

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
*CAMPUS CAJAZEIRAS*

DANIEL DUARTE DE ANDRADE

**ANÁLISE PATOLÓGICA DE UMA EDIFICAÇÃO INACABADA EXPOSTA ÀS  
INTEMPÉRIES POR 15 ANOS**

Cajazeiras-PB  
2025

DANIEL DUARTE DE ANDRADE

**ANÁLISE PATOLÓGICA DE UMA EDIFICAÇÃO INACABADA EXPOSTA ÀS  
INTEMPÉRIES POR 15 ANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
à Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-  
*Campus* Cajazeiras, sob Orientação do Prof.  
Robson Arruda dos Santos.

Cajazeiras-PB  
2025

IFPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A554a | <p>Andrade, Daniel Duarte de.</p> <p>Análise patológica de uma edificação inacabada exposta às intempéries por 15 anos / Daniel Duarte de Andrade.– 2025.</p> <p>43f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2025.</p> <p>Orientador(a): Prof. Robson Arruda dos Santos.</p> <p>1. Construção civil. 2. Avaliação patológica. 3. Análise estrutural. 4. Manutenção preventiva. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.</p> |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

IFPB/CZ

CDU: 624: 351.853(043.2)

DANIEL DUARTE DE ANDRADE

## ANÁLISE PATOLÓGICA DE UMA EDIFICAÇÃO INACABADA EXPOSTA ÀS INTEMPÉRIES POR 15 ANOS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
*Campus* Cajazeiras, como parte dos  
requisitos para a obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 26 de agosto de 2025.

### BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 **ROBSON ARRUDA DOS SANTOS**  
Data: 29/08/2025 15:17:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Robson Arruda dos Santos – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **CICERO JOELSON VIEIRA SILVA**  
Data: 29/08/2025 15:11:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 1

Documento assinado digitalmente  
 **CINTHYA SANTOS DA SILVA**  
Data: 29/08/2025 15:13:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Cinthya Santos da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 2

Dedico este trabalho à minha família, cuja presença e apoio incondicional foram fundamentais, aos amigos que estiveram ao meu lado nos desafios e conquistas, e aos professores que, com sua orientação e conhecimento, ajudaram a construir este caminho. A todos que, de alguma maneira, contribuíram para essa trajetória, minha sincera gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, fonte de minha força e sabedoria, por me guiar em cada passo desta caminhada. Sua presença constante em minha vida me deu coragem para enfrentar desafios, paciência para aprender com as dificuldades e gratidão para reconhecer cada conquista alcançada. Sem Sua luz, esta trajetória não teria sido possível.

À minha mãe, Francisca Josefa Duarte, expresso minha mais profunda gratidão e reconhecimento. Seu amor incondicional, sua dedicação e seu apoio inabalável foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Nos momentos mais difíceis, encontrei em suas palavras e gestos a motivação necessária para continuar. Seu exemplo de força e resiliência me inspira diariamente.

À minha segunda mãe e madrinha, Maria Bezerra Teixeira, agradeço por todo carinho e cuidado, sempre estando ao meu lado, me orientando e apoiando em todos os momentos. Seu afeto e sabedoria foram fundamentais para minha formação, tanto pessoal quanto acadêmica. Seu papel em minha vida é inestimável, e serei eternamente grato por sua presença.

Minha sincera gratidão à Clarice Moreira da Silva, cuja generosidade e apoio foram essenciais durante minha jornada acadêmica. Sua ajuda nos estudos e seu suporte emocional fizeram toda a diferença, tornando os desafios mais leves e me incentivando a persistir. Seu apoio foi um verdadeiro alicerce para que eu pudesse seguir em frente com confiança e determinação.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Cajazeiras, manifesto meu agradecimento por proporcionar um ambiente acadêmico enriquecedor e repleto de oportunidades. Foi nesse espaço que pude expandir meus conhecimentos, desenvolver habilidades e crescer tanto intelectual quanto pessoalmente. A estrutura, os recursos e o compromisso da instituição foram fundamentais para meu aprendizado.

Ao meu professor orientador, Robson Arruda dos Santos, registro minha imensa gratidão pela orientação dedicada e pelo compromisso com minha formação. Sua paciência, incentivo e disposição em compartilhar conhecimento foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Seu apoio acadêmico e motivacional foram determinantes para que este projeto se tornasse realidade.

Por Daniel Duarte de Andrade.

## RESUMO

Na construção civil, a análise patológica estuda falhas e degradações em edificações, identificando suas causas para evitar riscos e garantir a durabilidade das estruturas. Seu objetivo é diagnosticar problemas que podem comprometer a segurança e a durabilidade das estruturas. Esse processo considera fatores como erros de projeto, falhas na execução e impactos ambientais, permitindo a aplicação de medidas corretivas e preventivas. Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise patológica detalhada de uma edificação inacabada exposta às intempéries por 15 anos, identificando suas principais manifestações patológicas, suas causas e propondo soluções eficazes para sua recuperação estrutural. A metodologia adotada incluiu inspeções visuais, visitas técnicas e a aplicação dos métodos de Análise da Árvore de Falhas (FTA) e Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA), que permitiram a identificação das patologias e a avaliação de seus impactos na integridade estrutural. Os resultados demonstraram a presença de fissuras, infiltração e umidade, degradação do concreto, carbonatação e corrosão das armaduras, fatores que comprometem a durabilidade e segurança da construção. Com base nesses achados, foram propostas intervenções corretivas, como impermeabilização, recuperação do concreto degradado e tratamento das armaduras corroídas. Conclui-se que a manutenção preventiva e a aplicação de metodologias de análise de falhas são essenciais para evitar o surgimento de patologias severas e garantir maior vida útil às edificações.

**Palavras-chave:** patologias na construção civil; análise estrutural; manutenção preventiva; FTA; FMEA.

## ABSTRACT

In civil construction, pathological analysis studies failures and degradations in buildings, identifying their causes to prevent risks and ensure structural durability. Its objective is to diagnose problems that may compromise safety and longevity. This process considers factors such as design errors, execution failures, and environmental impacts, allowing the application of corrective and preventive measures. This study aims to conduct a detailed pathological analysis of an unfinished building exposed to weather conditions for 15 years, identifying its main pathological manifestations, their causes, and proposing effective solutions for structural recovery. The adopted methodology included visual inspections, technical visits, and the application of Fault Tree Analysis (FTA) and Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) methods, enabling the identification of pathologies and the assessment of their impact on structural integrity. The results showed cracks, infiltration and moisture, concrete degradation, carbonation, and reinforcement corrosion, all compromising the durability and safety of the construction. Based on these findings, corrective interventions were proposed, such as waterproofing, recovery of degraded concrete, and treatment of corroded reinforcements. It is concluded that preventive maintenance and failure analysis methodologies are essential to prevent severe pathologies and ensure a longer service life for buildings.

**Keywords:** construction pathologies; structural analysis; preventive maintenance; FTA; FMEA.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Fissura em viga .....                                           | 18 |
| Figura 2 - Bolhas na pintura .....                                         | 18 |
| Figura 3 - Carbonatação .....                                              | 19 |
| Figura 4 - Degradação do Concreto.....                                     | 21 |
| Figura 5 - Corrosão é um fenômeno espontâneo, que pode ser controlado..... | 22 |
| Figura 6 - Edificação .....                                                | 25 |
| Figura 7 - Trincas .....                                                   | 31 |
| Figura 8 - Infiltrações e umidade.....                                     | 32 |
| Figura 9 - Carbonatação .....                                              | 34 |
| Figura 10 - Degradação do concreto.....                                    | 35 |
| Figura 11 - Corrosão do aço .....                                          | 36 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Classificação das aberturas conforme a espessura .....                | 17 |
| Quadro 2 - Aplicação do Método Análise da Árvore de Falhas (FTA) .....           | 22 |
| Quadro 3 - Exemplo de classificação da gravidade do efeito do modo de falha..... | 23 |
| Quadro 4 - Matriz de aplicação do método FMEA .....                              | 29 |
| Quadro 5 - Análise da árvore de falhas .....                                     | 36 |

## SUMÁRIO

|          |                                                                 |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                         | <b>11</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS.....</b>                                           | <b>13</b> |
| 2.1      | OBJETIVO GERAL .....                                            | 13        |
| 2.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                     | 13        |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                              | <b>14</b> |
| 3.1      | PATOLOGIAS .....                                                | 14        |
| 3.1.1    | <i>Causas das Patologias em Edificações e Suas Origens.....</i> | <i>15</i> |
| 3.1.2    | <i>Origem e Uso do Concreto Armado.....</i>                     | <i>15</i> |
| 3.1.3    | <i>Durabilidade e Manutenção .....</i>                          | <i>16</i> |
| 3.2      | PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....                      | 17        |
| 3.2.1    | <i>Fissuras, Trincas e Rachaduras.....</i>                      | <i>17</i> |
| 3.2.2    | <i>Infiltração e Umidade .....</i>                              | <i>18</i> |
| 3.2.3    | <i>Carbonatação.....</i>                                        | <i>19</i> |
| 3.2.4    | <i>Degradação do Concreto.....</i>                              | <i>20</i> |
| 3.2.5    | <i>Corrosão da Estrutura de Aço .....</i>                       | <i>21</i> |
| 3.3      | MÉTODOS FTA E FMEA .....                                        | 22        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                                        | <b>25</b> |
| 4.1      | IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DE PESQUISA.....                        | 25        |
| 4.2      | TIPOLOGIA DA PESQUISA .....                                     | 26        |
| 4.3      | METODOLOGIA DA PESQUISA.....                                    | 27        |
| 4.3.1    | <i>Levantamento de Dados.....</i>                               | <i>27</i> |
| 4.3.2    | <i>Elaboração de Checklist .....</i>                            | <i>27</i> |
| 4.3.3    | <i>Visitas Técnicas.....</i>                                    | <i>28</i> |
| 4.3.4    | <i>Aplicação dos Métodos FTA e FMEA.....</i>                    | <i>28</i> |
| 4.3.5    | <i>Análise da Árvore de Falhas (FTA).....</i>                   | <i>28</i> |
| 4.3.6    | <i>Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA).....</i>         | <i>29</i> |
| 4.3.7    | <i>Organização de Dados.....</i>                                | <i>30</i> |
| 4.3.8    | <i>Recomendação de Tratamento.....</i>                          | <i>30</i> |
| <b>5</b> | <b>AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>                            | <b>31</b> |
| 5.1      | FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS.....                             | 31        |
| 5.2      | INFILTRAÇÃO E UMIDADE .....                                     | 32        |
| 5.3      | CARBONATAÇÃO .....                                              | 33        |
| 5.4      | DEGRADAÇÃO DO CONCRETO.....                                     | 35        |
| 5.5      | CORROSÃO DA ESTRUTURA DE AÇO.....                               | 35        |
| 5.6      | APLICAÇÃO DA ANÁLISE DA ÁRVORE DE FALHAS (FTA) .....            | 36        |
| 5.7      | APLICAÇÃO DA ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA) .....  | 37        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                          | <b>39</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                        | <b>40</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A complexidade inerente aos projetos de construção muitas vezes se depara com desafios que podem comprometer a integridade das estruturas. Entre esses desafios, a exposição prolongada às intempéries emerge como uma preocupação significativa, podendo desencadear uma série de patologias que afetam não apenas a durabilidade, mas também a segurança das edificações. A patologia das construções é caracterizada como uma disciplina que, de maneira sistemática, empreende estudos sobre os defeitos que surgem nos materiais construtivos, componentes e elementos, ou na própria edificação em sua totalidade (Bolina; Tutikian; Helene, 2019).

As manifestações patológicas da construção causadas por intempéries são problemas estruturais ou funcionais que surgem em edificações devido à exposição a condições climáticas adversas. Essas manifestações patológicas podem comprometer a segurança, durabilidade e habitabilidade das construções. Os problemas mais frequentes em habitações incluem rachaduras, infiltrações, falhas nos encanamentos, e deficiências nas instalações hidráulicas e elétricas. Além disso, muitas casas carecem de sistemas de esgoto e drenagem adequados, resultando em inundações que causam danos e desconforto aos moradores, que frequentemente não têm condições de reparar os danos (Pina, 2013).

Na construção civil, muitas falhas visíveis em obras de edificações são consequência de deficiências na construção, sendo essas deteriorações e falhas conhecidas como manifestações patológicas. Os problemas patológicos nas edificações geralmente resultam de falhas no planejamento e execução, além da falta de manutenção ao longo do tempo. Fatores ambientais, como as condições atmosféricas regionais ou localizadas, também desempenham um papel significativo na degradação das estruturas, especialmente na indução da corrosão em concreto (Brito, 2017).

Segundo Silva, Barros e Ferreira (2019), conforme evidenciado em diversos trabalhos, a presença de problemas patológicos em uma edificação é identificada como um fator determinante que compromete substancialmente a sua vida útil estrutural.

Ao analisar os desafios enfrentados por essa edificação exposta às intempéries por um período prolongado, este estudo contribuirá para o avanço do conhecimento em patologias das construções e oferecerá percepções valiosas para profissionais do setor, engenheiros civis, arquitetos e demais partes interessadas envolvidos na concepção, construção e manutenção de edificações. Ademais, a implementação de soluções eficazes baseadas nos resultados desta

pesquisa poderá auxiliar na mitigação de riscos e na promoção da sustentabilidade das estruturas construídas.

Nesse contexto, este trabalho se propõe a realizar uma análise patológica detalhada de uma edificação inacabada que esteve exposta às intempéries por um período de 15 anos, após a execução da fundação, pilares, vigas, alvenaria e laje, a obra encontra-se em uma fase conhecida como obra bruta ou estrutura concluída. Ao longo deste período, a estrutura enfrentou condições climáticas adversas, desde tempestades e ventos fortes até períodos prolongados de chuva e exposição solar intensa. Esta exposição prolongada inevitavelmente pode ter gerado uma série de problemas estruturais, desde danos superficiais até comprometimentos mais graves da integridade da edificação.

## **2 OBJETIVOS**

Este capítulo tem como escopo a delimitação dos objetivos do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar uma análise patológica de uma edificação inacabada que esteve exposta às intempéries por 15 anos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Com o intuito de alcançar o objetivo geral proposto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- analisar e mapear as patologias presentes na edificação;
- investigar as causas subjacentes das patologias;
- utilizar o método FTA (Análise da árvore de falhas) e o método FMEA (Análise dos modos e efeitos de falha) na análise de riscos;
- propor soluções eficazes para remediar os danos identificados.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção, são sintetizadas as análises e contribuições de distintos autores, englobando os principais temas discutidos na pesquisa e oferecendo a fundamentação teórica indispensável ao seu progresso.

#### 3.1 PATOLOGIAS

A patologia é descrita como a ciência dedicada ao estudo da origem, mecanismos, sintomas e natureza das doenças, sendo entendida como a análise de desvios em relação à condição considerada normal ou esperada. Derivada das palavras gregas *pathos* (sofrimento, doença) e *logia* (ciência, estudo), essa área investiga as causas, origens e sintomas de danos ou doenças que afetam um corpo ou matéria, descrevendo os processos de evolução e mecanismos envolvidos. Para isso, utiliza inspeções ou exames com o objetivo de compreender e tratar adequadamente a doença identificada (Bolina; Tutikian; Helene, 2019).

As manifestações patológicas na construção civil resultam de uma combinação de fatores, que incluem tanto os materiais utilizados quanto as condições do ambiente externo onde a estrutura está localizada. Por isso, é comum o surgimento dessas ocorrências. É importante considerar que as intervenções de reparo ou manutenção em uma estrutura devem ser minimizadas e realizadas apenas quando necessário, como forma de atender à demanda de manutenção (Tambara Júnior; Barraza, 2021).

Segundo Helene (1992), os problemas patológicos, em sua maioria, manifestam-se por meio de características externas que possibilitam a dedução de sua natureza, origem e dos mecanismos envolvidos, bem como a estimativa de suas prováveis consequências. Tais manifestações, frequentemente denominadas lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritas e classificadas com base em observações visuais criteriosas e realizadas por profissionais experientes, proporcionando subsídios para um diagnóstico preliminar.

Nesse contexto, a patologia das edificações busca compreender as origens dos danos em construções, avaliando fatores como erros de projeto, execução inadequada, uso de materiais de baixa qualidade e exposição a agentes externos. O estudo sistemático dessas manifestações permite não apenas a solução de problemas existentes, mas também a prevenção de novas ocorrências, promovendo maior durabilidade e segurança às edificações.

### *3.1.1 Causas das Patologias em Edificações e Suas Origens*

As principais causas das patologias em edificações incluem deficiências no projeto, falhas na execução, baixa qualidade dos materiais ou uso inadequado deles, utilização inadequada da estrutura e manutenção insuficiente ou inadequada. A origem dos problemas patológicos está relacionada a falhas que surgem ao longo das diferentes etapas do processo da construção civil, que pode ser dividido em três fases fundamentais: concepção (planejamento, projeto e escolha de materiais), execução e uso da edificação (Ferreira; Lobão, 2018).

As alterações patológicas em estruturas são resultado de uma interação complexa de diversos fatores, que frequentemente levam ao surgimento de anomalias nas edificações. Para lidar com essas manifestações, é fundamental compreender os fatores envolvidos, diagnosticar corretamente a anomalia e adotar medidas eficazes que garantam uma recuperação adequada do problema identificado (Tutikian; Pacheco, 2013).

Além disso, é importante destacar que as condições ambientais e os agentes externos também desempenham um papel significativo no surgimento de patologias. Fatores como exposição a intempéries, variações térmicas, poluição, umidade e ação de agentes biológicos podem acelerar o desgaste e comprometer a durabilidade dos materiais e componentes das edificações. Esses elementos externos, combinados com deficiências internas, reforçam a necessidade de um planejamento preventivo e de estratégias de manutenção periódica que considerem tanto as características da edificação quanto o contexto em que está inserida.

### *3.1.2 Origem e Uso do Concreto Armado*

O concreto é um material composto por cimento, água, areia, pedra ou brita, podendo ainda conter aditivos e adições que modificam ou melhoram suas propriedades. Sua composição é cuidadosamente dosada para conferir as características desejadas tanto no estado fresco quanto no endurecido. Na construção de estruturas de concreto armado, as armaduras de aço são posicionadas dentro das fôrmas, seguidas do lançamento e adensamento do concreto fresco. Após o processo de cura e endurecimento, as fôrmas são retiradas, resultando na peça estrutural final (Bastos, 2006).

O uso do concreto remonta ao século IV a.C., quando foi empregado na construção de muros em uma cidade próxima a Roma, e no século II a.C., passou a ser utilizado em edificações na própria Roma. A pozolana, proveniente de Pozzuoli, nas proximidades do Monte Vesúvio, foi incorporada em argamassas que serviram para construir obras como a Via Ápia, os banhos romanos, o Coliseu, o Pantheon e aquedutos, incluindo o Pont du Gard na França. Os romanos utilizavam a cal como material cimentício, sendo mencionadas porções como 1:4 de cal e areia

por Plínio e 1:2 de cal e pozolana por Vitruvius. Além disso, aditivos como gordura animal, leite e sangue eram empregados para incorporar ar à mistura (Kaefer, 1998).

Segundo Amorim (2010), o concreto é amplamente reconhecido como um dos materiais mais utilizados em escala global, devido às suas propriedades notáveis e sua versatilidade de aplicação em diversas áreas da construção civil. Após algumas horas de sua aplicação, ele atinge sua forma sólida, apresentando características que o tornam indispensável em projetos de infraestrutura. Sua resistência elevada, densidade aparente e durabilidade conferem a ele uma reputação de material robusto e confiável.

Assim, o concreto armado se consolidou como um elemento essencial na engenharia moderna, combinando a resistência à compressão do concreto com a resistência à tração do aço, o que permite a criação de estruturas inovadoras e de alta performance. Sua evolução ao longo dos séculos reflete o desenvolvimento de técnicas e materiais que, juntos, atendem às demandas crescentes da construção civil, promovendo edificações mais seguras, duráveis e economicamente viáveis. Dessa forma, o concreto armado permanece como um símbolo da engenhosidade humana, contribuindo de maneira significativa para o avanço das sociedades e para a transformação dos espaços urbanos.

### *3.1.3 Durabilidade e Manutenção*

De acordo com Aranha (1994), muitos pesquisadores têm direcionado seus estudos para a durabilidade das edificações, motivados pela frequência de danos observados em estruturas de concreto. Esses danos decorrem, principalmente, da interação entre a agressividade ambiental e problemas estruturais, além do uso de práticas inadequadas durante as etapas do processo construtivo.

A durabilidade está diretamente ligada à qualidade das estruturas, sendo fundamental a adoção de critérios adequados desde a fase de projeto, com o objetivo de assegurar, com confiabilidade, que as estruturas tenham um desempenho satisfatório em serviço e resistam aos agentes externos sem apresentar sinais precoces de deterioração (Brandão; Pinheiro, 1999).

O estudo da durabilidade das estruturas de concreto armado e protendido tem avançado devido ao maior entendimento sobre os mecanismos de transporte de líquidos e gases agressivos nos poros do concreto, o que permitiu associar o tempo a modelos matemáticos capazes de quantificar esses processos. Com isso, tornou-se possível avaliar a vida útil das estruturas em termos de anos, em vez de depender apenas de critérios qualitativos relacionados ao grau de exposição (Helene, 2008).

Além disso, a manutenção preventiva desempenha um papel essencial na preservação da durabilidade das estruturas. A implementação de inspeções regulares e intervenções planejadas pode identificar e corrigir potenciais problemas antes que se agravem, aumentando a vida útil das edificações e reduzindo custos com reparos emergenciais. Nesse sentido, a combinação de práticas adequadas de projeto, execução e manutenção é fundamental para garantir a segurança, funcionalidade e sustentabilidade das estruturas ao longo do tempo.

## 3.2 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

### 3.2.1 Fissuras, Trincas e Rachaduras

Segundo Oliveira (2012), fissuras, trincas e rachaduras (Quadro 1) são manifestações patológicas comuns em elementos como alvenarias, vigas, pilares, lajes e pisos, geralmente decorrentes de tensões excessivas nos materiais. Quando os materiais são submetidos a esforços superiores à sua resistência, ocorre uma falha que resulta na abertura, cuja classificação varia de acordo com a espessura, podendo ser identificada como fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha.

**Quadro 1** - Classificação das aberturas conforme a espessura.

| <b>ANOMALIAS</b> | <b>ABERTURAS (mm)</b> |
|------------------|-----------------------|
| Fissura          | Até 0,5               |
| Trinca           | De 0,5 a 1,5          |
| Rachadura        | De 1,5 a 5,0          |
| Fenda            | De 5,0 a 10,0         |
| Brecha           | Acima de 10,0         |

**Fonte:** Adaptado de Oliveira (2012).

As fissuras, como a apresentada na Figura 1, são apontadas como uma das causas mais frequentes de falhas de desempenho em alvenarias, podendo comprometer a estética, a durabilidade e as características estruturais das edificações. Sua gravidade pode variar desde um problema simples até um indício de algo mais sério. Tanto em alvenarias quanto em estruturas de concreto, as fissuras surgem quando as tensões aplicadas superam a resistência do material, funcionando como um mecanismo de alívio dessas tensões (Holanda Júnior, 2002).

As rachaduras representam um estágio mais avançado das fissuras, caracterizadas por aberturas maiores que variam de 1,5 mm a 5,0 mm de espessura. Elas surgem quando as tensões aplicadas ao material continuam a aumentar, ultrapassando significativamente sua capacidade de resistência, o que intensifica o mecanismo de alívio dessas tensões. Por estarem em um estado mais crítico, as rachaduras podem trazer impactos mais severos para as edificações, como a maior exposição aos agentes externos, que aceleram processos de corrosão e degradação

dos materiais. Além de afetarem a estética, elas podem indicar problemas estruturais mais sérios, exigindo intervenções imediatas para evitar comprometer a segurança e a funcionalidade da construção.

**Figura 1 - Fissura em viga.**



**Fonte:** Silva (2023).

### *3.2.2 Infiltração e Umidade*

A água é frequentemente apontada como um dos principais fatores responsáveis por patologias de umidade em edificações de alvenaria, devido à sua facilidade de penetração e propagação em materiais como tijolos, cimento, areia, argamassa e cal. Esse processo ocorre quando há infiltração em algum ponto da construção, como paredes, pisos ou tetos, geralmente causada por fissuras ou falhas na impermeabilização de materiais mais porosos. A infiltração pode ser identificada pelo surgimento de bolhas na pintura (Figura 2) ou por manchas escuras em paredes, tetos, janelas e rodapés (Souza, 2008).

**Figura 2 - Bolhas na pintura.**



**Fonte:** Vieira (2021).

Segundo a análise, a ação da água impacta negativamente a durabilidade das edificações, podendo causar danos ou contribuir para o surgimento de diversas manifestações patológicas tradicionais. Além disso, os defeitos relacionados à infiltração podem gerar transtornos nas relações entre construtores e usuários finais, bem como elevar os custos necessários para corrigir essas falhas (Bernhoeft; Melhado, 2009).

A presença de umidade nas edificações não apenas compromete a estética e a funcionalidade dos espaços, mas também acelera o desgaste dos materiais, reduzindo sua vida útil e favorecendo o surgimento de agentes biológicos, como fungos e mofo. Esses agentes podem agravar problemas estruturais e causar impactos na saúde dos ocupantes, especialmente em ambientes mal ventilados. A prevenção e o controle da umidade, portanto, tornam-se essenciais no planejamento e na execução de obras, exigindo atenção especial a soluções de impermeabilização e à manutenção periódica para evitar falhas construtivas.

### 3.2.3 Carbonatação

Segundo Pauletti (2004), a carbonatação pode ser descrita como um processo físico-químico complexo em que os compostos do cimento, independentemente de estarem hidratados, são lentamente convertidos em carbonatos devido a reações com o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e outros gases ácidos, como o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e o ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). A redução do pH para valores abaixo de 9, causada pela dissolução do  $\text{CO}_2$  presente no ar, quando alcança a profundidade do aço, promove a despassivação deste, desencadeando a corrosão (Figura 3). Esse fenômeno é denominado carbonatação (Souza; Ripper, 2009).

**Figura 3 - Carbonatação.**



**Fonte:** Frazão (2021).

Conforme Castellote *et al.* (2009), o fenômeno da carbonatação está relacionado à concentração de  $\text{CO}_2$  no ambiente, ao nível de umidade do ar, à temperatura a que a estrutura está exposta e às características próprias do concreto, como o tipo de cimento utilizado, os

materiais adicionados, os agregados e o processo de cura, os quais influenciam na composição da mistura e na estrutura dos poros.

O método mais comum utilizado pela engenharia para detectar a carbonatação consiste na aplicação de uma solução alcoólica de fenolftaleína a 1% sobre um corpo de prova de concreto retirado da estrutura. A fenolftaleína, um corante orgânico e ácido fraco diprótico, atua como um indicador ácido-base, mudando de cor na faixa de pH entre 8,2 e 9,8, o que permite avaliar a presença de carbonatação (Polito, 2006).

A carbonatação impacta as propriedades mecânicas do concreto, reduzindo sua resistência e rigidez. Dada sua relevância para a vida útil de estruturas de concreto armado, é essencial compreender os mecanismos desse processo e desenvolver estratégias de mitigação que assegurem a durabilidade estrutural (Paula; Paula, 2023).

#### 3.2.4 Degradação do Concreto

O concreto armado, embora seja versátil para a construção de estruturas, pode apresentar desempenho insatisfatório em função dos fatores ambientais a que está submetido. Sua durabilidade está associada tanto à dosagem do concreto quanto às características microestruturais da matriz hidratada. As propriedades da pasta de cimento hidratada, influenciadas pelo tipo de cimento Portland utilizado e pelo emprego de adições minerais, impactam diretamente a microestrutura da pasta, permitindo a produção de concretos com resistência à compressão semelhante, mas com diferentes níveis de durabilidade frente a agentes deletérios. Nesse sentido, embora o aumento da resistência à compressão contribua para melhorias na durabilidade, ele nem sempre é suficiente para otimizá-la, o que pode tornar o concreto mais suscetível a ambientes agressivos e reduzir a vida útil da estrutura (Hoppe Filho *et al.*, 2014).

De acordo com Molin *et al.* (2016), construções frequentemente apresentam níveis de degradação do concreto (Figura 4) maiores do que o esperado, decorrentes de problemas de qualidade e durabilidade associados a falhas de execução e ao surgimento de manifestações patológicas. Essas questões comprometem a estética, a segurança, a funcionalidade e a vida útil das edificações.

**Figura 4 -** Degradação do Concreto.



**Fonte:** Vasconcellos (2023).

Portanto, para mitigar os problemas relacionados à degradação do concreto, é fundamental adotar uma abordagem integrada que contemple o controle de qualidade desde a produção até a execução das estruturas. Isso inclui a escolha criteriosa dos materiais, a utilização de técnicas adequadas de mistura e cura, além da aplicação de práticas construtivas que reduzam a incidência de falhas. Além disso, estratégias preventivas, como o monitoramento periódico e a manutenção programada, são indispensáveis para prolongar a durabilidade das estruturas e minimizar os custos associados à recuperação e reabilitação ao longo do ciclo de vida útil das edificações.

### *3.2.5 Corrosão da Estrutura de Aço*

O aço é descrito como uma liga ferro-carbono com até 2% de carbono, contendo também pequenas quantidades de elementos químicos como manganês, silício, fósforo, enxofre e oxigênio. A concentração de carbono desempenha um papel significativo nas propriedades mecânicas e nas transformações de fase do material, permitindo, junto com outros elementos de liga, a obtenção de uma ampla variedade de produtos. Considerado a mais versátil e importante das ligas metálicas, o aço é produzido em milhares de especificações distintas, cada uma destinada a aplicações específicas (Pannoni, 2004).

A corrosão é um fenômeno natural caracterizado pela deterioração de materiais, geralmente metais, como resultado de reações químicas ou eletroquímicas com o ambiente. Esse processo ocorre devido ao potencial termodinâmico dos metais, que representa a energia impulsionadora da corrosão. Como os metais são produzidos a partir de minérios, como óxidos, por meio de processos que consomem energia, é natural que, ao serem expostos ao ambiente, retornem ao estado de menor energia (Figura 5), que é sua condição original (Pannoni, 2015).

**Figura 5** - Processo de corrosão do aço.

Fonte: Pannoni (2015).

A corrosão, embora seja um processo inevitável em muitos casos, pode ser significativamente controlada por meio de estratégias de proteção e engenharia de materiais. Técnicas como o uso de revestimentos protetores, aplicação de pintura anticorrosiva, galvanização e o emprego de inibidores de corrosão são amplamente utilizadas para prolongar a vida útil dos materiais metálicos. Além disso, a seleção criteriosa de ligas metálicas resistentes à corrosão, como o aço inoxidável, e a implementação de métodos de proteção catódica demonstram como a compreensão das interações entre o material e o ambiente pode mitigar os impactos desse fenômeno natural, tornando-o mais gerenciável em aplicações industriais e estruturais.

### 3.3 MÉTODOS FTA E FMEA

O aumento no número de ocorrências patológicas em estruturas de concreto armado tem gerado uma crescente demanda por serviços de inspeção e manutenção em todo o Brasil. Contudo, destaca-se que a prática de inspeções periódicas ainda não é amplamente adotada, principalmente devido à falta de conhecimento sobre a importância da manutenção para assegurar a integridade estrutural. Nesse contexto, a racionalização do processo de manutenção, com o uso de ferramentas de gestão da qualidade total como a Análise da Árvore de Falhas (FTA) e a Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA), pode contribuir para a criação de bancos de dados que priorizem as patologias por nível de risco e permitam a elaboração de planos de ação preventiva e corretiva (Silva; Monteiro, 2016).

A análise de árvore de falhas é uma metodologia dedutiva que parte do topo para identificar a causa de um evento indesejado em um sistema complexo. Isso envolve decompor a causa raiz de uma falha em seus fatores contribuintes e representá-la por meio de um modelo

chamado árvore de falhas (Quadro 2), o que auxilia gestores e engenheiros a identificar modos potenciais de falha e a probabilidade de cada um, em análises de segurança e confiabilidade (IBM, 2024).

**Quadro 2 -** Aplicação do Método Análise da Árvore de Falhas (FTA).

| ETAPA                                | DESCRIÇÃO                                                                                                             |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Definição do Problema                | Identificação do evento de topo (falha principal ou estado indesejado do sistema)                                     |
| Construção da Árvore de Falhas       | Desenvolvimento da estrutura hierárquica utilizando lógica booleana para decompor o evento de topo em eventos menores |
| Identificação das Causas Básicas     | Determinação das falhas básicas que podem levar ao evento de topo                                                     |
| Análise Qualitativa                  | Estudo das relações entre os eventos para identificar os caminhos de falha no sistema                                 |
| Análise Quantitativa                 | Cálculo da probabilidade de ocorrência de cada evento e do evento de topo                                             |
| Identificação de Medidas Mitigadoras | Desenvolvimento de ações corretivas ou preventivas para reduzir o risco de falha                                      |
| Revisão e Validação                  | Verificação e validação da árvore de falhas para garantir a coerência e a aplicabilidade da análise                   |

**Fonte:** Adaptado de Lima Junior (2012).

A ferramenta FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha) é utilizada para organizar um conjunto de atividades com o objetivo de identificar falhas potenciais, priorizá-las e avaliar seus efeitos no projeto ou processo (Quadro 3). A partir dessa identificação, são definidas ações para eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência dessas falhas. Além disso, as ações também podem ser direcionadas a aumentar a chance de detecção das falhas, de modo a evitar que produtos não conformes cheguem ao cliente (Camargo; Ferreira; Porciúncula, 2017).

**Quadro 3 -** Exemplo de classificação da gravidade do efeito do modo de falha.

| PRIORIDADE | EFEITO(S) DA(S) FALHA(S)           | SISTEMAS DE REVESTIMENTO DESCONTINUO DE FACHADAS |
|------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 9          | Potenciais problemas de segurança  | Estrutural (rotura, deformações)                 |
| 8          | Grande descontentamento no cliente | Penetração de água                               |
| 6          | Certo descontentamento no cliente  | Manchas, condensações, ruído                     |
| 3          | Ligeiro inconveniente ao cliente   | Aparência (cor, acabamento)                      |
|            | O cliente não detecta a falha      |                                                  |

**Fonte:** Adaptado de Silva, Fonseca e Brito (2022).

Quando aplicados à análise de patologias em construções, os métodos FTA e FMEA oferecem uma abordagem sistemática e estruturada para identificar as causas raízes das falhas

e priorizar intervenções com base no impacto e na criticidade de cada problema. No caso do FTA, a identificação das causas principais de patologias, como fissuras, infiltrações e corrosão, permite mapear os fatores que levam à degradação estrutural, auxiliando na definição de estratégias eficazes para prevenção e correção. Por outro lado, o FMEA possibilita a análise detalhada dos modos de falha mais recorrentes em sistemas construtivos, estabelecendo prioridades e direcionando ações para mitigar a ocorrência de falhas e seus efeitos adversos. Dessa forma, ambas as ferramentas podem ser integradas para aumentar a eficiência dos planos de manutenção e garantir maior durabilidade e segurança das estruturas de concreto armado.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para obter os resultados referentes à problemática deste estudo. Além disso, descreve em detalhes os materiais e métodos empregados na realização da pesquisa.

### 4.1 INDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DE PESQUISA

O presente estudo foi conduzido em uma edificação inacabada (Figura 6), situada no Município de Umari, Estado do Ceará, a qual esteve exposta a diversas intempéries ao longo dos anos, resultando no surgimento de patologias em seus elementos estruturais. O município localiza-se na Mesorregião do Centro-Sul Cearense, a aproximadamente 402 km da capital do estado.

A construção da edificação foi iniciada em meados de 2010, tendo grande parte de sua estrutura concluída, incluindo fundações, vigas, pilares, laje e parte significativa da alvenaria. No entanto, as atividades foram interrompidas após o falecimento do proprietário, permanecendo inacabada desde então.

**Figura 6** - Edificação.



**Fonte:** Autor (2025).

Com o passar dos anos, a exposição prolongada às condições climáticas adversas, como chuvas intensas, variações térmicas e radiação solar, contribuiu para o desenvolvimento de manifestações patológicas na estrutura da edificação. Esses danos comprometeram a integridade da estrutura, tornando-a um objeto de estudo relevante para a identificação das causas e possíveis métodos de recuperação.

Além dos fatores climáticos, a ausência de manutenção e a longa paralisação das obras também favoreceram o agravamento das patologias construtivas. A exposição contínua dos

materiais às intempéries acelerou processos de degradação, resultando na perda de resistência e durabilidade de alguns componentes estruturais. Dessa forma, a análise detalhada das manifestações patológicas presentes na edificação torna-se essencial para a definição de estratégias adequadas de reabilitação, contribuindo para a conservação do patrimônio edificado e a segurança estrutural da construção.

#### 4.2 TIPOLOGIA DA PESQUISA

Para a realização da pesquisa, adotou-se o método qualitativo, que possibilitou uma análise detalhada das manifestações patológicas presentes na edificação inacabada. Esse método permitiu compreender as causas dos danos estruturais por meio da observação direta e da interpretação dos fenômenos construtivos, sem a utilização de dados numéricos ou experimentais. A pesquisa qualitativa é caracterizada pelo desenvolvimento conceitual de fatos, ideias e opiniões, bem como pela interpretação indutiva dos dados obtidos. Além disso, apresenta um caráter exploratório, subjetivo e espontâneo, permitindo uma análise mais aprofundada dos fenômenos estudados (Soares, 2019).

Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, que segundo Fleury e Werlang (2019), é compreendida como um conjunto de atividades que utiliza conhecimentos previamente adquiridos para a coleta, seleção e processamento de fatos e dados, com o objetivo de obter e confirmar resultados, além de gerar impacto.

Os objetivos da pesquisa podem ser classificados em descritivos e explicativos. A pesquisa descritiva busca detalhar um fenômeno ou situação, permitindo a identificação clara das características de um indivíduo, grupo ou contexto, além de explorar a relação entre eventos. Seu propósito principal é observar e registrar os fenômenos sem aprofundamento, limitando-se a identificar a frequência com que um sistema, método, processo ou realidade operacional funciona (Pedroso; Silva; Santos, 2017). A pesquisa explicativa tem como foco identificar os fatores que influenciam ou determinam a ocorrência de determinados fenômenos. Seu objetivo é compreender as causas dos eventos, buscando explicar o motivo pelo qual ocorrem, com base nos resultados obtidos (Gil, 2007).

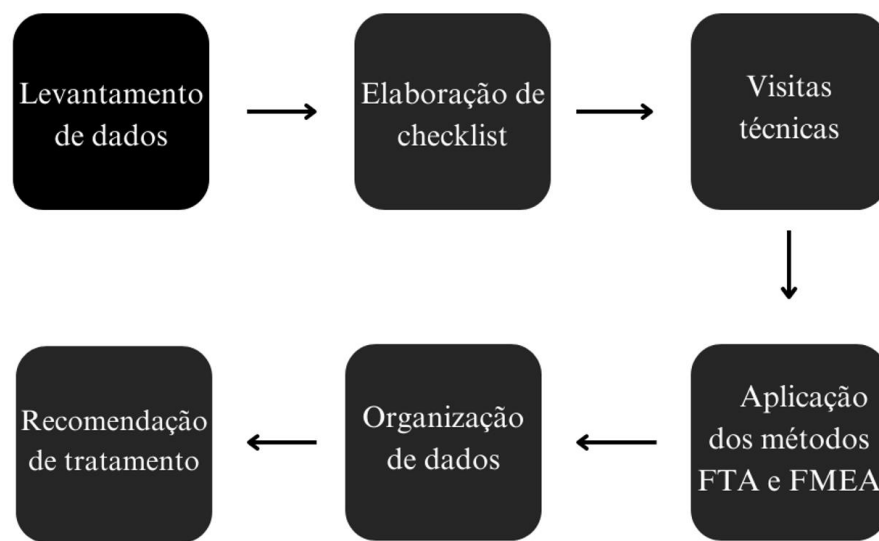
Quanto aos procedimentos, caracteriza-se por um estudo de caso, uma vez que a pesquisa foi conduzida a partir da análise detalhada de uma edificação inacabada, permitindo a investigação minuciosa de suas manifestações patológicas. De acordo com Yin (2001), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que possibilita a compreensão aprofundada de um fenômeno dentro de seu contexto real, sendo especialmente útil quando os limites entre o objeto de estudo e seu ambiente não estão claramente definidos. Dessa forma, essa abordagem

permitiu a coleta de informações relevantes por meio da observação direta, contribuindo para a identificação das causas dos danos estruturais e para a interpretação dos fatores envolvidos no processo construtivo.

### 4.3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Todas as etapas essenciais para o desenvolvimento do trabalho estão detalhadas no Fluxograma 1.

**Fluxograma 1** - Metodologia aplicada.



**Fonte:** Autor (2025).

#### 4.3.1 Levantamento de Dados

Nesta etapa, foi realizado um levantamento de dados e do histórico da construção, com o objetivo de coletar informações sobre seu processo construtivo, incluindo projetos, materiais utilizados, técnicas empregadas e documentos pertinentes. Para isso, foram conduzidas inspeções visuais e registros fotográficos, além da realização de conversas informais com vizinhos da edificação.

#### 4.3.2 Elaboração de Checklist

Com o objetivo de organizar de maneira eficiente o trabalho, foi desenvolvido um checklist estruturado, abrangendo as possíveis manifestações em concreto armado e um campo destinado a observações adicionais. A adoção dessa ferramenta é essencial para assegurar a correta execução das etapas previstas, garantindo a qualidade e a eficiência dos processos. Além disso, sua aplicação contribui para a padronização das atividades, minimizando falhas e

proporcionando um controle mais preciso durante a realização do projeto.

#### *4.3.3 Visitas Técnicas*

As visitas técnicas desempenham um papel fundamental na identificação e análise das manifestações patológicas na edificação estudada. Elas possibilitam a observação direta das condições estruturais, permitindo a coleta de informações detalhadas sobre o estado de conservação dos elementos construtivos.

Durante as visitas, foram realizadas inspeções visuais sistemáticas, com registro fotográfico das anomalias encontradas. Essas inspeções seguiram um roteiro previamente estruturado, abrangendo os principais aspectos relacionados à integridade da construção, tais como fissuras, infiltrações, degradação de concreto e corrosão de armaduras.

Além das observações diretas, foram coletados dados complementares por meio de entrevistas informais com moradores vizinhos e profissionais da construção civil que possuíssem conhecimento prévio sobre a edificação. Essas informações auxiliaram na reconstituição do histórico da construção e no entendimento das possíveis causas das patologias identificadas.

Os dados obtidos nas visitas técnicas foram organizados e tabulados para posterior análise, servindo de base para a aplicação dos métodos de avaliação FTA (Análise da Árvore de Falhas) e FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha). Dessa forma, foi possível correlacionar os danos observados com suas origens prováveis e propor medidas corretivas eficazes para a recuperação estrutural da edificação.

#### *4.3.4 Aplicação dos Métodos FTA e FMEA*

A aplicação dos métodos FTA (Análise da Árvore de Falhas) e FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha) foi essencial para a identificação, categorização e avaliação dos riscos estruturais presentes na edificação inacabada exposta às intempéries. Essas ferramentas possibilitaram uma abordagem sistemática para compreender as origens das patologias, suas consequências e as ações corretivas adequadas.

#### *4.3.5 Análise da Árvore de Falhas (FTA)*

A metodologia FTA foi empregada para examinar a relação de causa e efeito entre as falhas estruturais identificadas. A análise iniciou-se com a definição do evento de topo, que consistiu no comprometimento da integridade estrutural da edificação. Em seguida, esse evento foi decomposto em falhas secundárias e suas respectivas causas, utilizando lógica booleana para criar uma estrutura hierárquica. Dentre as principais falhas mapeadas na árvore de falhas,

destacam-se:

- a) **Fissuração e trincas** → causadas por retração térmica, sobrecarga ou falhas de projeto;
- b) **Infiltração e umidade** → resultantes da ausência de impermeabilização e exposição prolongada à chuva;
- c) **Degradação do concreto** → devido à carbonatação e lixiviação;
- d) **Corrosão das armaduras** → acelerada pelo contato com umidade e agentes agressivos.

A partir do mapeamento das falhas, foram determinadas as causas básicas e identificadas estratégias de mitigação, priorizando intervenções corretivas e preventivas para evitar a progressão dos danos estruturais.

#### 4.3.6 Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

O método FMEA foi aplicado para avaliar a criticidade das patologias identificadas, classificando-as segundo sua gravidade ( $G$ ), probabilidade de ocorrência ( $O$ ) e detectabilidade ( $D$ ). Cada fator recebeu uma pontuação com base na severidade do impacto na estrutura, resultando no Número de Prioridade de Risco ( $NPR$ ), obtido pela Equação 01 e exemplificado no Quadro 4.

$$NPR = G * O * D \quad (01)$$

Os modos de falha mais críticos foram priorizados para análise aprofundada e aplicação de medidas corretivas. Os principais modos de falha analisados foram:

**Quadro 4** - Matriz de aplicação do método FMEA

| MODO DE FALHA                  | GRAVIDADE( $G$ ) | OCORRÊNCIA( $O$ ) | DETECTABILIDADE( $D$ ) | NPR |
|--------------------------------|------------------|-------------------|------------------------|-----|
| Fissuras, trincas e rachaduras |                  |                   |                        |     |
| Infiltração e umidade          |                  |                   |                        |     |
| Carbonatação                   |                  |                   |                        |     |
| Degradação do concreto         |                  |                   |                        |     |
| Corrosão do aço                |                  |                   |                        |     |

Fonte: Autor (2025).

A partir dessa classificação, foram estabelecidas medidas de intervenção para cada patologia, priorizando a correção de falhas com maior impacto estrutural e menor detectabilidade, visando aumentar a segurança e a durabilidade da edificação.

A combinação das metodologias FTA e FMEA permitiu um diagnóstico detalhado das patologias construtivas, auxiliando na formulação de soluções eficazes para minimizar os riscos estruturais e prolongar a vida útil da edificação.

#### *4.3.7 Organização de Dados*

Após a realização das visitas técnicas e a coleta de dados, as informações foram estruturadas em quadros e tabelas, possibilitando a inserção, armazenamento e vinculação das imagens capturadas. Esse processo viabilizou uma avaliação detalhada das anomalias identificadas, garantindo uma análise prática, segura e facilitando a interpretação dos fenômenos observados.

#### *4.3.8 Recomendação de Tratamento*

Com base na análise dos dados coletados e nas diretrizes e informações pesquisadas, foram sugeridas as técnicas mais apropriadas recuperar os elementos construtivos, considerando as patologias identificadas.

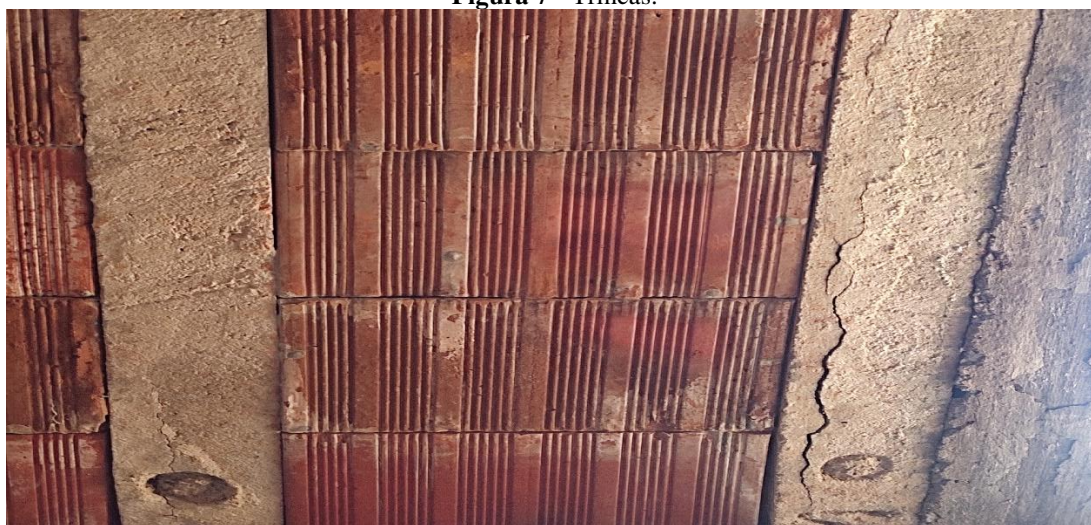
## 5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os dados coletados, acompanhados de uma análise interpretativa e analítica, conduzida de maneira objetiva, aprofundada e lógica.

### 5.1 FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS

A maioria das aberturas identificadas corresponde a fissuras e trincas, com a presença também de rachaduras e fendas em determinados pontos da edificação, conforme ilustrado na Figura 7. Essas manifestações patológicas foram desencadeadas por variações térmicas, resultantes da exposição da estrutura a temperaturas extremas e à ação da chuva, o que provoca a dilatação e contração do concreto, gerando tensões internas que favorecem seu surgimento. Ademais, a ocorrência de infiltrações e vazamentos contribuiu para a propagação e agravamento do problema.

**Figura 7 - Trincas.**



**Fonte:** Autor (2025).

Para corrigir as fissuras, trincas, rachaduras e fendas presentes na edificação, o primeiro passo é realizar uma inspeção detalhada para avaliar a profundidade, extensão e gravidade de cada abertura. Em seguida, a superfície deve ser limpa para remover poeira, fragmentos soltos e qualquer resíduo que possa comprometer a aderência dos materiais de reparo. Para fissuras e trincas superficiais e estabilizadas, recomenda-se a aplicação de um selante flexível, como resina epóxi ou poliuretana, garantindo o preenchimento completo das aberturas para evitar infiltrações e novas manifestações patológicas.

No caso de rachaduras e fendas mais profundas, pode ser necessário um reforço estrutural por meio da injeção de resina epóxi sob pressão ou do grauteamento com argamassa

de alta aderência, a fim de restaurar a resistência da laje e evitar a progressão dos danos. Se essas aberturas forem causadas por movimentações estruturais, recalques diferenciais ou sobrecargas, a aplicação de reforços adicionais, como perfis metálicos ou fibra de carbono, pode ser necessária para garantir maior estabilidade. Após a correção, a estrutura deve ser protegida com um novo revestimento de argamassa e pintura adequada, prevenindo a ação de umidade, agentes agressivos e variações térmicas que possam comprometer sua durabilidade.

## 5.2 INFILTRAÇÃO E UMIDADE

As imagens da Figura 8 mostram uma estrutura com sinais evidentes de infiltração e umidade, que comprometem a integridade do teto e da laje.

**Figura 8 - Infiltrações e umidade.**



**Fonte:** Autor (2025).

As primeiras duas imagens revelam um teto com tijolos cerâmicos e vigas de concreto que apresentam fissuras e rachaduras. Esse tipo de dano pode ser consequência de infiltração de água, possivelmente vinda da laje superior. A umidade excessiva pode lixiviar compostos hidratados do concreto e desencadear o processo de corrosão das armaduras, resultando em perda de resistência estrutural. Nota-se que alguns tijolos estão escurecidos, o que indica absorção prolongada de umidade. Esse efeito pode levar à degradação progressiva do material, causando desprendimentos e aumentando o risco de colapso em determinadas áreas.

A terceira imagem evidencia um acúmulo significativo de água na superfície da laje, resultado de deficiências no sistema de drenagem, impermeabilização inadequada e

rebaixamento da laje em relação aos pontos de escoamento, cujos tubos encontram-se acima do nível da superfície devido a esse desnível. Essas condições favorecem a infiltração de água para os pavimentos inferiores. Na ausência de um sistema eficiente de escoamento, a água persistirá na estrutura, agravando as fissuras e intensificando os danos estruturais ao longo do tempo.

Durante a visita técnica, um profissional da construção civil informou que, devido às condições apresentadas, a laje precisará ser refeita. No entanto, os pilares e vigas aparentam estar em condições adequadas para serem reaproveitados na reforma.

Como solução a reparação das fissuras e a substituição dos tijolos gravemente danificados são etapas essenciais para garantir a integridade estrutural e a segurança do edifício. Paralelamente, a implementação de um sistema de drenagem eficiente é fundamental para impedir o acúmulo de água na nova laje, uma das principais causas de infiltrações e comprometimento estrutural. Para isso, é necessário garantir a instalação correta de calhas, ralos e condutores pluviais, além de verificar se o nivelamento da superfície permite o adequado escoamento da água. Também é recomendada a aplicação de materiais impermeabilizantes de qualidade, prevenindo a penetração da umidade e prolongando a durabilidade da estrutura.

### 5.3 CARBONATAÇÃO

A origem dessa manifestação patológica está na presença de porosidade e fissuras na estrutura, que permitiram a entrada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) do ambiente. Ao entrar em contato com a umidade presente no concreto, o  $\text{CO}_2$  se dissolveu, formando ácido carbônico. Esse ácido, ao reagir com os compostos de cálcio do cimento, especialmente o hidróxido de cálcio, resultou na formação de carbonato de cálcio. Esse processo levou à redução do pH do concreto, criando um ambiente propício para a corrosão das armaduras. Como consequência, ocorreu a expansão do aço, gerando tensões internas que resultaram em fissuras e comprometimento da integridade estrutural do elemento, conforme ilustrado na Figura 9.

**Figura 9 - Carbonatação.**

**Fonte:** Autor (2025).

Além disso uma relação água/cimento elevada pode ter tornado o concreto mais permeável, aumentando sua vulnerabilidade à carbonatação. A cura inadequada também compromete a resistência do material, tornando-o mais suscetível à penetração de agentes agressivos. Outro fator relevante é a espessura insuficiente do recobrimento das armaduras, que acelera a deterioração do aço. O uso de materiais de baixa qualidade, como cimentos com menor teor de hidróxido de cálcio ou agregados inadequados, também contribui para a redução da resistência química do concreto.

Para solucionar esse problema e restaurar a integridade estrutural, é necessário adotar medidas corretivas eficazes. Inicialmente, as áreas comprometidas devem ser removidas e reparadas, garantindo a eliminação das partes deterioradas do concreto e das armaduras corroídas. As armaduras expostas precisam ser tratadas com agentes passivadores ou tintas anticorrosivas para interromper o processo de oxidação. A recomposição das áreas afetadas pode ser realizada com argamassas especiais, ricas em cimento ou materiais poliméricos, reforçando a proteção da estrutura. Além disso, a aplicação de produtos inibidores da carbonatação, como hidrofugantes ou resinas acrílicas, reduz a absorção de  $\text{CO}_2$  e umidade, prolongando a vida útil do concreto. Em casos mais severos, pode ser necessário reforçar a estrutura com fibras de carbono, chapas metálicas ou outras técnicas de reabilitação estrutural. Por fim, a implementação de um sistema de impermeabilização eficiente e a realização de manutenções periódicas são essenciais para evitar o avanço da carbonatação e garantir a durabilidade da estrutura ao longo do tempo.

#### 5.4 DEGRADAÇÃO DO CONCRETO

Conforme a Figura 10, existem sinais de degradação superficial do concreto, possivelmente devido a uma má dosagem da mistura, falhas na compactação ou ataque de agentes químicos. Esse processo reduz a resistência da estrutura e pode levar à exposição das armaduras.

**Figura 10** - Degradação do concreto.



**Fonte:** Autor (2025).

Observa-se a presença de fissuras longitudinais e transversais ao longo das vigas e lajes, o que pode indicar tensões excessivas, retração do concreto ou falhas na cura. Para mitigar esses danos, é essencial realizar um tratamento adequado das fissuras.

A degradação das lajotas cerâmicas, evidenciada pelo deslocamento e fragmentação, sugere problemas de aderência entre os materiais ou sobrecarga na estrutura. Para corrigir essa patologia, é recomendada a substituição das peças danificadas e a aplicação de argamassa de fixação de alta aderência para garantir maior estabilidade. Além disso, a redistribuição de cargas na estrutura deve ser analisada para evitar sobrecargas localizadas.

#### 5.5 CORROSÃO DA ESTRUTURA DE AÇO

A corrosão das armaduras nessa estrutura conforme a figura 11 pode estar sendo causada principalmente por infiltração de água, carbonatação do concreto, ataque de cloretos, baixa qualidade do concreto ou pouca cobertura das armaduras, além de variações de temperatura e umidade que geram microfissuras. Esses fatores permitem a entrada de umidade e oxigênio, acelerando o processo de corrosão.

**Figura 11 - Corrosão do aço.**

**Fonte:** Autor (2025).

O tratamento adequado envolve a remoção do concreto deteriorado, limpeza e aplicação de inibidor de corrosão nas armaduras expostas, seguida da recomposição do concreto com materiais adequados e reforço da impermeabilização para evitar novas infiltrações. Além disso, é essencial realizar um monitoramento contínuo para identificar possíveis novos sinais de deterioração e garantir a durabilidade da estrutura.

## 5.6 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DA ÁRVORE DE FALHAS (FTA)

O Quadro 5 mostra a Análise da Árvore de Falhas (FTA) aplicada à estrutura.

**Quadro 5 - Análise da árvore de falhas.**

| <b>FATOR PRINCIPAL</b>                  | <b>CAUSA PRIMÁRIA</b>               | <b>SUBCAUSA</b>                            | <b>FATOR CONTRIBUINTE</b>                                                                                                       |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Deterioração da laje e risco estrutural | Infiltração de água na laje         | Acúmulo de água na superfície              | - Falta de impermeabilização<br>- Ausência ou obstrução de ralos<br>- Execução inadequada da inclinação                         |
|                                         |                                     | Entrada de umidade pelas fissuras          | - Expansão e contração térmica do concreto<br>- Carbonatação do concreto<br>- Cura inadequada do concreto                       |
|                                         | Corrosão das armaduras              | Exposição das armaduras devido a fissuras  | - Infiltração de água e oxidação<br>- Carbonatação reduzindo a proteção alcalina<br>- Baixa espessura de cobrimento do concreto |
|                                         |                                     | Presença de cloretos acelerando a corrosão | - Contato com água contaminada com cloretos<br>- Uso de materiais inadequados                                                   |
|                                         | Falhas construtivas e de manutenção | Falha na impermeabilização                 | - Falta de aplicação de manta asfáltica<br>- Desgaste ao longo do tempo sem manutenção                                          |
|                                         |                                     | Falta de manutenção corretiva              | - Não realização de inspeções regulares<br>- Ausência de reparos em fissuras e infiltrações iniciais                            |

**Fonte:** Autor (2025).

A deterioração da laje está diretamente relacionada à infiltração de água, corrosão das armaduras e falhas construtivas. O acúmulo de água na superfície da laje, evidenciado pela presença de poças, indica a ausência de um sistema eficiente de drenagem, como ralos e inclinação adequada. A umidade excessiva penetra pelas fissuras do concreto, favorecendo o processo de carbonatação e reduzindo a proteção das armaduras, tornando-as suscetíveis à corrosão. Além disso, a possível presença de cloretos na água pode acelerar esse processo, comprometendo ainda mais a resistência da estrutura. A falta de impermeabilização adequada e a ausência de manutenção preventiva agravam o problema, permitindo que os danos se intensifiquem ao longo do tempo.

Para solucionar esses problemas, é essencial adotar medidas corretivas e preventivas. A reconstrução da laje deve ser refeita utilizando manta asfáltica ou produtos impermeabilizantes adequados, acompanhada da instalação de um sistema de drenagem eficiente para evitar a estagnação da água. Além disso, a implementação de um plano de inspeção periódica ajudará a identificar e corrigir falhas antes que comprometam a segurança estrutural do edifício. Dessa forma, será possível garantir maior durabilidade e segurança à construção.

## 5.7 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA)

A Tabela da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA) para a estrutura, utilizando a Equação 01, onde:

- a) **G (Gravidade):** impacto da falha na estrutura (1 = baixo, 10 = muito alto).
- b) **O (Ocorrência):** probabilidade de a falha ocorrer (1 = rara, 10 = frequente).
- c) **D (Detecção):** facilidade de detectar a falha antes de causar danos (1 = fácil, 10 = difícil).
- d) **NPR (Número de Prioridade de Risco):** produto dos três fatores (quanto maior, mais crítica a falha).

### GRAVIDADE (G)

Avalia o impacto do efeito da falha sobre a estrutura.

- **1–3:** impacto muito baixo, apenas inconveniente estético, sem risco estrutural.
- **4–6:** impacto moderado, degradação visível, mas sem risco imediato.
- **7–8:** impacto elevado, comprometimento estrutural parcial, risco significativo.
- **9–10:** impacto crítico, risco de ruptura, colapso ou segurança dos usuários.

### OCORRÊNCIA (O)

Mede a frequência ou probabilidade de a falha ocorrer.

- **1–3:** falha rara, pouco provável de acontecer.
- **4–6:** falha ocasional, pode ocorrer em certas condições.
- **7–8:** falha frequente, repetitiva em situações típicas.
- **9–10:** falha quase certa, ocorre sistematicamente ou já observada muitas vezes.

DETECTABILIDADE (D)

Representa a probabilidade de detectar a falha antes que cause danos.

- **1–3:** falha facilmente detectável por inspeção ou monitoramento.
- **4–6:** detecção moderada, possível com atenção ou testes específicos.
- **7–8:** difícil de detectar, normalmente passa despercebida.
- **9–10:** impossível de detectar antes de causar dano ou colapso.

**Tabela 1** - Análise dos modos e efeitos de falha.

| MODO DA FALHA                     | EFEITO DA FALHA                                            | CAUSA RAIZ                                       | G  | O | D | NPR        | AÇÃO RECOMENDADA                                                 |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----|---|---|------------|------------------------------------------------------------------|
| Infiltração de água na laje       | Corrosão das armaduras e degradação do concreto            | Falha na impermeabilização e drenagem inadequada | 9  | 8 | 7 | <b>504</b> | Refazer a laje e aplicar impermeabilização e corrigir escoamento |
| Fissuração no concreto            | Perda de resistência estrutural e risco de deslocamento    | Expansão térmica, retração e carga excessiva     | 8  | 7 | 6 | <b>336</b> | Tratamento das fissuras com resinas e reforço estrutural         |
| Corrosão das armaduras            | Redução da capacidade estrutural e risco de colapso        | Carbonatação e presença de umidade               | 10 | 7 | 8 | <b>560</b> | Reparar armaduras expostas e aplicar inibidores de corrosão      |
| Deterioração dos blocos cerâmicos | Infiltração, aumento da umidade interna e desgaste precoce | Falha na fixação e degradação por intempéries    | 6  | 6 | 5 | <b>180</b> | Reforçar a fixação e substituir blocos danificados               |
| Carbonatação do concreto          | Redução do pH e menor proteção às armaduras                | Contato prolongado com CO <sub>2</sub> e umidade | 7  | 6 | 7 | <b>294</b> | Aplicar revestimentos protetores e reforçar cobrimento           |

**Fonte:** Autor (2025).

Os modos de falha com maior NPR são a corrosão das armaduras (560) e a infiltração de água (504), o que indica que são as falhas mais críticas e devem ser corrigidas com prioridade. A reconstrução da laje, a drenagem adequada e o tratamento das armaduras são essenciais para evitar o colapso estrutural. Além disso, ações como inspeções periódicas, aplicação de revestimentos protetores e reforço estrutural ajudarão a minimizar os riscos e aumentar a durabilidade da edificação.

## 6 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo realizar uma análise patológica detalhada de uma edificação inacabada exposta às intempéries por 15 anos, identificando suas manifestações patológicas, suas causas e possíveis soluções eficazes para a recuperação estrutural.

Através da revisão bibliográfica, constatou-se que as falhas estruturais em edificações podem estar relacionadas a diversos fatores, como deficiências no projeto, falhas na execução, uso inadequado de materiais e falta de manutenção preventiva. Além disso, agentes externos, como umidade, variações térmicas e ação de gases atmosféricos, contribuem significativamente para a degradação das estruturas, reduzindo sua durabilidade e segurança.

Os resultados obtidos por meio das visitas técnicas e da aplicação dos métodos FTA e FMEA permitiram a identificação das principais patologias presentes na edificação estudada, destacando-se fissuras, infiltração e umidade, degradação do concreto, carbonatação e corrosão das armaduras. Essas manifestações patológicas, além de comprometerem a integridade estrutural, podem representar riscos à segurança dos usuários e aumentar os custos de reabilitação ao longo do tempo.

Diante das patologias identificadas, foram propostas soluções específicas para mitigar os danos e restaurar a edificação, incluindo a impermeabilização de áreas vulneráveis, a recuperação do concreto degradado, o tratamento da corrosão das armaduras e a aplicação de técnicas preventivas para prolongar a vida útil da estrutura.

Por fim, este estudo reforça a importância da adoção de práticas preventivas na construção civil, ressaltando que a manutenção periódica e a utilização de metodologias de análise de falhas podem evitar o surgimento de patologias severas, garantindo maior durabilidade e segurança às edificações. A pesquisa também contribui para a área da engenharia civil ao fornecer um estudo de caso detalhado que pode servir como referência para futuras investigações sobre patologias em estruturas inacabadas expostas às intempéries.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. A. de. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9A4GDM>. Acesso em: 16 jan. 2025.
- ARANHA, P. M. da S. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado na região amazônica**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994. Disponível em <http://hdl.handle.net/10183/189640>. Acesso em: 16 fev. 2025
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- BERNHOEFT, L. F.; MELHADO, S. B. A importância dos sistemas de impermeabilização na durabilidade das estruturas. *In*: CONGRESO IBEROAMERICANO, 1.; JORNADA "TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO", 8., La Plata, 2009. **Anais [...]**. Buenos Aires, 2009.
- BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- BRANDÃO, A. M. da S.; PINHEIRO, L. M. Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, n. 8, p. 1-25, 1999. Disponível em: [https://repositorio.usp.br/directbitstream/80611afe-c0c1-4dcc-8dfc-db24bb49517a/prod\\_000992\\_sysno\\_1078872.pdf](https://repositorio.usp.br/directbitstream/80611afe-c0c1-4dcc-8dfc-db24bb49517a/prod_000992_sysno_1078872.pdf). Acesso em: 18 jan. 2025.
- BRITO T. F. **Análise de manifestações patológicas na construção civil pelo método Gut: estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior**. 2017. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2016.2/analise-de-manifestacoes-patologicasna-construcao-civil-pelo-metodo-gut-estudo-de-caso-em-uma-instituicao-publica-de-ensinosuperior.pdf>. Acesso em: 19 maio 2024.
- CAMARGO, R. de L.; FERREIRA, A.; PORCIÚNCULA, G. S. Controle de qualidade e análise de falhas de soldas de estruturas metálicas na indústria offshore. **Revista Espacios**, v. 38, n. 21, p. 37, 2017.
- CASTELLOTE, M.; FERNANDEZ, L.; ANDRADE, C.; ALONSO, Cruz. Chemical changes and phase analysis of OPC pastes carbonated at different CO<sub>2</sub> concentrations. **Materials and Structures**, v. 42, n. 4, p. 515-525, 2009.
- FERREIRA, J. B.; LOBÃO, V. W. N. Manifestações patológicas na construção civil. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, v. 5, n. 1, p. 71, 2018. Disponível em:

<https://periodicosgrupotiradentes.emnuvens.com.br/cadernoexatas/article/view/5853>. Acesso em: 11 jan. 2025.

FLEURY, M. T. L.; WERLANG, S. R. C. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. **Anuário de pesquisa GVPesquisa**, 2019. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/apgvpesquisa/article/download/72796/69984>. Acesso em: 06 fev. 2025.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2007.

HELENE, P. R. L. Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto. **Ambiente Construído**, v. 1, n. 2, p. 45–57, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3355>. Acesso em: 18 jan. 2025.

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

HOLANDA JÚNIOR, O. G. de. **Influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-12032003-154139/publico/Osvaldo.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2025.

HOPPE FILHO, J.; RHEINHEIMER, B.; KHOE, S. S.; ARTIGAS, L. V.; SABBAG, A. F.; MEDEIROS, M. H. F. Degradação do concreto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por ácido sulfúrico biogênico. **Revista Alconpat**, v. 4, n. 2, p. 87-99, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.21041/ra.v4i2.63>. Acesso em: 22 jan. 2025.

**IBM**. Fault tree analysis. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/fault-tree-analysis>. Acesso em: 17 fev. 2025.

KAEFER, L. F. **A evolução do concreto armado**. São Paulo, 1998. Disponível em: <https://www.wp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.

LIMA JUNIOR, I. G. de. **Aplicação das técnicas árvore de falhas e árvore de eventos na gestão de risco de acidentes em obras da construção civil**. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/items/54be05f8-8a3a-43e5-82e1-1cd77c2e7c14>. Acesso em: 04 fev. 2025.

MOLIN, D. C. C. D.; MASUERO, A. B.; ANDRADE, J. J. de O.; POSSAN, E.; MASUERO, J. R.; MENNUCCI, M. M. Contribuição à previsão da vida útil de estruturas de concreto. *In: Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade*. 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10923/12948>. Acesso em: 22 jan. 2025.

OLIVEIRA, A. M. de. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque de diferencial de fundações**. 2012. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9A3GCW>. Acesso em: 18 jan. 2025.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 2. ed. São Paulo: Gerdau Açominas, 2004.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. Gerdau Açominas, 2015. Disponível em: [https://gsn.gerdau.com/sites/gsn\\_gerdau/files/downloadable\\_files/Manual%20Princ%C3%ADpios%20da%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20de%20Estruturas%20Met%C3%A1licas%20em%20Situa%C3%A7%C3%B5es%20de%20Corros%C3%A3o%20e%20Inc%C3%AAndio.pdf](https://gsn.gerdau.com/sites/gsn_gerdau/files/downloadable_files/Manual%20Princ%C3%ADpios%20da%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20de%20Estruturas%20Met%C3%A1licas%20em%20Situa%C3%A7%C3%B5es%20de%20Corros%C3%A3o%20e%20Inc%C3%AAndio.pdf). Acesso em: 27 jan. 2025.

PAULA, M. G. de; PAULA, S. G. de. **A importância da hidratação durante o processo de cura para se evitar a carbonatação em estruturas de concreto armado**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade FacMais de Ituiutaba-MG, Ituiutaba, 2023. Disponível em: <http://65.108.49.104/handle/123456789/774>. Acesso em: 21 jan. 2025.

PAULETTI, C. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5157>. Acesso em: 20 jan. 2025.

PEDROSO, J. S.; SILVA, K. S.; SANTOS, L. P. Pesquisa descritiva e pesquisa prescritiva. **JICEX**, v. 9, n. 9, 2017. Disponível em: <https://unisantacruz.edu.br/revistas-old/index.php/JICEX/article/view/2604>. Acesso em: 08 fev. 2025.

PINA, G. L. **Patologias nas habitações populares**. 2013. Monografia (Especialização Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006577.pdf>. Acesso em: 19 maio 2024.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação**. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SILVA, A. F. P.; BARROS, H. E. B.; FERREIRA, D. S. Estudo de caso de patologias observadas em revestimento externo de fachada com manifestações em pintura de um edifício residencial. In: ABDALA, M. R. W. S. (org.). **Impactos das tecnologias na engenharia civil 4**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/550920>. Acesso em: 19 maio 2024.

SILVA, É. G. da; SPERBER, A.; SILVEIRA, F. F.; SILVA, L. F. V. da; SILVEIRA, L. de M.; MEDEIROS, C. R. de; KIRKHOFF, W. F.; SANTOS, B. S. dos; ELY, C. E. MAFRA, R. M. Fissuras, trincas e rachaduras em estruturas de concreto armado e alvenaria convencional: um estudo sobre seu mecanismo de formação e processo para correção. **Revista UNICREA-**

**Revista Técnico Científica da Universidade Corporativa do CREA/SC**, v. 1, n. 1, p. 199-217, 2023.

SILVA, S. R. C. e; FONSECA, M.; BRITO, J. de. **Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de edifícios**. 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Sonia-Raposo-2/publication/362960101\\_L\\_N\\_E\\_C\\_Q\\_I\\_C\\_2\\_0\\_0\\_6\\_1\\_METODOLOGIA\\_FMEA\\_E\\_SUA\\_APLICACAO\\_A\\_CONSTRUCAO\\_DE\\_EDIFICIOS/links/6308d10d5eed5e4bd11f7fea/L-N-E-C-Q-I-C-2-0-0-6-1-METODOLOGIA-FMEA-E-SUA-APLICACAO-A-CONSTRUCAO-DE-EDIFICIOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sonia-Raposo-2/publication/362960101_L_N_E_C_Q_I_C_2_0_0_6_1_METODOLOGIA_FMEA_E_SUA_APLICACAO_A_CONSTRUCAO_DE_EDIFICIOS/links/6308d10d5eed5e4bd11f7fea/L-N-E-C-Q-I-C-2-0-0-6-1-METODOLOGIA-FMEA-E-SUA-APLICACAO-A-CONSTRUCAO-DE-EDIFICIOS.pdf). Acesso em: 04 fev. 2025.

SILVA, S. V.; MONTEIRO, E. C. B. Aplicação das ferramentas da qualidade FMEA e FTA para detecção e controle de patologias em estruturas de concreto armado do Aeroporto Internacional do Recife. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 1, n. 1, 2016. Disponível em: <http://revistas.poli.br/~anais/index.php/rep/article/view/67>. Acesso em: 28 jan. 2025.

SOARES, S. J. Pesquisa científica: uma abordagem sobre o método qualitativo. **Revista Ciranda**, v. 3, n. 1, p. 1-13, 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/ciranda/article/download/314/348>. Acesso em: 06 fev. 2025.

SOUZA, M. F. de. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. Belo Horizonte – MG. 2008. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação, e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, abr. 2009.

TAMBARA JÚNIOR, L. U. D.; BARRAZA, M. T. **Patologia das construções**. Indaial: Uniasselvi, 2021. Disponível em: <https://www.kufunda.net/publicdocs/4-Patologia%20das%20Constru%C3%A7%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2024.

TUTIKIAN, B; PACHECO, M. **Inspecção, diagnóstico e prognóstico na construção civil**. Boletín Técnico. Mérida: Alconpat, 2013. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/bt55.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.

VASCONCELLOS, C. **Aprenda a identificar possíveis problemas nas estruturas de concreto**. Engeduca, 2023. Disponível em: <https://engeduca.com/aprenda-a-identificar-possiveis-problemas-nas-estruturas-de-concreto/>. Acesso em: 22 jan. 2025.

VIEIRA, G. C. **Manifestações patológicas nas pinturas: estudo de caso no Instituto Federal de Goiás–Campus Goiânia**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/804>. Acesso em: 20 jan. 2025.

FRAZÃO, Yuri Abas. **Carbonatação do concreto**. SPOT Cursos, 2021. Disponível em: <https://spotcursos.com.br/blogs/patologia-da-construcao/posts/carbonatacao-do-concreto>. Acesso em: 6 mar. 2025.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

|                                                                                   |                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>         |
|                                                                                   | Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978                                     |
|                                                                                   | Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB) |
|                                                                                   | CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100                           |

# Documento Digitalizado Restrito

## Trabalho de Conclusão de Curso

|                             |                                                    |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Assunto:</b>             | Trabalho de Conclusão de Curso                     |
| <b>Assinado por:</b>        | Daniel Andrade                                     |
| <b>Tipo do Documento:</b>   | Tese                                               |
| <b>Situação:</b>            | Finalizado                                         |
| <b>Nível de Acesso:</b>     | Restrito                                           |
| <b>Hipótese Legal:</b>      | Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011) |
| <b>Tipo do Conferência:</b> | Cópia Simples                                      |

Documento assinado eletronicamente por:

- Daniel Duarte de Andrade, ALUNO (201912200035) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 29/08/2025 15:33:31.

Este documento foi armazenado no SUAP em 29/08/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1590957  
Código de Autenticação: 198ca1f7f3

