até pela ação do vento. A alta intensidade do desgaste depende de diversos fatores, tais como: a resistência do concreto, a intensidade do fluxo de pessoas e/ou veículos, exsudação excessiva, cura inadequada e até mesmo por ataques químicos. A Figura 14 mostra o concreto que sofreu desgaste por abrasão.

Figura 14: Desgaste do concreto por abrasão.



FONTE: LATORRE (2002).

A erosão é gerada pela ação de água e vento, em movimento, que arrastam partículas sólidas em suspensão que colidem com a superfície do concreto, ocasionando o seu desgaste. Esse tipo de desgaste é mais comum em calhas, barragens, vertedouros, canais de irrigação, pilares de pontes, etc, ou seja, elementos que estão em total contato com água, agente causador de erosão (SANTOS, 2014). A Figura 15 mostra o concreto que sofreu desgaste por erosão.

Figura 15: Desgaste do concreto por erosão.



FONTE: LATORRE (2002).

Souza e Ripper (1998) definem cavitação como um processo que consiste na formação de bolhas de vapor quando a água está em alta velocidade, na faixa de 12 m/s. Essas bolhas ao entrarem em zonas de maior pressão implodem e se impactam, deixando a superfície do

concreto com aspecto corroído, onde o efeito é mais nocivo dependendo do número de bolhas e do seu tamanho. O problema se agrava devido a região que já passou por esse processo alguma vez está mais propensa a sofrer novamente a cavitação, de modo a aumentar o desgaste da região caso não seja feito reparo na estrutura. A Figura 16 mostra o concreto que sofreu desgaste por cavitação.

Figura 16: Desgaste do concreto por cavitação.



FONTE: LATORRE (2002).

### 3.6.FORMAS DE REFORÇO E REPARO NO CONCRETO ARMADO

Dependendo do nível de deterioração que se encontra uma estrutura, é necessário aplicar algumas técnicas que minimizem ou ponham fim nas manifestações patológicas dessa estrutura, a essas técnicas damos o nome de “recuperação ou reforço da estrutura”, que possuem por finalidade reparar estruturas deterioradas que perderam o seu desempenho parcial ou totalmente.

Segundo Sanchez e Neto apud Noronha, para revista Técnica (2009), a recuperação supõe a substituição de algo que se tenha perdido com o tempo como, por exemplo, a proteção do concreto de cobrimento carbonatado em uma estrutura com muitos anos de exposição a ambiente agressivo, já o reforço é uma intervenção no elemento estrutural que visa principalmente o aumento de sua capacidade de resistir às solicitações a que está submetido, a necessidade de reforço pode se justificar diante do aumento do carregamento ou mesmo para corrigir uma falha do projeto estrutural quando da avaliação dos carregamentos.

O reparo ou recuperação de uma estrutura de concreto é um processo caro e indesejável, pois os mesmos se tratam de procedimentos delicados que geram custos adicionais, exige tempo, mão de obra especializada e nunca terá como resultado final o que se tinha inicialmente executado de uma forma correta, nem quanto ao aspecto técnico como também estético (MARCELLI, 2007).

Para se realizar qualquer reparo ou recuperação na estrutura de concreto deve-se analisar qual a causa que levou ao acontecimento de tal patologia, dessa forma faz-se necessário um diagnóstico da estrutura para que a mesma seja analisada de forma que a recuperação ou reparo feito na peça faça com que a patologia não volte a ocorrer, na Figura 17 temos um fluxograma que apresenta as etapas para se fazer um diagnóstico de uma manifestação patológica de uma estrutura de concreto, somente após um correto diagnóstico pode-se buscar as possíveis técnicas adequadas para a recuperação da estrutura (SANTOS, 2014).

Figura 17: Fluxograma de Diagnóstico.



FONTE: SANTOS (2014).

Para o início do processo de recuperação é necessário uma preparação da superfície que irá ser recuperada. Trindade (2015), define esse processo como intervenção superficial

consistem nas técnicas que visam o preparo do substrato para uma futura recuperação da patologia, ou ainda um desgaste superficial para que o concreto recupere seu aspecto anterior. São alguns desses processos e etapas necessárias para o processo de recuperação: polimento, técnicas de lavagem e limpeza da superfície de concreto, corte e demolição.

### **3.6.1. Polimento**

O polimento do concreto armado é um processo utilizado quando a superfície do mesmo estiver áspera, essa aspereza pode ter sido gerada na execução com baixa qualidade de formas muito desgastadas, erros de dosagem do concreto, vibração ineficiente e desgaste natural da estrutura pelo seu uso (TRINDADE, 2015).

Este processo busca evitar a desagregação dos materiais constituintes do concreto de forma a deixar a superfície da estrutura com a textura o mais lisa possível.

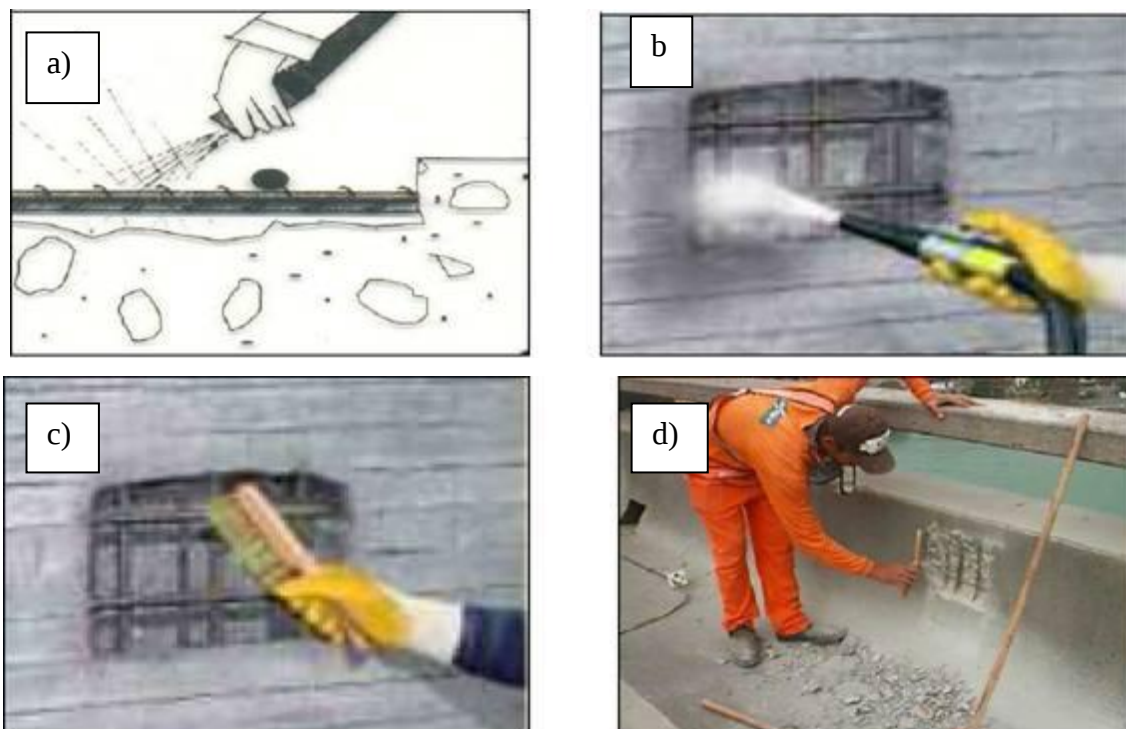
Para execução dessa técnica de reparo são utilizados equipamentos como lixadeiras portáteis, no caso de pequenas superfícies, ou máquinas de polir pesadas utilizadas quando a área a ser recuperada for muito grande. Para o uso de maquinário pesado deve sempre utilizar de mão de obra qualificada, a fim de preservar a segurança do colaborador, como também a vida útil do maquinário (TRINDADE, 2015).

### **3.6.2. Técnicas de lavagem e limpeza da superfície de concreto**

Devido à exposição da estrutura de concreto a ambientes agressivos, por longo período de tempo, devem ser realizadas limpezas nas peças estruturais, buscando eliminar os poluentes impregnados, principalmente óxidos de enxofre (SO<sub>2</sub>) que sob condições de certa umidade proporcionam a formação de ácido sulfúrico ou chuva ácida (SANTOS, 2014).

Existem diversas técnicas de limpeza da superfície de concreto que irá ser recuperada, porém deve-se ter bastante cuidado quanto ao uso de soluções ácidas, pois as mesmas podem ocasionar corrosão das armaduras, aspecto que requer menos cuidado quanto ao uso de soluções alcalinas ou do uso de jatos d'água, areia, vapor, ar comprimido, etc. A Figura 18 mostra exemplos dessas técnicas de limpeza.

Figura 18: a) Limpeza de armadura através de jateamento de alta pressão; b) Limpeza de substrato através de jateamento de alta pressão; c) e d) Limpeza de armadura através escova.



FONTE: SANTOS (2014).

### 3.6.3. Corte

Segundo Santos (2014), o corte consiste no processo de retirada de todo material que possa ser nocivo as armaduras, com dimensão de 2 cm ou o diâmetro da barra, de profundidade, garantindo que a armadura fique totalmente em um meio alcalino.

Caso não haja o corte do concreto além das armaduras, limpando-se somente o lado exterior e deixando a parte posterior recoberta pelo concreto velho, isso dá início a uma pilha de corrosão eletroquímica por diferença de material. Isso ocorre, pois a parte posterior atuará como ânodo e a parte recuperada fará o papel de cátodo, desencadeando assim um processo de corrosão ainda mais rápido que originalmente (ANDRADE e PERDRIX, apud SANTOS 2014, p. 58).

São fatores que devem ser considerados na hora do corte da estrutura, segundo Santos (2014):

- remover completamente os agentes nocivos à estrutura, ou seja, o resquício por mais imperceptível que seja de uma película oxidada, promove a retomada do processo contaminante, comprometendo assim a recuperação feita na estrutura;
- fazer o jateamento de areia, ar comprimido ou de água, após a limpeza;
- a retirada em demasia do concreto é contra a segurança da estrutura e antieconômica, pois está se removendo concreto sadio.

#### **3.6.4. Demolição**

A demolição ocorre quando os danos causados a estrutura são de riscos ou devido a mudança de destinação ou uso da edificação, podendo ser total ou parcial, dependendo do tamanho do dano. A mesma é projetada em função do porte e do tipo de estrutura a se demolir, assim como o aspectos condicionantes locais. Podem ser utilizados martelos demolidores, explosivos, agentes demolidores expansivos ou ainda a hidrodemolição (SANTOS, 2014).

#### **3.6.5. Reparo de fissuras**

Segundo Canóvas (1988) o método de injeção consiste em preencher toda a fissura com um material adequado, de modo a reparar o máximo a fissura. Deve ser utilizado em fissuras mortas, onde não há mais abertura da mesma com o tempo, nem com a variação de temperatura, pois caso aplicado em fissuras vivas, onde há variação da abertura ao longo do tempo ou da variação de temperatura, irá romper o material que foi preenchido a fissura. Na maioria das vezes que este método é aplicado, usam-se resinas epóxi, material no qual apresenta boa aderência, baixa viscosidade, boa resistência e que não sofre retração.

Para fissuras com um espaçamento menos do que 0,1 mm, utiliza-se a injeção das fissuras, com enchimento por gravidade. Após seu enchimento é feito a selagem que prevê a vedação dos bordos, com o objetivo de arrematar a injeção, protegendo a resina usada. Já para fissuras maiores do que 30 mm, a selagem é feita como uma vedação de junta (SANTOS, 2014).

A Figura 19 apresenta parte de um processo de injeção de fissuras.

Figura 19: Processo de injeção de fissuras



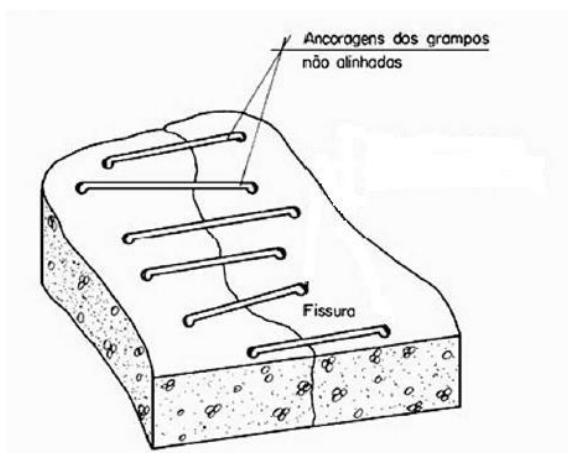
FONTE: SANTOS (2014).

Ao se tratar de fissuras ativas, para o seu reparo é comum utilizar-se de técnicas como a costura das fissuras, que consiste basicamente em colocar na fissura grampos, que tem a finalidade de atuar como pontes entre as duas partes do concreto fissurado. Possui fácil execução, pois colocasse os grampos de aço, em furos previamente feitos, preenchendo os vazios com resina epóxi ou argamassa, onde os mesmos devem ficar com inclinações diferentes, para que o esforço que for transmitido não seja exercido em um único plano (TRINDADE, 2015).

Segundo Canóvas (1988), ao utilizar dessa técnica de reparo, deve-se atentar que após o reparo da fissura ou trinca não haja a abertura de outras fissuras ou prolongamento da mesma. Isto sendo diagnosticado, é aconselhado que seja realizada uma análise criteriosa se é ou não vantajoso usar o método.

A Figura 20 apresenta um reparo de fissura através de costura.

Figura 20: Reparo de uma fissura por costura



FONTE: TRINDADE, 2015.

### 3.7.REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O reforço estrutural é uma atividade realizada sobre a estrutura de modo a buscar que a mesma volte a resistir aos esforços a qual ela foi inicialmente dimensionada em projeto, ou seja, para que ela obtenha novamente sua capacidade portante.

Segundo Silva (2006), os motivos pelo qual uma estrutura necessita de reforço são:

- Correção de falhas ocorridas tanto na fase de projeto quanto na fase de execução;
- Aumentar a capacidade portante da estrutura, ou seja, quando há mudança no uso da edificação ou para reestabelecimento da sua capacidade portante inicial, perdida devido a acidente de deterioração;
- Por motivo de concepção arquitetônica ou de utilização, como o corte de uma viga.

#### 3.7.1. Reforço mediante ao aumento da seção transversal

O aumento da seção transversal consiste em um método mais simples do que os que utilizam da adição de materiais diferentes como, perfis metálicos, chapam de carbono, tirantes, etc. É um método vantajoso no ponto de vista econômico, pois o elemento estrutural é reforçado com o próprio concreto e armaduras (TRINDADE, 2015).

A armadura adicional que ocasiona o aumento da seção transversal chama-se armadura de complementação, e são utilizadas quando se quer reestabelecer as condições de segurança e desempenho em estruturas com corrosão nas armaduras, ou seja, as armaduras têm uma seção diminuída (SILVA, 2006).

Essa adição pode ocorrer em todas as faces do elemento estrutural, em três, dois ou uma das faces, dependendo das condições para executá-la. Segundo Souza e Ripper (1998) o acréscimo de armadura depende da relação entre a área da seção corroída, pela área da seção original, se este valor ultrapassar 15%, então existe a necessidade de acréscimo de armadura de complementação, onde essa análise é feita tanto de barra a barra, como também de todo o conjunto de armaduras.

É indicado que para pilares a espessura adicional de concreto não ultrapasse 10 cm, podendo ser de mais ou menos 6 cm, quando se dispõe de superplastificantes e se limita o tamanho do agregado a 20 mm (CANÓVAS, 1988).

Silva (2006) definiu as etapas de restauração das armaduras excessivamente danificadas, como:

- Corte do pedaço da barra danificada;
- Substituição pelo complemento do pedaço danificado, soldando, dependendo do tipo de aço utilizado, ou amarrando com arame o complemento ao pedaço sã da barra, respeitando o transpasse das mesmas;
- Limpeza da superfície;
- Aplicação de resina epóxi, tanto nas armaduras quanto no concreto, que servirá de ponte de ligação do concreto velho com o concreto novo e também irá trabalhar como uma barreira isolante das armaduras com o exterior;
- Por fim a reconstrução do elemento estrutural com diversos tipos de material, como concreto, projetado ou não, argamassa convencional ou argamassa epóxi.

Takeuti (1999) afirma que esta técnica quando aplicada de maneira adequada, em pilares e vigas principalmente, traz boa eficiência, porém possui o inconveniente de aumentar as dimensões da estrutura, de modo a interferir no aspecto arquitetônico do projeto. Outra desvantagem também é o tempo que se deve esperar para que o concreto atinja a resistência esperada, de modo a não utilizar o reforço até que esse tempo seja cumprido.

### **3.7.2. Reforços em pilares**

- Reforço de pilares por meio de encamisamento com concreto de auto desempenho (CAD)

Define-se como concreto de auto desempenho, concretos que possuam uma resistência a compressão, em corpo de prova cilíndrico, superior a 41 Mpa (TAKEUTI, 1999).

Como principais características do reforço de pilares por meio desse processo se têm: alta resistência, baixa tenacidade do material, aumento nas dimensões do pilar devido ao encamisamento relativamente pequenos devido às características anteriormente citadas (SILVA, 2006).

- Reforço de pilares com polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC)

Segundo Silva (2006), esta técnica tem se apresentada inovadora, com fácil execução e resultados surpreendentes, tanto com relação a ductilidade, quanto com relação a capacidade resistente dos elementos estruturais.

A Figura 21 mostra um quadro com as principais características dos polímeros reforçados com fibra de carbono:

Figura 21: Principais características do PRFC

|                                 |                                                                                                     |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Baixo Peso</b>               | <b>Acréscimo insignificante de peso morto à estrutura</b>                                           |
| <b>Não corrosivo</b>            | <b>Grande durabilidade, pouca manutenção.</b>                                                       |
| <b>Mínima espessura</b>         | <b>Mínimo acréscimo nas dimensões dos elementos estruturais, facilidade para ocultar o reforço.</b> |
| <b>Facilidade de instalação</b> | <b>Economia de custo e redução dos tempos de paralisação</b>                                        |
| <b>Fonte única de suporte</b>   | <b>Qualidade garantida pelo uso de componentes integrados</b>                                       |

FONTE: SILVA, 2006.

Esta tecnologia em sua maioria é empregada em pilares, mas pode também ser empregada em lajes e vigas, para aumento da capacidade resistente a flexão e ao esforço transversal.

### 3.7.3. Argamassas Comerciais

Existem no mercado inúmeros tipos de argamassas que podem ser utilizadas no processo de recuperação de estruturas de concreto armado. Porém, essas argamassas são para determinadas condições de agressividade do ambiente, sendo necessário um conhecimento das características das argamassas e dos agentes agressivos presentes na região, para que se tenha um desempenho eficiente dos mesmos nas suas condições de uso prevista em projeto (CABRAL, 2000).

São algumas dessas argamassas disponíveis no mercado atualmente: argamassa polimérica, argamassa orgânica, argamassa a base de epóxi, argamassa a base de poliéster, etc.

- Argamassa polimérica

Devido à necessidade de argamassas com maior durabilidade, foram incorporadas as mesmas polímeros. Essas argamassas são denominadas argamassas poliméricas ou argamassa de base mineral, cujo processo de endurecimento esta baseado na reação do cimento com a

água de amassamento e a brita de granulometria contínua. Assim, as mesmas apresentam retração compensada e propriedades que permitem a aplicação com colher de pedreiro e utilização em superfícies inclinadas ou verticais (SUJJAVANICH, 1998).

Segundo Helene (1992) as resinas acrílicas utilizadas em argamassas poliméricas são:

- resinas do tipo metil-metacrilato ou estireno-butadieno;
- resinas à base de PVA, denominadas como argamassas com adição de látex, sendo que esta denominação é devida ao comportamento do látex utilizado na fabricação de borrachas.

Segundo Medeiros (2005) dentre as resinas poliméricas, a resina tipo estireno-butadieno tem maior campo de aplicação quando em ambientes úmidos e sob a ação de meio ambientes agressivos, devido a menor permeabilidade em argamassas.

- Argamassa Orgânica

São argamassas preparadas com resinas orgânicas puras, utilizando de reações de polimerização e endurecimento com ausência de água, ocasionando, quando expostas a ambientes agressivos, aglomeração e ganho de resistências mecânica e química. Possui também alto desempenho no uso em reparos e reforços com adequada aderência ao substrato (HELENE, 1992).

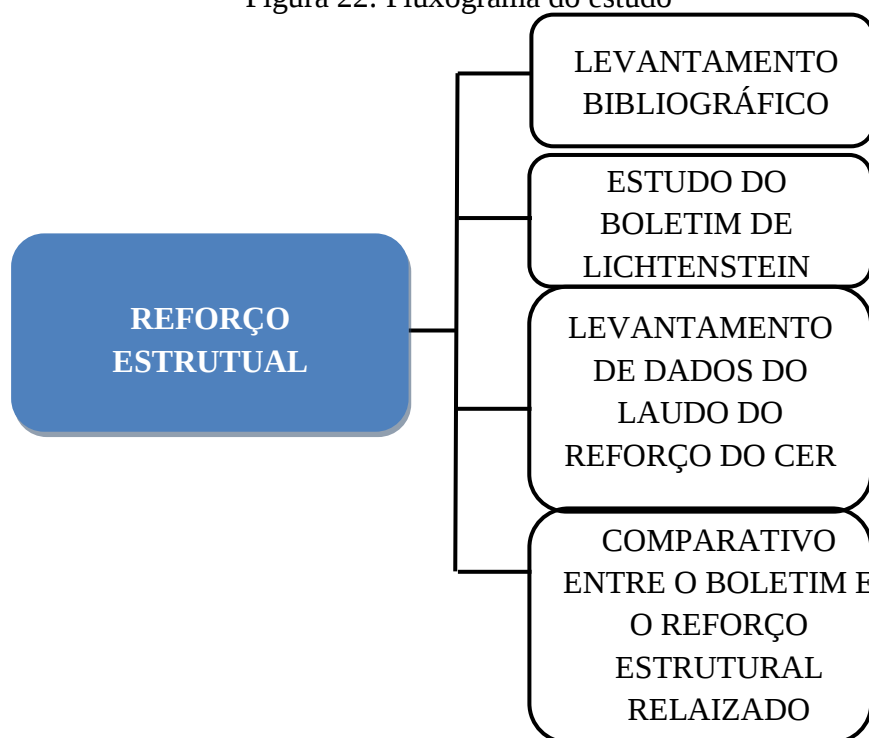
- Argamassas à base de epóxi

Canovas (1988) cita as resinas à base de epóxi como o material mais empregado para reforço e reparo de estruturas de concreto. Entre suas principais características ele apresenta a elevada resistência a ácidos não oxidantes, álcalis e solventes orgânicos, boa aderência e resistência a mecanismos físicos e mecânicos, porém quando expostas a temperaturas elevadas, acima de 70 °C, sua resistência diminui, sendo essa sua principal desvantagem.

#### 4. METODOLOGIA

A metodologia será qualitativa e quantitativa pois o presente trabalho apresenta, além de uma pesquisa bibliográfica a cerca de manifestações patológicas e formas de reforço de estruturas de concreto armado, uma análise de dados no estudo de caso do reforço utilizado. O fluxograma da Figura 22 mostra a sequência metodológica adotada para a realização desse trabalho.

Figura 22: Fluxograma do estudo



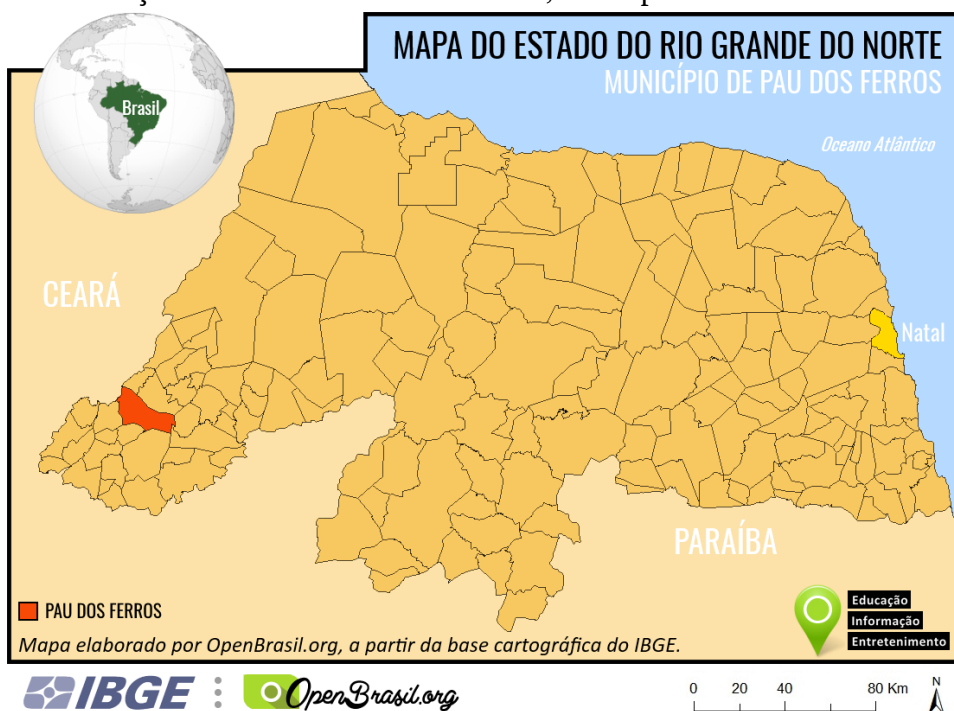
FONTE: AUTOR (2017)

##### 4.1.LOCALIZAÇÃO

O estudo de caso a ser tratado neste trabalho, foi realizado no Centro Especializado de Reabilitação - CER, localizada na cidade de Pau dos Ferros/RN, onde foi feito um reforço estrutural dos pilares da estrutura da empresa. Será feito um comparativo entre o que foi executado no reforço com o boletim técnico de Lichtenstein.

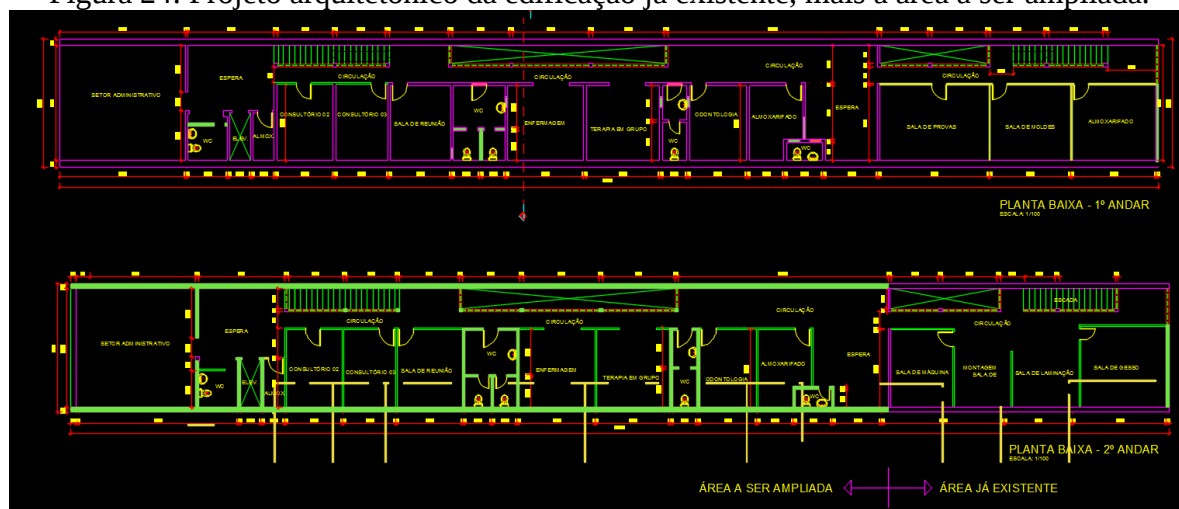
Pau dos Ferros – RN é uma cidade localizada no semiárido Potiguar, como mostra a localização na Figura 23, onde sua classe de agressividade frente ao concreto é considerada moderada, pois a cidade não tem grande centro urbano. O Centro Especializado de Reabilitação - CER, está localizado na Avenida Independência 1168, zona central da cidade e possui mais de 20 anos, o reforço foi realizado no ano de 2017. A Figura 24 apresenta o projeto arquitetônico da edificação.

Figura 23: Localização da cidade de Pau dos Ferros, no mapa do Rio Grande do Norte



FONTE: [goo.gl/5GtQUx](https://goo.gl/5GtQUx)

Figura 24: Projeto arquitetônico da edificação já existente, mais a área a ser ampliada.



FONTE: Eng. FELIPE PAIVA (Arquivo pessoal)

A empresa conta com um prédio de 2 pavimentos, e além do reforço, foi realizado uma obra de ampliação na edificação.

#### 4.2.BOLETIM DE LICHTENSTEIN

A proposta de Lichtenstein, para definição da conduta e solução de problemas patológicos de um modo geral é a seguinte:

- Desenvolvimento de estruturas de investigação e divulgação das falhas. As primeiras patologias produzidas são infiltração de ar e água pelas janelas, fissuração de paredes internas de alvenaria resistente e umidade associada com coberturas planas
- Identificação dos tipos mais comuns de falhas das construções e as medidas terapêuticas aplicadas a elas.
- Definição do campo da patologia das construções.

O boletim de Lichtenstein procura não entender os fenômenos físicos e químicos que ocasionam os problemas patológicos, mas sim formalizar um procedimento aplicável para a resolução destes problemas.

A metodologia adotada por Lichtenstein consiste de um modo genérico em:

- Levantamento de subsídios

Representa acumular e organizar as informações necessárias e suficientes para o entendimento completo dos fenômenos. As informações podem ser obtidas através de três fontes básicas, quais sejam: vistoria no local, levantamento da história do problema e do edifício (anamnese do caso) e o resultado de análises e ensaios complementares.

- Diagnóstico da situação

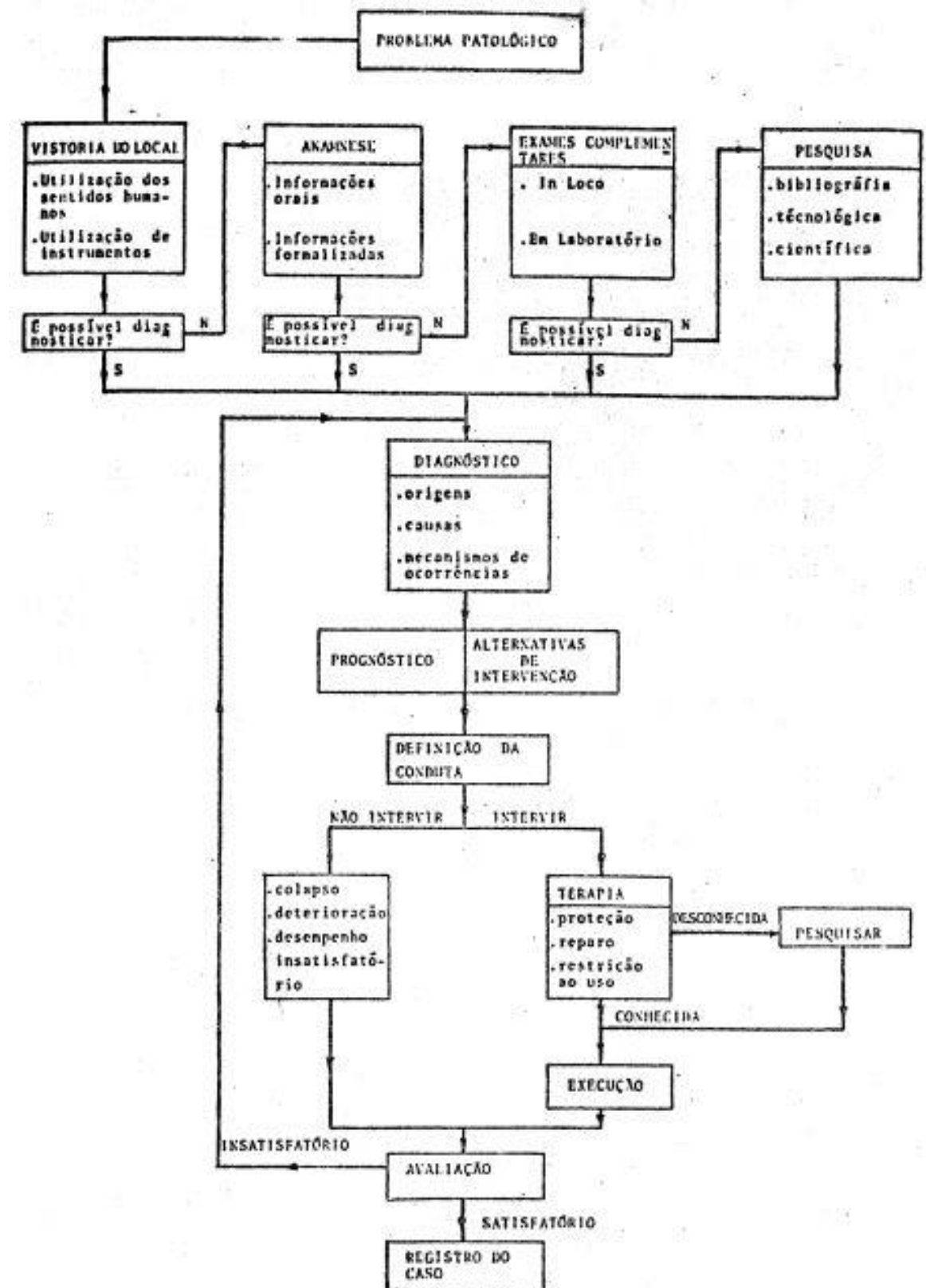
O diagnóstico da situação é o entendimento dos fenômenos em termos da identificação das múltiplas relações de causa e efeito que normalmente caracterizam um problema patológico. Em outras palavras, o objetivo do diagnóstico é entender os porquês a partir de dados conhecidos.

- Definição de conduta

O objetivo genérico da definição da conduta é prescrever o trabalho a ser executado para resolver o problema, nisto incluindo-se a definição sobre os meios (material, meio de obra e equipamentos) e a previsão das consequências em termos do desempenho final. Para definir a conduta, inicialmente é feito o prognóstico da situação, ou seja, são levantadas hipóteses da tendência de evolução futura do problema e as alternativas de intervenção acompanhadas dos respectivos prognósticos.

O fluxograma da Figura 25 mostra quais são os princípios utilizados para se realizar o reforço de uma estrutura de concreto armado, desde o reconhecimento da patologia atuante, até o seu reforço e avaliação de qualidade posterior. O mesmo foi retirado do boletim técnico de Lichtenstein, que será o comparativo com o que foi analisado no reforço realizado.

Figura 25: Fluxograma de atuação para a resolução dos problemas patológicos;



FONTE: LICHTENSTEIN (1986)

## 5. ESTUDO DE CASO

Deterioração dos pilares no Centro Especializado em Reabilitação - CER, edifício comercial, em Pau dos Ferros – RN

O processo a seguir apresentado é de um reforço realizado nos pilares do Centro Especializado em Reabilitação – CER, localizado na cidade de Pau dos Ferros – RN, onde a edificação apresentava grande deterioração dos pilares, é o resumo de um parecer técnico elaborado a partir da solicitação do proprietário da edificação, realizado pelo engenheiro Felipe Paiva.

Vistoria:

- Grau de deterioração dos pilares, como mostra a Figura 26;
- Grau de exposição das armaduras dos pilares;
- Perda da seção transversal do concreto dos pilares, devido o desgaste;
- Perda da seção transversal das armaduras, devido a corrosão;

Figura 26: Pilar deteriorado, com perda da seção transversal do concreto e da armadura



FONTE: Eng. FELIPE PAIVA (Arquivo pessoal)

#### Anamnese:

- Houve um contato com o engenheiro que fez o projeto estrutural inicial da edificação;
- Foram avaliadas as principais causas dessas manifestações patológicas, na busca por saná-las.
- A edificação possui mais de 20 anos, porém nunca havia sido feito nenhum cuidado de manutenção preventiva visando uma maior vida útil da edificação, reduzindo a ocorrência de manifestações patológicas.
- Foi observado o aparecimento de fissuras nas faces do concreto, devido a corrosão das armaduras.
- A edificação fica localizada em uma região central da cidade, tornando a classe de agressividade frente ao concreto maior, causando uma maior carbonatação da estrutura, diminuindo o seu pH, ocasionando uma despassivação da armadura.

#### Exames Complementares

Não foram realizados exames complementares, por se considerar que a história e a pesquisa bibliográfica fosse o suficiente para solução deste caso.

#### Pesquisa

- Realizou-se pesquisa para identificar quais as causas da ocorrência dessas manifestações, buscando assim uma forma de saná-las por completo.
- Utilizou-se de pesquisa para definir qual o melhor tipo de reforço a ser realizado nos pilares deteriorados.

#### Diagnóstico

- A ocorrência da corrosão das armaduras deve ser atribuída a diversas características do concreto.
- Porosidade do concreto, permitindo uma maior entrada de partículas que viessem a causar carbonatação do concreto, ocasionando a corrosão das armaduras.

- Alguns pilares apresentavam cobrimento inadequado, considerado erro de execução, causado talvez pelo mal posicionamento das formas no momento da concretagem, facilitando a exposição das armaduras a agentes corrosivos, como mostrado na Figura 27.

Figura 27: Pilar deteriorado, apresentando cobrimento insuficiente;



FONTE: Eng. FELIPE PAIVA (Arquivo pessoal)

#### Conduta Recomendada

- Foi feito o escoramento da estrutura para poder se realizar o tratamento dos pilares, como mostrado na Figura 28.

Figura 28: Escoramento da estrutura para reforço dos pilares;



FONTE: Eng. FELIPE PAIVA (Arquivo pessoal)

- Como principal medida tomada temos o aumento da seção transversal de concreto, onde foram aumentadas as armaduras dos pilares, e consequentemente a sua seção transversal, representados na Figura 29 a e b.

Figura 29 a e b: Pilares reforçados através do aumento da seção transversal da seção



FONTE: Eng. FELIPE PAIVA (Arquivo pessoal)

- Foram aplicados sobre as armaduras novas e corroídas, um primer de alta proteção a base de zinco, de forma a evitar a continuação do processo corrosivo e a corrosão das novas armaduras. Essa tintura vermelha sobre as armaduras, mostradas nas imagens. A Figura 29 mostra o primer utilizado nas armaduras.

Figura 30: Primer utilizado no reforço estrutural, para evitar a corrosão da armadura;



FONTE: Eng. FELIPE PAIVA (Arquivo pessoal)

Na ficha técnica do material temos alguns detalhes de aplicação deste produto:

- As armaduras devem estar limpas, isentas de ferrugem, óleos, pinturas, graxas, nata de cimento e outras incrustações.
- Limpar as armaduras e remover todo o produto de corrosão por lixamento mecânico ou jato abrasivo. No caso de contaminação por cloretos, as barras também devem sofrer hidrojateamento de alta pressão. Avaliar as armaduras quanto à necessidade de substituição ou complementação de barras com auxílio de profissional qualificado da área de estruturas.
- Garantida a perfeita mistura da argamassa, aplicar SikaTop® 108 Armatec com pincel ou trincha de pêlos médios, até obter a espessura aproximada de 0,5 mm. Segunda demão será feita 2 ou 3 horas após a primeira demão. A espessura final da película, estimada para duas demãos, é de 1 mm. As armaduras deverão ser revestidas em toda a superfície com SikaTop® 108 Armatec. Antes de aplicar a argamassa, graute ou concreto de reparo, aguardar no mínimo 24 horas e no máximo 72 horas após a aplicação do SikaTop® 108 Armatec.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresenta um estudo a cerca da patologia em estruturas de concreto armado, com um levantamento das principais manifestações patológicas que atingem as estruturas de concreto, apontando suas origens, causas e formas de reparo.

Para melhor entendimento do trabalho foram definidos alguns conceitos importantes que podem ser um dos fatores que minimizem a incidência de manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado. Como visto são inúmeras as causas de manifestações patológicas nas edificações, podendo surgir na fase de projeto, execução e uso da edificação, onde também foram apresentadas as mais comuns manifestações patológicas que surgem nas estruturas, apresentando suas origens, causas e formas de reparo. Muitos são os motivos para o surgimento de manifestações patológicas, que vão desde ações físicas como, sobrecarga, abrasão, cavitação, erosão, etc, reações químicas dos materiais, fenômenos da natureza, erros humanos de projeto e execução como falta de qualidade ou negligência, ataques biológicos e de agentes agressivos as armaduras de concreto.

O estudo de caso desse trabalho foi realizado em um reforço estrutural feito no Centro Especializado em Reabilitação da cidade de Pau dos Ferros – RN, onde foi feito um comparativo do reforço estrutural com o Boletim de Lichtenstein, onde são analisados todos os quesitos que geraram tais manifestações para poder ser feito reparo. Foram observados como principais manifestações patológicas presentes na estrutura corrosão da armadura dos pilares, devido a concreto poroso em uma região de classe de agressividade moderada, zona urbana, cobrimento inadequado, etc, devido a essas características os efeitos de carbonatação no concreto foram mais nocivos, ocasionando uma corrosão da armadura mais rápida.

O boletim define como passos a ser seguido para a realização de um reparo ou reforço, sendo eles: história, anamnese, exames complementares, caso necessário, diagnóstico, para assim definir a conduta a ser seguida para se realizar o reparo ou reforço.

O reforço principal feito no Centro Especializado em Reabilitação foi um reforço feito nos pilares, utilizando do aumento da seção transversal dos mesmos, com acréscimo de armaduras, retirada do concreto danificado, acréscimo de concreto e limpeza das armaduras corroídas. De forma coerente foram aplicadas as armaduras antigas e as novas uma camada de primer de alta proteção para evitar um processo corrosivo acelerado, garantindo a estrutura um maior período de vida útil. Outra conduta que poderia ter sido adotada caso não houvesse

grande desgaste das armaduras era a limpeza do concreto e das armaduras e posteriormente aplicação de argamassas poliméricas reforçada com fibras.

Tendo em vista tudo que foi estudado nesse trabalho, foi verificado que o reforço estrutural realizado no Centro Especializado em Reabilitação – CER, esta de acordo com o Boletim de Lichtenstein, onde as condutas adotadas para a realização do reforço foram embasadas nas características observadas nas outras etapas descritas pelo boletim como história, anamnese e diagnóstico.

Com a intenção de dar continuidade ao trabalho temos como sugestões para trabalhos futuros, análise de mais estudos de caso, de forma a enriquecer a pesquisa, podendo assim ser feito um comparativo das condutas tomadas em cada um desses estudos de caso, realização de estudos mais detalhados, fazendo o uso de exames complementares com extração de testemunho para análises laboratoriais, buscando a obtenção de resultados mais precisos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C.(1992). **Manual para diagnóstico de Obras deterioradas por corrosão de armaduras**. 1º ed. São Paulo: Pini.
- ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: Eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.
- BARRA, Bárbara Beatriz Melo. **Avaliação de danos em edificações públicas do município de Pau dos Ferros/RN através de inspeções visuais e aplicação da metodologia GDE/UNB**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros-RN, 2017.
- BASTOS, Paulo. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado. Sistemas Estruturais I**. Campus de Bauru/SP–UNESP, São Paulo. Estudo do comportamento de vigas de betão simples e reforçadas com CFRP, sujeitas a envelhecimento, 2006.
- BENAZZOUK, A.; DOUZANE, O.; QUÉNEUDEK, M. **Transport of fluids in cement–rubber composites**. *Cement & Concrete Composites*, 26, 21–29p. 2004.
- BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Edgar Blucher, 2004.
- BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Cadernos de Engenharia de Estruturas. EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.
- CABRAL, A. E. B. **Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloretos**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, 2000.

CASCUDO, O. **Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com Problemas de Corrosão da Armadura**. IBRACON, 2005.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1 Ed. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo: Ed. Pini, 1988.

FORTES, F. J. **Patologia e terapêutica das construções: um panorama**. Revista da “Jornada Professor Hernani Sobral”, Salvador, v. único, p. 53-60, 1994.

FREIRE, Altair. **Patologia nas edificações públicas do Estado do Paraná**. 2010.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3 ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro: 1996. 345p.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys **Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações** / Eduardo Albuquerque Buys Gonçalves – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2015.

GRANATO, José Eduardo. **Patologia das Construções**. 2002.

HELENE, Paulo R.L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

LICHTENSTEIN, Norberto B. **Patologia das construções**. Boletim técnico, 1986.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007.

MEDEIROS, Betina Lepretti. **Estruturas subterrâneas de concreto: levantamento de manifestações patológicas na região metropolitana de Curitiba e análise de sistemas de reparo**. 2005. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MELO, Bianca Jéssyca Parada. **Recuperação estrutural: estudo de caso do estádio estadual Lourival Baptista**. 2014. Curso de Engenharia Civil, Faculdade Pio Décimo, Aracaju, 2014.

MOREIRA, André Luís Andrade. **A estrutura do palácio da justiça em Brasília: Aspectos históricos, projeto, execução, intervenções e proposta de estratégias para manutenção**. 2007. 98 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

NBR, ABNT. 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

NEVES, Ítalo Bruno Fernandes. **Avaliação da Carbonatação em Argamassas de cimento com Adições de cinza de casca de arroz amorfa e cristalina**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Curso Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

OBRAS ONLINE: **Trincas nas edificações**. Ibpapé: Obras Online, jun. 2006.

RIBEIRO, Daniel Verás et al. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SANTOS, Camila Freitas dos. **Patologia de estruturas de concreto armado**, 2014.

SILVA, Erick Almeida da. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2006. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembimorumbi, São Paulo, 2006.

SILVA, L. K. **Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado do ceará**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SILVA, Valdirene Maria. **Ação da Carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida**. 2007. Dissertação (Doutorado) – Curso Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SUJJAVANICH, S. et al. **Development of Strength and Fracture Properties of Styrene-Butadiene Copolymer Latex-Modified Concrete**. ACI Materials Journal, v. 95, n. 2, 1998. p. 131-143.

TAKEUTI, Adilson Ribeiro. (1999) **Reforço de pilares de concreto armado por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho**. 184p., Dissertação (Mestrado), São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TÉCHNE: A REVISTA DO ENGENHEIRO CIVIL: **Reparo, reforço e recuperação de concreto**. São Paulo: Técnica, 2009.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em estruturas de concreto armado**, 2015.