



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
CENTRO DE ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ÉVELYN BÁRBARA DE MELO MAIA

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COM APLICAÇÃO DO  
MÉTODO FMECA – ESTUDO DE CASO.**

MOSSORÓ

2019

ÉVELYN BÁRBARA DE MELO MAIA

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COM APLICAÇÃO DO  
MÉTODO FMECA – ESTUDO DE CASO.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof.<sup>a</sup> Letícia Azevedo de Farias Pereira.

Co-orientador (a): Prof.<sup>a</sup> Mayara de Freitas Medeiros Araújo.

MOSSORÓ

2019

© 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.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)  
Setor de Informação e Referência (SIR)

M(217    Maia, Evelyn Bárbara de Melo.

) a            AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COM  
              APLICAÇÃO DO MÉTODO FMECA ? ESTUDO DE CASO. /  
              Evelyn Bárbara de Melo Maia. - 2019.  
              75 f. : il.

              Orientadora: Letícia Azevedo de Farias    Pereira.  
              Coorientadora: Mayara de Freitas Medeiros  
              Araújo.  
              Monografia (graduação) - Universidade Federal  
              Rural do Semi-árido, Curso de    Engenharia Civil,  
              2019.

              1. Construção civil. 2. Patologia das  
              edificações. 3. Durabilidade. 4. Grau de risco. I.  
              Pereira, Letícia Azevedo de Farias, orient. II.  
              Araújo, Mayara de Freitas Medeiros, 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.

ÉVELYN BÁRBARA DE MELO MAIA

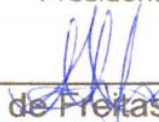
**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COM APLICAÇÃO DO  
MÉTODO FMECA – ESTUDO DE CASO.**

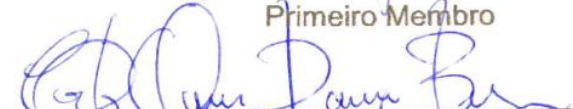
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

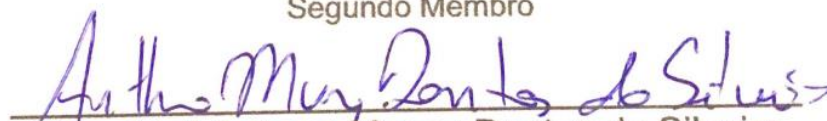
Defendida em: 03/08/2019.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof.ª. Letícia Azevedo de Farias Pereira  
Presidente

  
Prof.ª. Mayara de Freitas Medeiros Araújo  
Primeiro Membro

  
Prof. Carlos Vinícius Damaceno Bessa  
Segundo Membro

  
Eng. Civil Arthur Munay Dantas da Silveira  
Terceiro Membro

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, que em sua infinita sabedoria colocou força em meu coração para vencer essa etapa de minha vida.

Agradeço aos meus queridos pais, Cleone de Melo Moura e Elzenerau Targino Moreira Maia, pois sem eles eu não estaria aqui. Vocês são a razão dessa conquista por sempre me apoiarem, compreenderem e incentivarem meus estudos, além de todo amor e carinho dado incondicionalmente. Eu amo vocês!

Agradeço a minha irmã, Evelany de Melo Maia, por todo o amor, cumplicidade e carinho.

Ao meu namorado, João Vitor, por todo estímulo, amor e compreensão da minha ausência pelo tempo dedicado aos estudos.

Agradeço as minhas orientadoras, Leticia Azevedo e Mayara Araújo, por dedicarem tempo para me ajudar na realização desse trabalho. Manifesto aqui minha gratidão eterna por compartilharem sua sabedoria e experiência.

Agradeço aos membros da banca examinadora, Arthuro Munay, que contribuiu de forma excepcional para a finalização desse trabalho e Carlos Bessa, pela disponibilidade e contribuição com a melhoria desse trabalho. Foi imprescindível o apoio de vocês.

Agradeço aos meus amigos e colegas de graduação, Tamires Lacerda Brasil e Glênio Alves Diniz Soares Segundo, que estão comigo desse o início dessa caminhada, e Maria Gilcelannia Holanda Lima que se tornou amiga e sócia ao longo do tempo. Desejo sucesso para vocês.

Aos outros amigos, expresso aqui minha eterna gratidão por tornarem toda essa experiência de cinco anos juntos maravilhosa, com altos e baixos, porém sempre unidos.

*“Fé, duas letras que podem mudar sua vida,  
acredite.” (Peter Pan).*

Walt Disney

## RESUMO

As edificações possuem um ciclo de vida útil que deve ser garantido através da correta utilização dos materiais e qualidade da mão de obra, podendo ainda ser prolongado através da adoção de um plano de manutenção periódica. Se alguns destes itens falha, a vivência da edificação é reduzida através do desenvolvimento de manifestações patológicas que podem desencadear problemas de ordem estética e estrutural. A compreensão das diferentes manifestações é algo indispensável para uma análise correta do problema e a adoção de tratamentos adequados. Para isto, diferentes métodos de análise têm sido criados ou modificados para auxiliar nas investigações patológicas da construção civil. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo realizar uma análise das principais manifestações patológicas encontradas na Câmara Municipal de Mossoró, utilizando para tal fim uma adaptação metodológica da ferramenta administrativa intitulada como FMECA (*Failure, Mode, Effects and Criticality Analysis*). Uma vistoria e inspeção visual também foram realizadas acompanhadas de ensaios não destrutivos auxiliando e embasando o diagnóstico. A partir da aplicação do FMECA foi possível a concepção de uma ficha avaliativa identificando o grau de prioridade de risco de cada pavimento da edificação. A maioria das manifestações patológicas identificadas na Câmara Municipal dos Vereadores, são relacionadas a umidade. Como conclusão ficou claro que o método permitiu indicar qual pavimento precisa de maior atenção e que efeito levou a causa do problema sendo recomendado ações para os reparos.

**Palavras-chave:** Construção civil. Patologia nas edificações. Durabilidade. Grau de risco.

## ABSTRACT

Buildings have a life cycle that must be guaranteed through the correct use of materials and quality of workmanship, and can be extended by adopting a periodic maintenance plan. If some of these items fail, its life cycle is reduced through the development of pathological manifestations that can trigger aesthetic and structural problems. Understanding the different manifestations is indispensable for a correct analysis of the problem and the adoption of appropriate treatments. For this, different methods of analysis have been created or modified to assist in pathological investigations of construction. Thus, this paper aims to perform an analysis of the main pathological manifestations found in the City council of Mossoró, using for this purpose a methodological adaptation of the administrative tool entitled as FMECA (Failure, Mode, Effects and Criticality Analysis). A visual inspection and inspection were also performed accompanied by non-destructive tests to assist and support the diagnosis. From the application of FMECA it was possible to design an evaluation form identifying the degree of risk priority of each floor of the building. Most of the pathological manifestations identified in the City Council are related to humidity. In conclusion, it was clear that the method allowed us to indicate which pavement needs the most attention and what effect led to the cause of the problem.

**Keywords:** Construction. Pathology in buildings. Durability. Degree of risk.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Ocorrência de eflorescências.....                                                                                       | 23 |
| Figura 2- Ilustração da ocorrência de mofo.....                                                                                    | 23 |
| Figura 3- Ocorrência de corrosão nas armaduras. ....                                                                               | 24 |
| Figura 4 – Fissuras em parede. ....                                                                                                | 25 |
| Figura 5 - Presença de umidade no edifício. ....                                                                                   | 28 |
| Figura 6 - Presença de fissuras horizontais. ....                                                                                  | 29 |
| Figura 7 - Desplacamento cerâmico em fachada.....                                                                                  | 30 |
| Figura 8 - Vida vegetal em edificações. ....                                                                                       | 30 |
| Figura 9 - Ciclo do PDCA. ....                                                                                                     | 32 |
| Figura 10 - Primeira Câmara Municipal de Mossoró.....                                                                              | 34 |
| Figura 11 - Atual Câmara Municipal de Mossoró.....                                                                                 | 35 |
| Figura 12 - Umidímetro James T-M-170. ....                                                                                         | 37 |
| Figura 13 - Umidímetro sendo utilizado no modo pino com indicação na cor verde. ....                                               | 38 |
| Figura 14 - Umidímetro sendo utilizado no modo pino com indicação na cor vermelha. ....                                            | 38 |
| Figura 15 - Aparelho de ultrassom. ....                                                                                            | 39 |
| Figura 16 - Modo de transmissão semidireta, em a) pilar no pavimento 01, b) pilar no pavimento 02 e c) pilar no pavimento 03. .... | 40 |
| Figura 17 - Régua fissurômetro. ....                                                                                               | 40 |
| Figura 18 - Medição com régua fissurômetro, em a) fissura e b) trinca.....                                                         | 41 |
| Figura 19 – Problema de umidade por infiltração, em a) sala dos bombeiros e b) corredor....                                        | 41 |
| Figura 20 - Problema de umidade por ascensão capilar. ....                                                                         | 42 |
| Figura 21 - Problema de umidade com mofo/bolor.....                                                                                | 42 |
| Figura 22 - Problema de umidade com manchas amareladas, em a) sala 01 e b) sala 02. ....                                           | 42 |
| Figura 23 - Problema de umidade na pintura, com a) descascamento e b) estufamento.....                                             | 43 |
| Figura 24 - Aberturas por movimentações higroscópicas. ....                                                                        | 43 |
| Figura 25 - Aberturas por falta de amarração, em a) porta de acesso a escada e b) porta de acesso a uma sala. ....                 | 43 |
| Figura 26 - Aberturas em pilar proveniente de oxidação do aço.....                                                                 | 44 |
| Figura 27 - Exposição do aço em laje.....                                                                                          | 44 |

## **LISTA DE GRÁFICOS**

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 - Causas de manifestações patológicas - Segundo estudos europeus..... | 21 |
| Gráfico 2 - Ocorrência das anomalias no pavimento 01. ....                      | 44 |
| Gráfico 3 - Ocorrência das anomalias no pavimento 02. ....                      | 45 |
| Gráfico 4 - Ocorrência das anomalias no pavimento 03. ....                      | 45 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Aplicação do FMECA no pavimento 01. ....   | 50 |
| Quadro 2 - Aplicação do FMECA no pavimento 02. ....   | 54 |
| Quadro 3 - Aplicação do FMECA no pavimento 03. ....   | 57 |
| Quadro 4 - Priorização de risco do pavimento 01. .... | 60 |
| Quadro 5 - Priorização de risco do pavimento 02. .... | 60 |
| Quadro 6 - Priorização de risco do pavimento 03. .... | 61 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Medidas das respectivas aberturas. ....                                   | 26 |
| Tabela 2 - Exemplo de Matriz GUT.....                                                | 32 |
| Tabela 3 - Critérios avaliativos para uso da Matriz GUT. ....                        | 33 |
| Tabela 4 - Critérios avaliativos para uso do FMECA. ....                             | 36 |
| Tabela 5 - Critérios avaliativos do NPR.....                                         | 36 |
| Tabela 6 - Resultados obtidos pelo umidímetro. ....                                  | 46 |
| Tabela 7 - Relação classificativa entre a velocidade e a qualidade do concreto. .... | 47 |
| Tabela 8 - Qualidade do concreto dos pilares.....                                    | 47 |
| Tabela 9 - Classificação e espessura das aberturas.....                              | 48 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |                                                                  |
|-------|------------------------------------------------------------------|
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas                         |
| FMEA  | Análise dos Modos de Falha e Efeitos                             |
| FMECA | Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade                |
| GUT   | Gravidade, Urgência, Tendência                                   |
| IBAPE | Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia      |
| ISO   | <i>International Organization for Standardization</i>            |
| m     | Metro                                                            |
| m/s   | Metro/Segundo                                                    |
| mm    | Milímetro                                                        |
| NBR   | Norma Brasileira Regulamentadora                                 |
| NPR   | Número de prioridade de risco                                    |
| p.    | Página                                                           |
| PDCA  | <i>Plan, Do, Check, Action</i> (Planejar, Fazer, Executar, Agir) |
| PVC   | Policloreto de vinila                                            |
| Tf    | Tonelada-força                                                   |
| V     | Velocidade                                                       |

## SUMÁRIO

|              |                                                                       |           |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                               | <b>15</b> |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                     | <b>17</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>PATOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>                             | <b>17</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>VIDA ÚTIL E DURABILIDADE .....</b>                                 | <b>18</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....</b>                                 | <b>20</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>DIAGNÓSTICO E LAUDO .....</b>                                      | <b>27</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>ANÁLISE E RESTAURAÇÃO DE EDIFÍCIOS .....</b>                       | <b>28</b> |
| <b>2.6</b>   | <b>MÉTODOS DE ANÁLISE DE EDIFICAÇÕES .....</b>                        | <b>31</b> |
| <b>2.6.1</b> | <b>FERRAMENTA PDCA .....</b>                                          | <b>31</b> |
| <b>2.6.2</b> | <b>METODOLOGIA GUT .....</b>                                          | <b>32</b> |
| <b>2.6.3</b> | <b>MÉTODO FMECA .....</b>                                             | <b>33</b> |
| <b>3</b>     | <b>METODOLOGIA .....</b>                                              | <b>34</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO EXPLORADA .....</b>                   | <b>34</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMECA.....</b>                            | <b>35</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS .....</b>                                  | <b>37</b> |
| <b>3.3.1</b> | <b>ENSAIO COM UMIDÍMETRO .....</b>                                    | <b>37</b> |
| <b>3.3.2</b> | <b>ENSAIO DE ULTRASOM.....</b>                                        | <b>38</b> |
| <b>3.3.3</b> | <b>ENSAIO COM RÉGUA FISSURÔMETRO.....</b>                             | <b>40</b> |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                  | <b>41</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....</b>               | <b>41</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>ANÁLISE DOS ENSAIOS REALIZADOS .....</b>                           | <b>46</b> |
| <b>4.2.1</b> | <b>ENSAIO COM UMIDÍMETRO .....</b>                                    | <b>46</b> |
| <b>4.2.2</b> | <b>ENSAIO COM ULTRASSOM.....</b>                                      | <b>47</b> |
| <b>4.2.3</b> | <b>ENSAIO COM RÉGUA FISSURÔMETRO.....</b>                             | <b>48</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>APLICAÇÃO DO FMECA .....</b>                                       | <b>49</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                      | <b>62</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>                         | <b>63</b> |
|              | <b>REFRÊNCIAS .....</b>                                               | <b>64</b> |
|              | <b>ANEXO A – MAPA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS – PAVIMENTO 01 ..</b> | <b>69</b> |
|              | <b>ANEXO B – MAPA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS – PAVIMENTO 02...</b> | <b>70</b> |
|              | <b>ANEXO C – MAPA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS – PAVIMENTO 03 ..</b> | <b>71</b> |
|              | <b>ANEXO D – MAPA DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS – PAVIMENTO 01.....</b> | <b>72</b> |
|              | <b>ANEXO E – MAPA DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS – PAVIMENTO 02.....</b> | <b>73</b> |
|              | <b>ANEXO F – MAPA DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS – PAVIMENTO 03.....</b> | <b>74</b> |
|              | <b>ANEXO G – FICHA AVALIATIVA FMECA .....</b>                         | <b>75</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço do mercado mobiliário, aliado a evolução em softwares de cálculos estruturais e designs, têm contribuído bastante para construções de edificações mais leves e esbeltas. No entanto, a vida útil e a durabilidade são comprometidas. De acordo com John et al. (2001), a durabilidade é um item muito mais baseado em conhecimento do que em recurso, pois é possível elevar a vida útil sem aumentar o impacto ambiental durante a fase de produção.

Com base nisso, Helene (2001), afirma que nos últimos anos tem crescido a quantidade de edificações com manifestações patológicas, resultando no envelhecimento precoce das construções existentes. Sabendo disso tanto no âmbito nacional quanto no âmbito internacional, foram desenvolvidas exigências e recomendações nas principais normas de projeto e execução.

A maioria das manifestações patológicas poderiam ser evitadas se houvesse um melhor detalhamento de projeto, correta execução da construção e a escolha apropriada dos materiais, assim como uma maior preocupação com a realização das intervenções de manutenção nos elementos que compõem as edificações (KLIMPEL; SANTOS, 2010). Mas infelizmente, muitos cuidados são deixados de lado quando se projeta, constrói ou se utiliza uma edificação, prejudicando a vida útil e o desempenho de sua estrutura (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

De acordo com Thomaz (1989), em países em desenvolvimento, como o Brasil, as conjunturas socioeconômicas fizeram com que as obras atingissem velocidades de execução cada vez maiores, acarretando controles pouco rigorosos dos materiais utilizados e dos serviços executados.

Essa rapidez de execução traz uma mão de obra menos detalhista, provocando um aumento nas manifestações patológicas. Com as edificações apresentando tais problemas, os proprietários se tornam mais exigentes. Em consequência dessa alteração do comportamento do consumidor, as empresas tiveram um aumento de custos no pós-venda, e isso para a construção civil significa gastos com pós-ocupação. Para diminuir esses gastos, as empresas começaram a redigir manuais do proprietário, investir em programas de qualidade e treinamento de funcionários (OLIVEIRA, 2013).

Surge então a necessidade da utilização da gestão de qualidade na construção civil, que viabiliza a concepção de um sistema administrativo capaz de garantir o sucesso da empresa em meio à rápida evolução social e tecnológica (GOMES, 2013).

Neste sentido, torna-se fundamental buscar meios que favoreçam, desde o entendimento dos processos, até a identificação de problemas e busca de soluções para tais. Assim em 1968, surgiu a ideia de facilitar a organização das empresas com mais objetividade (MEIRA; ARAÚJO, 2016).

Dessa forma, algumas das ferramentas de qualidade mais utilizadas atualmente no meio da construção civil são: o PDCA e a Matriz Gravidade, Urgência e Tendência. Sabendo disso, escolheu-se para o presente trabalho a utilização de uma ferramenta de análise administrativa que se tem pouco conhecimento e uso nos meios empresariais, a FMECA - Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade, que tem o intuito de identificar e avaliar as falhas presentes no sistema estudado indicando seu grau de prioridade e propondo soluções para a redução destas falhas.

Nesse contexto a presente pesquisa visou realizar uma análise das patologias apresentadas na Câmara Municipal dos Vereadores, sede no poder legislativo do município de Mossoró-RN, que atualmente se encontra em uma edificação privada e sofre por falta de manutenção adequada.

Sendo assim, o trabalho tem como intuito apresentar as principais manifestações patológicas do local, identificar suas origens e propor soluções. Para tanto será realizada uma análise e diagnóstico utilizando a metodologia já mencionada anteriormente juntamente com ensaios não destrutivos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PATOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo um estudo realizado por França et al. (2011), o termo Patologia, é de origem grega que significa *páthos*, doença, e *lógos*, estudo. O vocábulo é bastante usado em diversas áreas da ciência, variando o objeto de estudo de acordo com o ramo de atividade. Levando em consideração inicialmente o ramo da medicina, a patologia envolve tanto a prática clínica quanto a ciência básica, a que se refere ao estudo das alterações funcionais e estruturais das células do corpo humano, que estão ou podem estar sujeitas a doenças que modifiquem o sistema. Portanto, no geral a patologia busca novos caminhos para evitar e tratar doenças.

Existe um equívoco ao se falar o termo patologia, tanto entre leigos como no meio técnico, que empregam o termo para definir o que na verdade é uma manifestação patológica. A patologia na verdade é uma ciência formada por um conjunto de teorias que serve para explicar o mecanismo e a causa da ocorrência de determinada manifestação patológica, que por sua vez, é uma expressão resultante de um mecanismo de degradação (FRANÇA et al., 2011).

França et al. (2011), ainda afirma que com esse panorama, os engenheiros civis se inspiraram e resolveram traçar um paralelo e utilizar o conceito na realidade da engenharia civil. O esquema de relação entre as duas situações é que o esqueleto humano seria comparado a estrutura da uma edificação onde a musculatura seria as alvenarias, a pele o revestimento, o sistema circulatório seria como as instalações elétricas, de esgoto, água, e gás, enquanto que o aparelho respiratório seria como a ventilação da construção, e assim como os médicos tratam as doenças com remédios, os engenheiros fazem a recuperação por meio de reparos.

Desse modo, a patologia nas construções civis se dedica ao estudo de anomalias ou problemas que se caracterizam como doença que podem ter sido adquiridas durante a concepção do projeto, da execução do mesmo ou ao longo de seu funcionamento, que quando não tratada chegaria a sua morte, ou seja, sua ruína (FRANÇA et al., 2011).

Desde os primórdios da evolução, a construção civil mostra-se necessária para atender as primordialidades básicas e imediatas do homem sem se preocupar com a técnica aprimorada em um primeiro momento (CORRÊA, 2009).

Com isto, a humanidade acumulou um grande acervo científico ao longo do tempo, o que permitiu o desenvolvimento da tecnologia da construção, abrangendo todas as etapas e as

respectivas técnicas construtivas. O crescimento acelerado provocou a necessidade de inovações que trouxeram, em si, a aceitação implícita de maiores riscos (SOUZA; RIPPER, 2009). Esses riscos podem ser caracterizados por manifestações patológicas ou problemas estruturais, provenientes de algum dano ou defeitos.

Helene (1992) afirma que patologia pode ser compreendida como uma seção da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes de um elemento que compõe o diagnóstico do problema exposto.

Já Lapa (2008), define que a patologia das estruturas pode ser entendida como o campo da engenharia que estuda as enfermidades sob os aspectos clínicos baseados na medicina. Visto que por serem manifestações das enfermidades, é a partir dos sintomas que se inicia todo o processo de análise das causas e origem do fenômeno patológico, fundamental para o correto diagnóstico.

Os sintomas de uma edificação, são considerados manifestações patológicas que estão presentes com maior ou menor intensidade, variando o período e/ou forma de aparição. Os avanços tecnológicos englobando a construção civil estão relacionados a sempre buscar um maior conforto e aumento da produtividade que, com o uso de processos inovadores se eleva em larga escala. As máquinas conseguem produzir muito mais e sem pausas, isso implica na qualidade da produção. E apesar de todos esses avanços tecnológicos envolvidos na construção civil, as patologias ainda estarão presentes devido a necessidade que uma edificação tem de realizar manutenções e reparos. O máximo que se pode fazer é prolongar a vida útil da construção com a periodicidade das manutenções a partir de laudos fornecidos por profissionais competentes da área (FERREIRA; LOBÃO, 2018).

## **2.2 VIDA ÚTIL E DURABILIDADE**

Segundo Aranha (1994) apud Andrade (1997), observa-se que inúmeros estudiosos estão se dedicando a analisar mais profundamente a durabilidade das edificações. O grande interesse é devido à imensa quantidade de danos que estão se apresentando em várias estruturas de concreto, principalmente considerando o efeito combinado da agressividade ambiental com problemas de ordem estrutural que interagem nas mesmas, juntamente com emprego de práticas executivas inadequadas durante diversas etapas dos processos construtivos.

A realização de uma construção durável resulta da junção de várias decisões e etapas cuja finalidade é garantir que a estrutura e os materiais que constituem a edificação atinjam um desempenho satisfatório no seu uso ao longo da vida útil (HIRT, 2014).

Segundo Castro (1994), a análise de que as estruturas de concreto, mesmo as bem projetadas e executadas, estão sujeitas à ocorrência de danificações inesperadas levou a busca de aprofundamento dos conceitos de vida útil e durabilidade.

A ISO 13823 (2008), define vida útil como o ciclo efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes cumprem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações de manutenção ou reparo. E de forma mais simplória a Associação de Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15.575:2013, traz uma definição de vida útil como uma medida de tempo da durabilidade de uma edificação ou de suas partes. Com isso, a vida útil de todos os elementos de uma edificação se caracteriza pelo tempo em que a edificação funcionará de forma eficiente, sem a presença de manifestações patológicas, lesões e colapsos.

Medeiros et al. (2011), caracteriza os tipos de vida útil em:

- **Vida útil de projeto:** é por sua vez o período que se leva até que a frente de carbonização atinja as armaduras. O mesmo, no entanto, deve ser considerado no projeto da estrutura, a favor da segurança;
- **Vida útil de serviço:** é o período mais variável pois caracteriza pelo tempo que se pode aparecer tanto manchas nas superfícies, como fissuras, destacamento do cobrimento e outros;
- **Vida útil última ou total:** é aquela que vai até a ruptura ou o colapso da estrutura, correspondendo ao período de redução significativa da seção resistente da armadura;
- **Vida útil residual:** é caracterizada pelo período de tempo em que a edificação pode desempenhar suas funções contando a partir da data de sua última vistoria e diagnóstico, esta por sua vez, dá origem a outras três possíveis vidas residuais, uma mais curta, contada pela despassivação da armadura, outra até o aparecimento de manchas, fissuras ou destacamento do concreto, e outra mais longa contada até a perda de capacidade resistiva.

Levando tudo isso em consideração, a definição de durabilidade está associada diretamente com a vida útil, sendo assim a ISO 13823 (2008) determina que durabilidade é a capacidade de uma estrutura, ou de suas partes, satisfazer com a requerida manutenção planejada, os requisitos de desempenho do projeto por um período de tempo, ou seja, a

durabilidade é a capacidade que o elemento tem de se preservar resistente sem necessitar de manutenções excessivas.

Todos os elementos de uma edificação, principalmente o concreto armado, precisam de manutenção periódica para garantir a sua vida útil. A falta de manutenção ou a falha na execução dos reparos necessários, abre precedente para a ocorrência de manifestações patológicas de relativa intensidade, que por sua vez é capaz de gerar custos elevados para a reabilitação. (SILVA; MONTEIRO, 2016).

É fundamental que as construções exerçam suas funções, pois, desta maneira, o material consegue resistir ao processo de degradação ao qual venha a ser sujeito, sem que provoque o aparecimento de falhas patológicas na estrutura e possíveis colapsos (IANTAS, 2010).

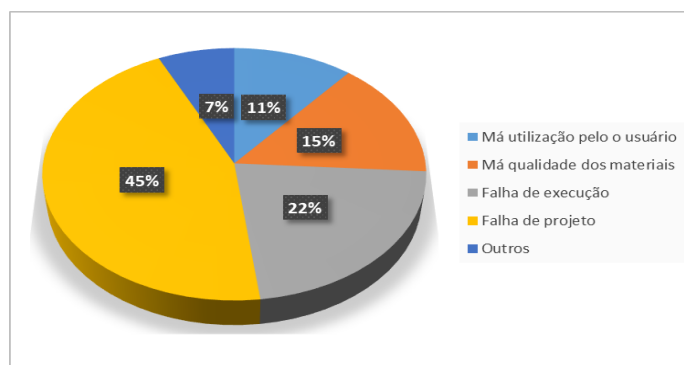
### **2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS**

O conhecimento das diferentes manifestações patológicas é algo fundamental para o diagnóstico correto e a adoção das terapias adequadas. Na maioria das vezes as causas dos problemas não são facilmente detectadas, ou então estão associadas a outras manifestações que podem induzir a um diagnóstico errado ou impreciso (GRANATO, 2002).

As principais causas de sintomas patológicos nas edificações são as deficiências de projeto, execução, má qualidade dos materiais, ou utilização inadequada dos mesmos, mau uso da estrutura e manutenção imprópria. Os problemas patológicos têm suas origens motivadas por falhas que ocorrem durante a realização de uma ou mais das etapas descritas ao processo genérico da construção civil, processo este que pode ser dividido em três etapas básicas: concepção, execução e utilização (FERREIRA; LOBÃO, 2018).

Um grande percentual das manifestações patológicas tem origens nas etapas de planejamento e projeto, como é possível visualizar no Gráfico 1. As falhas de planejamento ou de projeto são, em geral, mais graves que as falhas de qualidade dos materiais ou de má execução (HELENE, 1992).

Gráfico 1 - Causas de manifestações patológicas - Segundo estudos europeus.



**Fonte:** Adaptado pela autora (Helene, 1992).

Segundo Oliveira (2013), devido a todas essas causas de manifestações patológicas a questão da qualidade no setor de construção civil vem recebendo uma atenção crescente, ganhando cada vez mais espaço, evoluindo de uma visão corretiva, que se fundamenta na investigação do espaço, para uma visão voltada a atitudes preventivas em todas as etapas do processo construtivo, passando até a elaborar capacitações dos colaboradores da empresa e emitindo um manual de uso para o cliente.

Existem inúmeros problemas que são caracterizados como manifestações patológicas, como: fissuras, trincas, rachaduras, descolamento de rebocos e pisos, entre outros. O estudo aprofundado dos diferentes tipos de manifestações patológicas proporciona um diagnóstico mais preciso e soluções cada vez melhores, já que em muitas situações o erro da indicação do problema pode gerar gastos desnecessários em reparos sem corrigir a real falha (FERREIRA; LOBÃO, 2018).

Segundo Macedo et al. (2017), a umidade nas edificações é um dos problemas mais frequentes e difíceis de ser tratado na engenharia civil, não somente devido as dificuldades, como também aos problemas relacionados às falhas construtivas, principalmente a falta de impermeabilização. Muitas vezes esse transtorno vem associado a outros, agravando ainda mais a dificuldade do seu tratamento.

Conforme Perez (1985), os problemas de umidade nas edificações, sempre trazem um grande desconforto ao usuário do local e degradam a edificação, além de ser o defeito que apresenta geralmente soluções caras.

As manifestações patológicas provenientes de umidade se formam pelo acúmulo de água presente nas estruturas e quando não se realiza rapidamente o reparo surgem eflorescências, corrosão das armaduras, mofo, bolores, entre outros, podendo gerar problemas que afetam as partes estruturais e arquitetônicas, de tal forma que pode levar a edificação a

um colapso. A umidade, por sua vez, pode apresentar mofo e prejudicar a respiração dos usuários da edificação (VERÇOZA, 1991).

Segundo Lersch (2003), a falha ou ausência da impermeabilização resulta no excesso de umidade do edifício. O mesmo classifica a proveniência da umidade em cinco tipos distintos: de infiltração, ascensional, por condensação, de obra, e acidental.

- **Umidade de infiltração:** é aquela que passa da parte externa para a interna através de fissuras e até mesmo da capacidade de absorção do material da edificação, que geralmente quando a água da chuva se combina com o vento, ocorre o aumento da pressão da infiltração;
- **Umidade ascensional:** é caracterizada pela presença de água proveniente do solo, tanto por fenômenos sazonais de aumento de umidade quanto por presença permanente de umidade de lençóis freáticos superficiais. A sua ocorrência é notada principalmente em paredes e pisos, sendo que, Verçoza (1991) discorre que não costumam ultrapassar de 0,8m de altura. A ascensão da água em paredes ocorre pela existência do fenômeno de capilaridade, os pequenos vasos permitem a água subir até entrar em equilíbrio com a força da gravidade (FEILDEN, 1994);
- **Umidade por condensação:** esta é a consequência da união entre o ar com alta umidade e as superfícies apresentando baixas temperaturas, causando a precipitação da umidade;
- **Umidade de obra:** é basicamente a umidade presente nos materiais da construção que se exterioriza, em decorrência do equilíbrio que se estabelece entre material e o ambiente. Geralmente, as argamassas e o concreto provocam essa modificação na edificação;
- **Umidade acidental:** é causada por falhas nos sistemas de tubulações, como águas pluviais, esgoto e água potável, e que geram infiltrações.

Abordadas as tipologias de umidade serão destacadas a seguir as principais manifestações patológicas que podem ocorrer em função da presença de umidade nas edificações.

- **Eflorescências**

A eflorescência é uma manifestação que ocorre devido o processo de lixiviação do hidróxido de cálcio, onde a água apresenta altas concentrações de cloretos e sulfatos. Ao penetrar nos poros capilares do concreto, a água dissolve o hidróxido de cálcio da pasta de

cimento que pode, em seguida, reagir com o dióxido de carbono do ar realizando a formação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Este sal ao ser conduzido pela água, deposita-se na superfície da camada de revestimento (Figura 1), dando uma estética indesejável à edificação, com formação de manchas na cor branca na superfície da estrutura ou em forma de estalactites. Quando esse processo é intenso, o concreto vai se tornando cada vez mais poroso, criando maiores espessuras de carbonato de cálcio (ROCHA, 2015).

Figura 1 – Ocorrência de eflorescências.



Fonte: Autoria própria (2018).

- **Bolor, mofo e vida vegetal**

O mofo ou bolor é a concentração de fungos na superfície dos revestimentos, gerando colônias (Figura 2) que se alimentam de materiais orgânicos. Os locais em que geralmente aparecem são aqueles em que a umidade é por condensação e não por água corrente (PINTAN, 2013).

De acordo Alucci, Flauzino e Milano (1988), a proliferação do bolor ou mofo nas edificações pode ser considerada como um imenso problema devido ao ambiente quente e úmido, causando alteração na superfície dos revestimentos, exigindo geralmente uma recuperação ou até mesmo a necessidade de se refazer o revestimento, gerando gastos.

Figura 2- Ilustração da ocorrência de mofo.



Fonte: Primos – Para materiais de construção (2018).

Ripper (2009), afirma que a vida vegetal pode surgir de dois modos distintos nas edificações. O primeiro tipo é erroneamente confundido com fungos, pois é o aparecimento e o aumento de pequenas algas em fissuras ou em concretos muito porosos; isso é provocado pela umidade nas paredes, proveniente de infiltrações internas ou ineficácia na impermeabilização do local. O segundo tipo da manifestação seria o aparecimento de plantas em trincas e colapso do revestimento.

Alguns fungos atacam as madeiras, quando elas entram em contato com água e umidade elevada no ambiente, causando habitual fonte de problemas. Os fungos de podridão desenvolvem-se quando a presença do teor de água é superior a 20%. Estes fungos alimentam-se diretamente da parede celular da madeira, destruindo-a e provocando a perda de sua resistência (CRUZ, 2001).

- **Corrosão**

Entende-se corrosão como um ataque devastador de natureza química ou eletroquímica que ocorre em meio aquoso. Esta corrosão eletroquímica leva a formação de hidróxidos de ferro, podendo em alguns casos, estar associada a reações físicas ou mecânicas. A corrosão (Figura 3) ocorre quando se forma uma camada de eletrólito sobre a superfície dos fios ou barras de aço. Esta camada é proveniente da presença de umidade no concreto, salvo situações especiais, como em elevadas temperaturas e baixa umidade relativa (ROCHA, 2015).

Figura 3- Ocorrência de corrosão nas armaduras.



**Fonte:** Autoria própria (2018).

- **Fissuras, Trincas e Rachaduras**

As fissuras, trincas e rachaduras de acordo com Ferreira e Lobão (2018), são causadas pela movimentação de materiais e componentes da construção e, em geral, tendem a se acomodar e podem ainda ser consequência da ocorrência de vibrações na área, e falta de amarração. Além disso, Thomaz (1989) afirma que as reações de corrosão da armadura produzem óxido de ferro, cujo volume é consideravelmente maior ao original do metal, provocando o crescimento de seção das barras de aço. Essa expansão provoca o aparecimento de aberturas nas peças de concreto em regiões próximas à armadura.

Assis e Rabelo (2013), afirmam que as fissuras (Figura 4) podem ainda ser consideradas ativas ou passivas, sendo ativas aquelas que ainda apresentam movimentos e passivas aquelas já estabilizadas, que já não ocorrem variações de tamanho.

Figura 4 – Fissuras em parede.



Fonte: Noal (2016).

Ferreira e Lobão (2018), afirmam que o fator determinante para identificar se a abertura é uma trinca é a “separação entre as partes”, sendo assim, quando o local da fissura se encontra separado em dois, caracteriza-se como trinca. As rachaduras por sua vez apresentam características iguais com as trincas em relação à “separação entre partes”, mas são aberturas grandes, profundas e acentuadas. As aberturas podem ser vistas com aparecimento horizontal, vertical e na diagonal formando um ângulo de 45°.

Já que não se tem normas que regularizem a classificação das aberturas, alguns autores formam tabelas para ajudar nos diagnósticos referentes a essas anomalias. Oliveira (2012), realiza essa classificação que pode-se definir as aberturas de acordo o tamanho da espessura (Tabela 1) podendo ser: fissuras, trincas, rachaduras, fenda ou brecha.

Tabela 1 - Medidas das respectivas aberturas.

| ANOMALIAS | ABERTURAS (mm) |
|-----------|----------------|
| 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 pelo autor (Oliveira, 2012).

De acordo com Oliveira (2012), as fissuras podem ser causadas por cinco maneiras distintas.

- **Fissuras causadas por movimentações higroscópicas:** as alterações higroscópicas induzem as mudanças dimensionais nos materiais, o aumento da umidade leva uma expansão do material, enquanto a diminuição ocasiona a contração. Esse ciclo provoca a formação das fissuras.
- **Fissuras provocadas por movimentações térmicas:** a variação de temperatura durante o dia provoca dilatação e contração dos componentes de uma edificação.
- **Fissuras causadas por deformabilidade excessiva de estruturas de concreto armado:** com o crescimento da tecnologia do concreto armado, apresentado pela fabricação de aços com grande limite de elasticidade, cimentos de melhor qualidade e criação de métodos mais sofisticados de cálculos, as estruturas foram se tornando cada vez mais flexíveis, o que torna a análise mais cuidadosa das suas deformações e de suas respectivas consequências.
- **Fissuras causadas por atuação de sobrecargas:** quando se tem cargas adicionais provenientes de solicitações maiores do que as previstas em projeto, causando a fissuração de componentes estruturais, tais como pilares, vigas e paredes.
- **Fissuras causadas por recalque de fundação:** são formadas quando nos projetos não levam em consideração a resistência do solo, fazendo com que a edificação afunde provocando fissuração.

Já Ripper (2009), afirma que as trincas podem aparecer por cinco maneiras diferentes nas edificações.

- **Trincas por infiltração no peitoril:** defeito na impermeabilização dos peitoris de janela que permite a passagem de água da chuva e consequente desgaste da argamassa;
- **Trincas por deficiência da argamassa de assentamento:** estas são possivelmente provenientes de uma escolha errada do traço da argamassa;
- **Trincas pela proximidade de taludes:** ocorrem em edificações situadas próximas a taludes incorretamente dimensionados devido a lentos deslizamentos;
- **Colapso de materiais:** são provenientes pela falta de pintura e manutenção. A falta de pintura desprotege a fachada da água da chuva, o que provoca a perda de carbonato de cálcio, levando ao colapso do revestimento;
- **Trincas devidas a recalques diferenciais:** os recalques diferenciais provocam esforços solicitantes não projetados na estrutura, ocasionando a formação de trincas em elementos estruturais.

## 2.4 DIAGNÓSTICO E LAUDO

De acordo com Granato (2002), os procedimentos relacionados com a inspeção de uma edificação podem gerar tanto um trabalho simples quanto um complexo e investigativo, a depender da magnitude e natureza do problema.

O diagnóstico de uma manifestação patológica não pode ser realizado de maneira rápida, deve ser proveniente de uma análise que considera todo o processo do caso, visto que um sintoma pode se manifestar de maneiras diversas durante as várias fases (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

A etapa de diagnóstico emprega todas as informações adquiridas do desenvolvimento das patologias na edificação estudada. Nela identificam-se as causas, a intensidade da deterioração, a estabilidade mecânica e a segurança das fachadas (BAUER; CASTRO; ANTUNES, 2012).

Já o laudo tem a finalidade de aprofundar os estudos das manifestações patológicas presentes na edificação e em potencial no local. De acordo com a norma do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE (2014), o laudo de avaliação deve conter uma série de itens obrigatórios, como: identificação do solicitante; pressupostos, ressalvas e fatores limitantes; caracterização do contrato analisado com descrição mínima do objeto, valor e prazo; identificação do modelo matemático utilizado; memória de cálculo

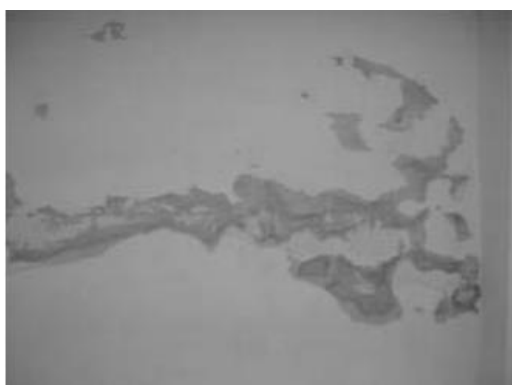
detalhada; valor do desequilíbrio econômico financeiro referenciado às datas base do contrato e da apresentação do laudo; tipologia, grau de fundamentação e grau de impacto econômico financeiro do desequilíbrio avaliado; descrições complementares necessárias ao entendimento da avaliação elaborada; local e data da elaboração do laudo; nome, formação acadêmica e atribuições profissionais do engenheiro avaliador responsável técnico pela elaboração do laudo.

O Instituto Brasileiro de Avaliações de Engenharia de São Paulo – IBAPE/SP (2002), comenta que o critério utilizado para a criação do laudo de inspeção predial se baseia na análise do risco mediante o uso e exposição ambiental. Essa inspeção se refere a análise documentada do diagnóstico das presenças ambientais que interagem positiva e negativamente, interna e externamente com a edificação, evidenciando os danos e restrições ambientais existentes e em potencial.

## 2.5 ANÁLISE E RESTAURAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Cechinel et al. (2007), apresentaram um estudo de caso sobre um edifício residencial e comercial de três pavimentos localizado no bairro Nossa Senhora do Rosário, em São José, na Grande Florianópolis – SC, construído em estrutura de concreto armado convencional. Em seu pavimento térreo foi constituído lojas comerciais e com o tempo observou-se que em uma dessas lojas havia uma grande infiltração na parede (Figura 5).

Figura 5 - Presença de umidade no edifício.



**Fonte:** Cechinel et al. (2007).

Após a realização de uma inspeção pelo proprietário, foi realizado um reparo que utilizou argamassa pré-misturada e foram executadas as devidas impermeabilizações nos locais indicados, e ainda assim o problema retornou. Dessa forma, o proprietário solicitou uma inspeção de uma equipe adequada, a qual detectou que havia a existência de uma manta

asfáltica impermeabilizando os pontos críticos e um ralo seco em policloreto de vinila (PVC) para escoamento das águas pluviais e de limpeza do piso. Detectou-se que a solução feita para a limpeza do piso estava infiltrando na parede por intermédio do ralo, causando a provável incidência patológica. Para a solução do caso foi sugerido a substituição do ralo por um mais novo e adequado, e a troca de todo revestimento argamassado da parede afetada.

Lima (2015) destacou algumas manifestações patológicas nas edificações multifamiliares, na cidade de Santa Maria – RS, no período de entrega e pós entrega. No primeiro caso, foi visualizado a presença de fissuras horizontais (Figura 6) por movimentação térmica da laje, encontradas no último pavimento do prédio de dez andares. As fissuras horizontais por movimentação térmica da laje acontecem em paredes de alvenaria que suportam lajes de concreto expostas a variações de temperatura, especialmente lajes de cobertura. Nesta situação, a solução implementada foi a aplicação de uma tinta emborrachada, com a intenção de que esta pudesse acompanhar o movimento da fissura, porém após certo período a fissura retornou.

Figura 6 - Presença de fissuras horizontais.



**Fonte:** Lima (2015).

No segundo caso apresentado, a manifestação encontrada no 2º pavimento do prédio de dez andares, foi o destacamento do revestimento cerâmico (Figura 7), que é ocasionado pela perda de aderência entre placa e substrato devido às tensões que aparecem verticalmente e se tornam maiores que a união das ligações. Neste caso, a área da superfície onde haviam as placas recebeu um nivelamento e uma nova camada de argamassa para o recebimento de novas placas.

Figura 7 - Desplacamento cerâmico em fachada.



**Fonte:** Lima (2015).

Plaisant, Almeida e Haddad (2015) elaboraram diversos estudos de caso com algumas edificações históricas, indicando seus problemas e promovendo possíveis tratamentos. Um desses casos é a Igreja São Francisco de Paula.

A edificação, é localizada no centro histórico do Rio de Janeiro – RJ, que teve sua construção iniciada em 1759, por iniciativa de irmãos da Ordem Terceira dos Mínimos de São Francisco de Paula e concluída em 1801. Seguindo o estilo neoclássico, a Igreja passou por diversas intervenções e restaurações, e apesar disso é evidente o crescimento vegetal na parte superior da Igreja e fissuras da fachada (Figura 8).

Figura 8 - Vida vegetal em edificações.



**Fonte:** Izi Travel (2017).

No estudo feito por Plaisant, Almeida e Haddad (2015), afirmou-se que o Rio de Janeiro recebeu várias edificações naquela época que marcaram de forma histórica o nosso país, porém a argamassa utilizada possuía muita cal em sua composição. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) que foi consultada pelos autores, a cal é um componente corretivo do solo, neutralizando o pH ácido e enriquecendo o crescimento das plantas. Com isso a argamassa contendo esse elemento em sua composição cria um ambiente favorável para o desenvolvimento de plantas. Outro fator que auxilia esse crescimento vegetal

é o clima do Rio de Janeiro. Por se encontrar em um local tropical úmido, as chuvas são constantes, com isso existe uma umidade ininterrupta, que se concentra principalmente em frestas e juntas de dilatação, onde não há luminosidade solar. O crescimento vegetal também ocorre devido a aves que derrubam sementes nas fissuras, que com ambiente favorável acabam germinando e crescendo nas edificações. Diversas soluções e tratamentos podem ser sugeridos para prevenir e solucionar o problema, como: retirada manual, herbicidas químicos, reapeenchimento de juntas e soluções caseira como a aplicação de água fervente em plantas. Os monumentos históricos devem ser conservados, pois possuem grandes significados e importâncias artísticas, culturais, religiosas, documentais e estéticas.

## **2.6 MÉTODOS DE ANÁLISE DE EDIFICAÇÕES**

Buscando uma mudança de qualidade, o setor da construção civil tem procurado adaptar conceitos, métodos e técnicas criados para cenários de produção industrial que, em geral, são implementados através de procedimentos administrativos, como também de sistemas de planejamento e controle da produção (MOREIRA; BERNARDES, 2003).

Conforme Meira e Araújo (2016), falar em qualidade necessariamente é se retomar a princípios como foco no cliente, abordagem sistêmica, melhoria contínua, entre outros. A busca para atingir a esses princípios é um tarefa muito difícil. Sendo assim é essencial buscar meios que ajudem, desde a compreensão dos processos, até a identificação de problemas e a procura de soluções para tais.

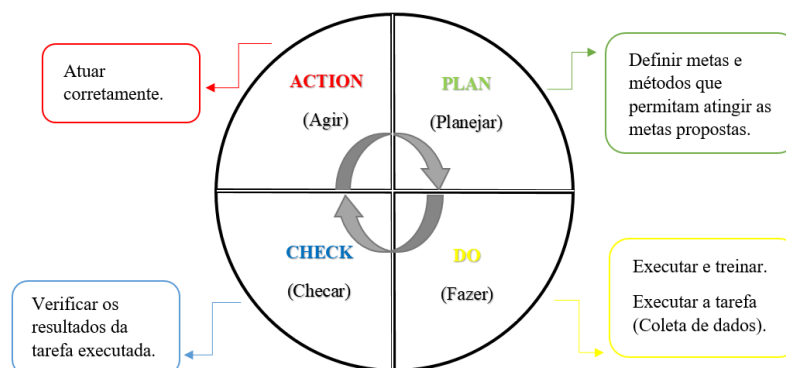
Em 1968, a fim de melhorar e facilitar a organização de ideias, fatos, e promover maior objetividade em processos de obtenção de dados e análise, um químico chamado, Kaoru Ishikawa propôs um conjunto de ferramentas, de natureza gráfica e estatística, denominando de 7 ferramentas do controle da qualidade, que são: diagrama pareto, diagrama de causa e efeito, histograma, folhas de verificação, gráficos de dispersão, fluxograma e cartas de controle. A partir daí outras ferramentas e técnicas de qualidade foram criadas (OLIVEIRA, 1995).

### **2.6.1 FERRAMENTA PDCA**

De acordo com Sapucaia (2011), uma das ferramentas mais atualizadas que está presente em todas as áreas é o PDCA, pois é encontrada tanto no meio particular, quanto no profissional. E segundo Tubino (2007) o ciclo PDCA, ilustrado na Figura 9, é composto de

quatro etapas básicas sequenciais, formando um ciclo fechado, que são: planejar (Plan), executar (Do), verificar (Check) e agir corretivamente (Action).

Figura 9 - Ciclo do PDCA.



Fonte: Adaptado pela autora (Werkema, 1995).

A ferramenta trata-se de um método que tem como aplicabilidade a análise e o controle dos processos graves, sendo um orientador para a melhoria contínua dos processos organizacionais (RODRIGUES, 2010).

## 2.6.2 METODOLOGIA GUT

Um outro método muito utilizado em diversas situações e que auxilia a elaboração de estratégias com maior segurança e eficácia, é segundo Fáveri e Silva (2016), a Matriz de Gravidade, Urgência e Tendência - GUT (Tabela 2), que foi desenvolvido por Kepner e Tregoe na década de 1980 a partir da necessidade de resolução de problemas complexos nas indústrias americanas e japonesas.

Tabela 2 - Exemplo de Matriz GUT.

| VARIÁVEL  | CONCEITO                                                                    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Gravidade | Considera a intensidade dos problemas.                                      |
| Urgência  | Considera o tempo do colapso dos danos.                                     |
| Tendência | Considera a evolução que o problema terá na ausência de uma ação corretiva. |

Fonte: Adaptado pela autora (Meireles, 2001).

O primeiro passo para utilizar essa metodologia é listar todos os problemas relacionados às atividades dos departamentos a serem analisadas, com isso, é possível atribuir notas de 1 a 5

(Tabela 3), para cada problema dentro dos três aspectos principais que serão analisados: gravidade, urgência e tendência (PERIARD, 2011).

Tabela 3 - Critérios avaliativos para uso da Matriz GUT.

| PONTOS | GRAVIDADE (G)  | URGÊNCIA (U)              | TENDÊNCIA (T)             |
|--------|----------------|---------------------------|---------------------------|
| 5      | Extremamente.  | Necessário ação imediata. | O agravamento é imediato. |
| 4      | Muito grave.   | Com alguma urgência.      | Irá piorar a curto prazo. |
| 3      | Grave.         | O mais breve possível.    | Irá piorar a médio prazo. |
| 2      | Pouco grave.   | Pode aguardar um pouco.   | Irá piorar a longo prazo. |
| 1      | Sem gravidade. | Não tem pressa.           | Não irá piorar.           |

Fonte: Adaptado pela autora (Oliveira, 1995).

### 2.6.3 MÉTODO FMECA

O método *A Failure Modes and Effects Analysis* ou Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA), de acordo com Silva, Fonseca e Brito (2015), foi vastamente utilizado na década de sessenta pelas indústrias e agências de pesquisas aeroespaciais, sendo que a referência histórica mais considerável foi na década de setenta, quando a Ford Motor Company iniciou o seu uso generalizado.

Esta metodologia refere-se a análise de risco indutivo, que permite avaliar, a partir de um determinado modo de falha, as respectivas causas e consequências, assim como os meios de detecção e prevenção dos seus efeitos. A alteração do nome do método para Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade (FMECA), indica que, além da análise do modo de falha, é realizada uma análise da criticidade do mesmo. O conjunto de normas ISO 9000 do ano de 2000, referente à implementação de sistemas de gestão da qualidade em empresas, recomenda que trabalhem de uma forma preventiva, tentando evitar falhas de processo e sempre melhorar. No âmbito da lógica da melhoria contínua, o método FMEA aparece como um dos instrumentos de apoio a ser utilizado pelas empresas. O método se encontra até os dias atuais difundido em diversas áreas de aplicação, podendo ser usado inclusive em diferentes fases da construção e em diversos níveis das empresas (COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA DAS GRANDES BARRAGENS, 2005).

Segundo Zanoni e Buson (2015), o procedimento do FMECA na construção civil considera que o modo de falha é a forma como os defeitos se apresentam e são reconhecidos como manifestações patológicas; já os efeitos são considerados como danos e consequências. Com isso, é criada a matriz de criticidade, que age como uma ferramenta visual gerada a

partir do número de prioridade de risco, baseado na multiplicação dos índices de severidade, ocorrência e detecção (ZANONI; BUSON, 2015).

A escolha do uso desse método FMECA para o presente trabalho, foi mediante o baixo número de estudos encontrados na área da construção civil fazendo uso dele, sendo assim sentiu-se a necessidade de explorar a ferramenta a fim de aprofundar os resultados com os maiores detalhes que o método oferece.

### 3 METODOLOGIA

Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica, através de artigos, sites, revistas, livros e monografias, a fim de entender os conceitos e as problemáticas que envolvem as manifestações patológicas presentes nas estruturas em geral.

Foi realizada em seguida uma visita *in loco*, onde foram observadas e registradas em forma de fotos as anomalias presentes para posterior aplicação do método avaliativo. A pesquisa é de cunho qualitativo e quantitativo, pois tem como intuito melhor identificar e exemplificar as manifestações patológicas, através da elaboração de um levantamento e mapeamento das manifestações encontradas nos pavimento 01, 02 e 03, que podem ser vistos respectivamente nos Anexos A, B e C; além de também a elaboração de uma ficha avaliativa para a aplicação o método FMECA que pode ser visualizada no Anexo G.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO EXPLORADA

O presente trabalho foi realizado no município de Mossoró, localizado na região Nordeste do Brasil, no Estado do Rio Grande do Norte, que em 24 de janeiro de 1853 recebeu a sua primeira Câmara Municipal (Figura 10). Neste local são legislados diversos assuntos de competência do referido município, como a criação de leis e normas, além de assessorar e julgar infrações (MAIA, 2018).

Figura 10 - Primeira Câmara Municipal de Mossoró.



Fonte: Maia (2018).

Atualmente a Câmara Municipal dos Vereadores (Figura 11) se localiza em uma edificação privada onde antigamente existia um hotel da cidade. O local é construído por estrutura de alvenaria e concreto armado convencional, apesar de passar por pequenas reformas para se adaptar sua estrutura permaneceu a mesma, sem aletar a concepção da edificação, compondo um pavimento térreo e três pavimentos superiores. O ambiente recebe diariamente tanto servidores como o público da cidade que procura participar das tomadas de decisões, mas infelizmente não recebe manutenção adequada, o que despertou o maior interesse em realizar o estudo no local.

Figura 11 - Atual Câmara Municipal de Mossoró.



Fonte: Maia (2018).

### 3.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMECA

A ficha elaborada baseia-se na Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA), que foi desenvolvida para identificar os possíveis modos de falha, avaliar os riscos, detectar e aplicar medidas que minimizem as consequências. Com a aplicação do método foi possível realizar a análise de risco através do sistema *Risk Priority Numbers* ou Número de Prioridade de Risco (NPR) que consiste em auxiliar o FMEA estabelecendo prioridades na ordem de execução de melhorias baseado na análise quantitativa de três variáveis: a severidade do problema, probabilidade de ocorrência e facilidade de detectá-lo. Com isso foi multiplicado os três índices para construir a ferramenta chamada de FMECA que indica o grau de risco da manifestação patológica.

Desse modo, para avaliar o dano devem ser considerados os possíveis impactos e conforme sua gravidade define-se o índice de severidade; de com acordo sua intensidade é definido o índice de ocorrência, e mediante a maior probabilidade de visualizar os problemas se estabelece o índice de detecção. Os índices variam de 1 a 10 (Tabela 4) de acordo com seus critérios.

Tabela 4 - Critérios avaliativos para uso do FMECA.

| COMPONENTE<br>DO NPR  | CLASSIFICAÇÃO       | PESO   |
|-----------------------|---------------------|--------|
| <b>Severidade (S)</b> | Apenas perceptível  | 1      |
|                       | Pouca importância   | 2 a 3  |
|                       | Moderadamente grave | 4 a 6  |
|                       | Grave               | 7 a 8  |
|                       | Extremamente grave  | 9 a 10 |
| <b>Ocorrência (O)</b> | Improvável          | 1      |
|                       | Muito pequena       | 2 a 3  |
|                       | Pequena             | 4 a 6  |
|                       | Média               | 7 a 8  |
|                       | Alta                | 9 a 10 |
| <b>Deteção (D)</b>    | Alta                | 1      |
|                       | Moderadamente grave | 2 a 5  |
|                       | Pequena             | 6 a 8  |
|                       | Muito pequena       | 9      |
|                       | Improvável          | 10     |

**Fonte:** Adaptado pela autora (Instituto de Qualidade Automotiva, 2015).

A Criticidade foi obtida pela equação:  $NPR = Gravidade \times Ocorrência \times Deteção$ . Cada exemplar da amostra recebeu uma nota final que foi classificada de acordo com os critérios que podem ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Critérios avaliativos do NPR.

| ÍNDICE DE<br>RISCO (NPR) | CLASSIFICAÇÃO | PESO       |
|--------------------------|---------------|------------|
|                          | Baixo         | 1 a 50     |
|                          | Médio         | 50 a 100   |
|                          | Alto          | 100 a 200  |
|                          | Muito alto    | 200 a 1000 |

**Fonte:** Adaptado pela autora (Instituto de Qualidade Automotiva, 2015).

### 3.3 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Após a análise das anomalias observou-se a necessidade de execução de ensaios não destrutivos para confirmar a criticidade dos problemas visualizados. Dessa forma, foram realizados três ensaios distintos utilizando os seguintes aparelhos: umidímetro James T-M-170, ultrassom e régua fissurômetro.

#### 3.3.1 ENSAIO COM UMIDÍMETRO

O ensaio umidímetro foi realizado mediante o que se explicava no manual, em virtude de não existir normatização. Sendo assim utilizou-se o modelo James T-M-170 (Figura 12), que mede a porcentagem de umidade, utilizando uma elevada tecnologia eletrônica, o qual possui dois modos de funcionamento, o modo pino e o modo de busca. Conforme é descrito no manual de instruções, no modo pino, os dois pinos são empurrados contra o material e um campo de alta frequência é criado entre eles, capaz de registrar a umidade do local. Já no modo de busca, a unidade usa um sensor capacitivo de alta frequência. O aparelho permite ao usuário a leitura direta da porcentagem de umidade do concreto, alvenaria, madeira dura, madeira macia, gesso e tijolo. O desenvolvedor do material descobriu que o método do pino é mais eficaz em materiais de baixa densidade e no modo de busca é mais eficaz para materiais de maior densidade.

Figura 12 - Umidímetro James T-M-170.

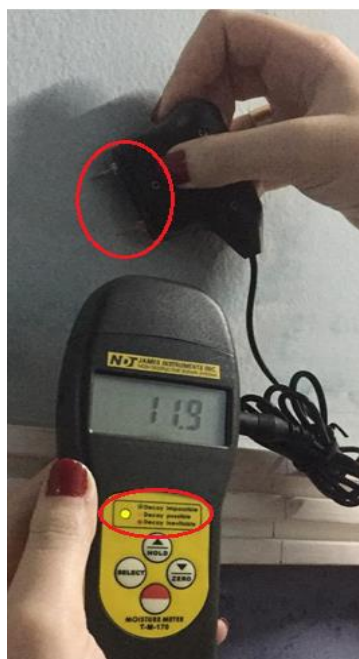


Fonte: Autoria própria (2019).

No presente trabalho, utilizou-se o modo pino do aparelho (Figura 13 e 14), empurrando-os contra as paredes de alvenaria que apresentavam maiores regiões com

manchas de umidade no intuito de que os pinos capturassem de maneira mais precisa a porcentagem de umidade exposta na região. O aparelho indica três cores mediante o valor expresso, verde para um percentual baixo de umidade, amarelo para moderado e vermelho para elevado. As regiões onde foram realizados os ensaios podem ser vistas na marcação da planta baixa (ANEXO D, E e F).

Figura 13 - Umidímetro sendo utilizado no modo pino com indicação na cor verde.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 14 - Umidímetro sendo utilizado no modo pino com indicação na cor vermelha.



Fonte: Autoria própria (2019).

### 3.3.2 ENSAIO DE ULTRASOM

O ensaio de ultrassom (Figura 15), foi realizado com base na ABNT NBR 8802:2019 – Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica,

que se fundamenta na velocidade de um pulso de ondas longitudinais através do concreto de acordo com suas propriedades elásticas e sua densidade, conseguindo mostrar conforme sua velocidade a resistência e homogeneidade do objeto estrutural. O ensaio pode ser realizado de três modos de transmissão distintos: direta, indireta e semidireta.

O aparelho é composto por um gerador e um transmissor para a produção e introdução de um pulso de onda em materiais de concreto e de um receptor para detectar a chegada do pulso, realizando a medida da velocidade da onda que passa inteiramente pela seção do concreto.

Figura 15 - Aparelho de ultrassom.



Fonte: Autoria própria (2019).

Durante o ensaio no modo de transmissão direta houveram imprecisões na leitura devido ao posicionamento das armaduras perpendiculares aos transdutores, pois, como afirma Bauer (1994) parte da onda ultrassônica transita pelo concreto e parte passa pelas armaduras. Com alguns estudos o autor identificou que em casos que o concreto estava impecável havia uma redução de 10% da velocidade ultrassônica devido a presença da armadura, afirmando que o ensaio não se torna eficaz.

Posteriormente, foi observado que não seria possível fazer a leitura do ensaio no modo de transmissão indireta, pois a disposição dos elementos estruturais não proporcionava fazer as quatro diferentes leituras propostas pela NBR 8802:2019.

Sendo assim, o único método que se tornou viável para a realização do ensaio foi o de transmissão semidireta que consiste em posicionar os transdutores na quina das faces opostas do elemento. O ensaio foi realizado somente em três pilares (Figura 16), que podem ser vistos na marcação da planta baixa (ANEXO D, E e F). A escolha se deu por um estar aparentemente normal, no pavimento 01, outro por apresentar manchas de umidade, no pavimento 02, e o último por apresentar uma abertura, no pavimento 03, com isso seria

possível a comparação dos valores obtidos entre eles. Como os pilares apresentavam uma superfície plana e o aparelho já estava calibrado, foi aplicada uma camada de vaselina sólida nos transdutores e se iniciou o ensaio.

Figura 16 - Modo de transmissão semidireta, em a) pilar no pavimento 01, b) pilar no pavimento 02 e c) pilar no pavimento 03.



Fonte: Autoria própria (2019).

### 3.3.3 ENSAIO COM RÉGUA FISSURÔMETRO

A régua fissurômetro (Figura 17), foi um instrumento utilizado para medição das aberturas presentes nas paredes, com o intuito de classificar e identificar, as fissuras, trincas e rachaduras, mediante a espessura que poderia variar de 0,05 mm até 1,5 mm.

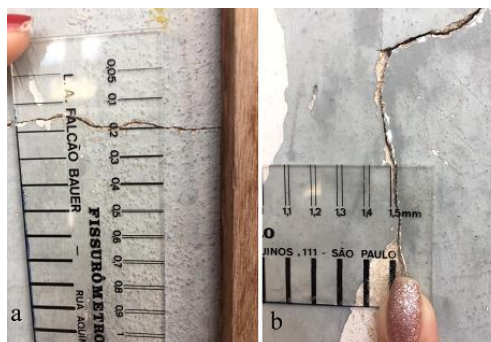
Figura 17 - Régua fissurômetro.



Fonte: Autoria própria (2019).

Para a análise das fissuras, trincas e rachaduras do local de estudo, a régua fissurômetro foi colocada sobre as aberturas a fim de que se pudesse determinar a espessura exata, em mm, da anomalia (Figura 18). As aberturas que receberam o ensaio foram marcadas no mapa (ANEXO D, E e F).

Figura 18 - Medição com régua fissurômetro, em a) fissura e b) trinca.



Fonte: Autoria própria (2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Durante a visita na Câmara Municipal do Vereadores, observou-se manifestações patológicas nos três pavimentos superiores (ANEXO A, B e C), provenientes de umidade por infiltração e ascensão capilar, representadas pelas Figuras 19 e 20, respectivamente. Em estágios mais avançados observou-se ainda a presença de umidade juntamente com bolor, manchas amareladas, estufamento e descascamento da pintura, representadas respectivamente pelas Figuras 21, 22 e 23.

Figura 19 – Problema de umidade por infiltração, em a) sala dos bombeiros e b) corredor.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 20 - Problema de umidade por ascensão capilar.



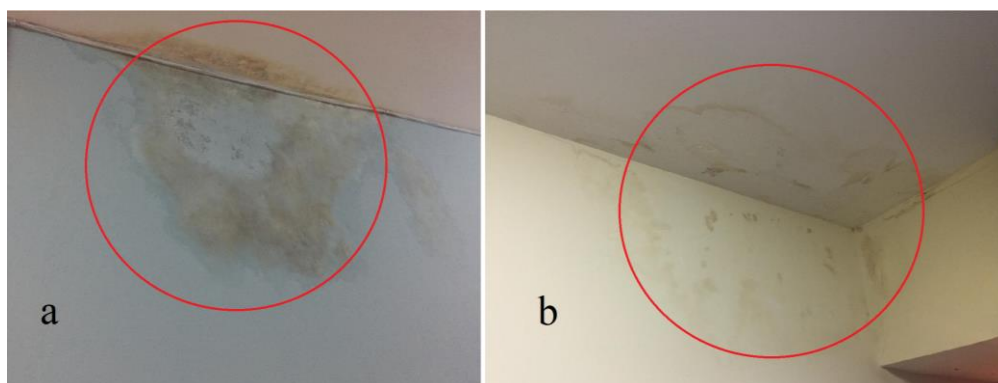
**Fonte:** Autoria própria (2019).

Figura 21 - Problema de umidade com mofo/bolor.



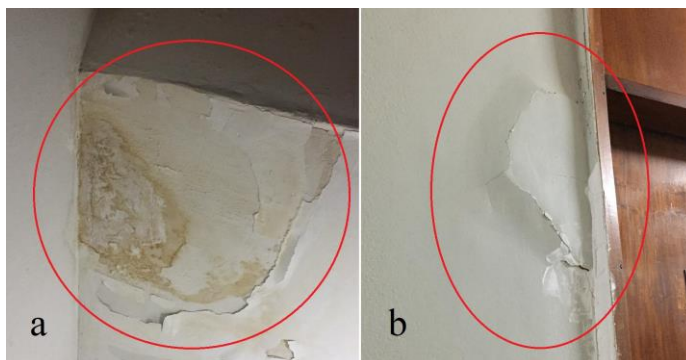
**Fonte:** Autoria própria (2019).

Figura 22 - Problema de umidade com manchas amareladas, em a) sala 01 e b) sala 02.



**Fonte:** Autoria própria (2019).

Figura 23 - Problema de umidade na pintura, com a) descascamento e b) estufamento.



Fonte: Autoria própria (2019).

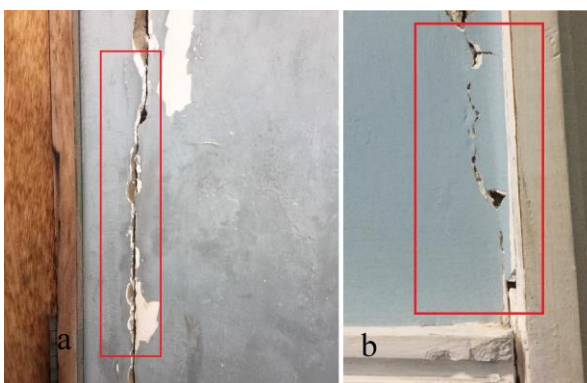
No primeiro, segundo e terceiro pavimento também foram encontradas manifestações patológicas provenientes dos movimentos dos materiais e componentes da construção, formando aberturas: por movimentações higroscópicas, falta de amarração e possível oxidação do aço, as mesmas estão representadas pelas Figuras 24, 25, 26 e 27.

Figura 24 - Aberturas por movimentações higroscópicas.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 25 - Aberturas por falta de amarração, em a) porta de acesso a escada e b) porta de acesso a uma sala.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 26 - Aberturas em pilar proveniente de oxidação do aço.



Fonte: Autoria própria (2019).

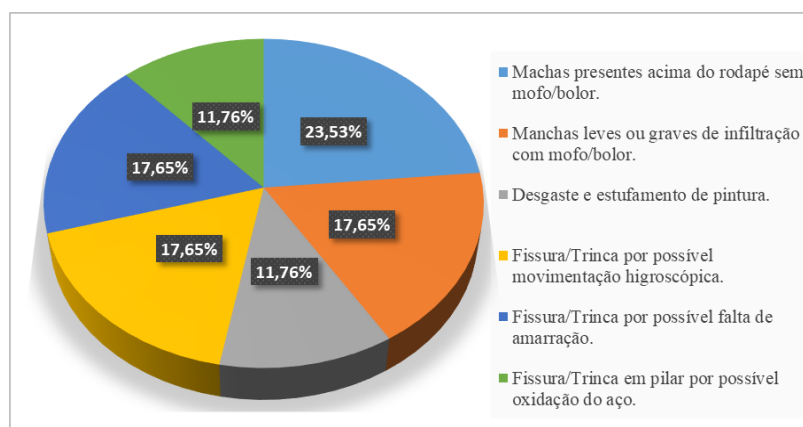
Figura 27 - Exposição do aço em laje.



Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com as observações feitas a partir do mapeamento do local, bem como os ensaios realizados, foram elaborados os Gráficos 2, 3 e 4 com o intuito de demonstrar o percentual de ocorrência das manifestações patológicas nos três pavimentos analisados.

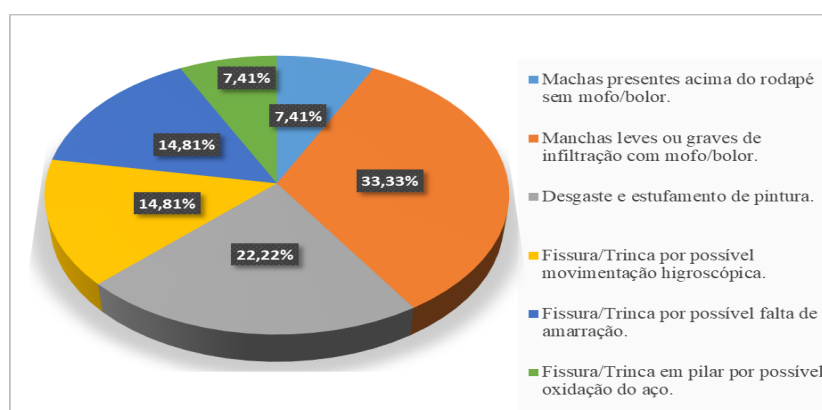
Gráfico 2 - Ocorrência das anomalias no pavimento 01.



Fonte: Autoria própria (2019).

No pavimento 01 obteve-se o maior índice de ocorrência de manchas presentes acima do rodapé, o que representa 23,53% do total de manifestações patológicas encontradas neste pavimento. Nos locais analisados percebeu-se a ausência de impermeabilização nas paredes e lajes e constatou-se que a lavagem periódica realizada provoca o acúmulo de água em algumas regiões que acabam subindo por capilaridade. Além destas observações ainda podemos citar a proximidade das regiões investigadas com os banheiros aumentando consideravelmente a probabilidade de ocorrência de infiltração oriunda de problemas nessa área.

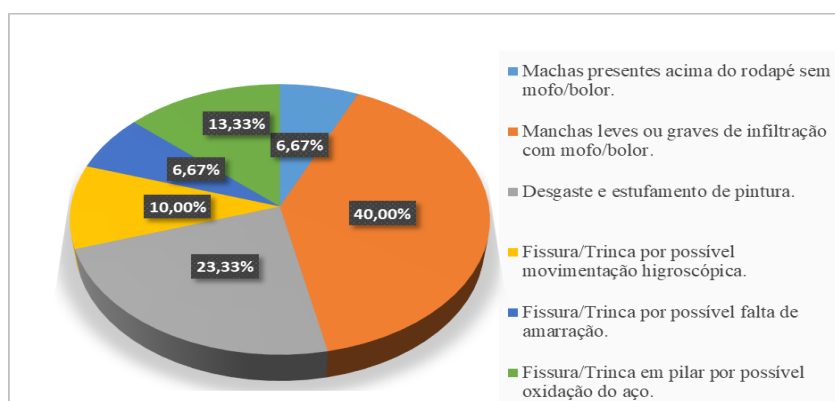
Gráfico 3 - Ocorrência das anomalias no pavimento 02.



Fonte: Autoria própria (2019).

No gráfico acima, referente ao pavimento 02 percebe-se que algumas manifestações patológicas aparecem com maior incidência em relação ao pavimento anterior. A grande maioria das incidências patológicas é dada por regiões com manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor que perfaz 33,33% do total. Possivelmente tem origem através de infiltrações geradas a partir de tubulações dos aparelhos de ar-condicionado ou através de tubulações hidrossanitárias danificadas.

Gráfico 4 - Ocorrência das anomalias no pavimento 03.



Fonte: Autoria própria (2019).

No último pavimento, como pode ser visto no gráfico 4 a incidência das manifestações patológicas com relação a manchas leve ou graves de infiltração, perfaz um total de 40,00% e 23,33% com relação ao desgaste de pintura. Pode-se comentar ainda que neste pavimento a fissuras/trincas em pilares por possível oxidação do aço aparece com uma ocorrência mais elevada que os pavimentos anteriores, constando 13,33% do total. Provavelmente a origem se dá pela umidade presente no pavimento proveniente da alta incidência de infiltração que acarreta o desgaste das paredes provocando a oxidação das armaduras próximas, que por sua vez aumentam seu volume e ocasionam as aberturas nos pilares.

## 4.2 ANÁLISE DOS ENSAIOS REALIZADOS

### 4.2.1 ENSAIO COM UMIDÍMETRO

Com o ensaio do umidímetro obteve-se o percentual de umidade presente nas regiões das paredes que apresentavam manchas, estufamento, descascamento e mofo/bolor. Durante o experimento foi possível notar uma elevada variação da umidade nos locais tanto pelo valor exposto no display, quanto pela variação da cor indicada pelo aparelho, já que alguns locais apresentavam mais manifestações patológicas do que outros. Os ensaios foram realizados nos pontos indicados nos Anexos D, E e F e os resultados podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados obtidos pelo umidímetro.

| PAVIMENTO | RESULTADO (%) | COR      | INDICAÇÃO        |
|-----------|---------------|----------|------------------|
| 1º        | 5,60          | Verde    | Baixa umidade    |
| 2º        | 6,50          | Verde    | Baixa umidade    |
| 2º        | 7,10          | Verde    | Baixa umidade    |
| 2º        | 8,30          | Verde    | Baixa umidade    |
| 2º        | 10,50         | Verde    | Baixa umidade    |
| 3º        | 10,90         | Verde    | Baixa umidade    |
| 3º        | 11,40         | Verde    | Baixa umidade    |
| 2º        | 20,30         | Amarelo  | Moderada umidade |
| 2º        | 25,80         | Vermelho | Elevada umidade  |
| 3º        | 84,00         | Vermelho | Elevada umidade  |

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir desses resultados é possível dizer que a região do terceiro pavimento se encontra com umidade crítica e necessita de reparo imediato, pois provavelmente é em virtude desse andar que os outros estão com problemas. Pode-se comentar também que caso não seja realizado os devidos reparos tem grande possibilidade as regiões com baixa umidade tendam a piorar e chegar também em situação crítica.

#### 4.2.2 ENSAIO COM ULTRASSOM

Ao ser realizado o ensaio de ultrassom obteve-se a velocidade de propagação da onda em cada pilar conforme o modo de medição utilizado. Os valores foram comparados pela Tabela 7, a qual exibe a relação entre a propagação da onda e a qualidade do concreto.

Tabela 7 - Relação classificativa entre a velocidade e a qualidade do concreto.

| <b>VELOCIDADE DA ONDA<br/>ULTRASSÔNICA (m/s)</b> | <b>QUALIDADE DO<br/>CONCRETO</b> |
|--------------------------------------------------|----------------------------------|
| $V > 4500$                                       | Excelente                        |
| $3500 < V < 4500$                                | Ótimo                            |
| $3000 < V < 3500$                                | Bom                              |
| $2000 < V < 3000$                                | Regular                          |
| $V < 2000$                                       | Ruim                             |

**Fonte:** Whitehurst (1966) e Rincon et al (1998) apud Medeiros (2007).

Os resultados foram obtidos através do modo de transmissão semidireta do aparelho que são exibidos na Tabela 8. Nela é possível ver os resultados do ensaio após serem comparados com os valores com a Tabela 7, exibindo a qualidade do concreto.

Tabela 8 - Qualidade do concreto dos pilares.

| <b>PAVIMENTO</b> | <b>PILAR</b> | <b>MODO DE<br/>MEDIÇÃO</b> | <b>VELOCIDADE<br/>(m/s)</b> | <b>QUALIDADE DO<br/>CONCRETO</b> |
|------------------|--------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1º               | 01           | Semidireta                 | 7358                        | Excelente                        |
| 2º               | 02           | Semidireta                 | 7434                        | Excelente                        |
| 3º               | 03           | Semidireta                 | 3558                        | Ótimo                            |

**Fonte:** Autoria própria (2019).

A partir da tabela acima, é possível dizer que apesar dos anos e da presença de manifestações patológicas os pilares apresentaram uma qualidade excelente e ótima do concreto conforme Whitehurst (1966) e Rincon et al (1998) apud Medeiros (2007).

Pode-se comentar também que apesar do primeiro pilar ser o que apresenta ótima aparência e o segundo ser aquele com manchas de umidade próximas, os resultados apresentaram valores parecidos, o que indica algo bom, pois a umidade na região não afetou o segundo pilar.

Ainda pode-se comentar que devido a presença de uma abertura no pilar três, proveniente da umidade próxima que pode ter causado uma possível oxidação do aço da laje acima, a qualidade do concreto tende a cair de classificação com o passar do tempo para o estado de “Bom”, pois o valor já é muito próximo do limite do mínimo de “Ótimo” e máximo de “Bom”.

#### 4.2.3 ENSAIO COM RÉGUA FISSURÔMETRO

O ensaio com a régua fissurômetro obteve resultados variantes e para definir o tipo de abertura encontrada comparou-se com a Tabela 1. Sendo assim na Tabela 9 estão expostas as espessuras das aberturas encontradas e as classificações definidas. É possível ver o local que elas se encontram nos Anexos D, E e F.

Tabela 9 - Classificação e espessura das aberturas.

| PAVIMENTO | ESPESSURA (mm) | CLASSIFICAÇÃO |
|-----------|----------------|---------------|
| 1º        | 1,5 mm         | Trinca        |
| 2º        | 1,5 mm         | Trinca        |
| 2º        | 1,5 mm         | Trinca        |
| 2º        | 1,4 mm         | Trinca        |
| 3º        | 1,5 mm         | Trinca        |
| 2º        | 0,4 mm         | Fissura       |
| 3º        | 1,5 mm         | Trinca        |
| 3º        | 0,7 mm         | Trinca        |

Fonte: Autoria própria (2019).

Através das medições realizadas percebe-se que a incidência de fissuras é bem reduzida frente a incidência de trincas nas regiões analisadas. Durante o ensaio, visualizou-se

a presença de trincas em pilares e pode-se afirmar ainda que pela análise visual em algumas regiões as trincas já se encaminham para se tornarem rachaduras.

### **4.3 APLICAÇÃO DO FMECA**

Com base na análise visual e nos ensaios realizados aplicou-se o método de Análise de Modos de Falha e Efeitos, calculando o Número de Prioridade de Risco e indicando ações recomendadas para realizar os reparos das falhas presentes.

A ficha avaliativa do FMECA foi aplicada nos três pavimentos acima do térreo, que foram os pavimentos que apresentaram as maiores concentrações de manifestações patológicas na inspeção visual. Para a avaliação foram usados os critérios expostos na metodologia, que quantificam a classificação dos índices de severidade, ocorrência e detecção, e quando multiplicados se tornam o número de prioridade de risco. Os resultados podem ser visualizados nos Quadros 01, 02 e 03.

Quadro 1 - Aplicação do FMECA no pavimento 01.

| <b>FICHA AVALIATIVA – MÉTODO FMECA</b>    |                                |                                                  |                   |                                 |                   |                                                                                                                                                            |                |            |                                                                                   |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ANÁLISE DE UMIDADE DO PAVIMENTO 01</b> |                                |                                                  |                   |                                 |                   |                                                                                                                                                            |                |            |                                                                                   |
| <b>Elemento</b>                           | <b>Modo de falha potencial</b> | <b>Efeito potencial da falha</b>                 | <b>Severidade</b> | <b>Causa potencial da falha</b> | <b>Ocorrência</b> | <b>Medidas de detecção</b>                                                                                                                                 | <b>Deteção</b> | <b>NPR</b> | <b>Ações Recomendadas</b>                                                         |
| Parede de alvenaria comum                 | Umidade                        | Manchas presentes acima do rodapé sem mofo/bolor | 5                 | Ascensão capilar.               | 6                 | Visualização do acúmulo de água no rodapé proveniente da laje sem impermeabilização com lavagens recorrentes ou vazamento das tubulações hidrossanitárias. | 5              | 150        | Realizar a impermeabilização correta do pavimento e reparar possíveis vazamentos. |

| Elemento                  | Modo de falha potencial | Efeito potencial da falha                              | Severidade | Causa potencial da falha                                                                                                               | Ocorrência | Medidas de detecção                                                                                                                                                                                                                        | Deteção | NPR | Ações Recomendadas                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parede de alvenaria comum | Umidade                 | Manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor. | 4          | Infiltração.                                                                                                                           | 5          | Visualização de manchas de umidade de forma pontual ao longo de uma parede com passagem de tubulações hidrossanitárias e ar-condicionado. O acúmulo do vazamento proporciona a formação de mofo/bolor devido também a falta de ventilação. | 6       | 120 | Corrigir os possíveis vazamentos, melhorar a circulação de ventilação retirar o reboco antigo, logo após realizar a lavagem e secagem da região antes de executar o novo reboco e aplicar revestimentos impermeabilizantes. |
|                           |                         | Desgaste e estufamento de pintura.                     | 3          | Elevada umidade causando uma expansão de volume do material que provoca o desprendimento das camadas de pintura e o estufamento delas. | 2          | Visualização do descascamento da região da parede.                                                                                                                                                                                         | 9       | 54  | Descamar toda parede retirando a pintura ruim e os estufamentos. Logo após, refazer a pintura com tintas que apresentem resistência a umidade.                                                                              |

| Elemento                   | Modo de falha potencial | Efeito potencial da falha                              | Severidade | Causa potencial da falha                                                  | Ocorrência | Medidas de detecção                                                                                  | Deteção | NPR | Ações Recomendadas                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento estrutural: pilar | Fissuras e trincas.     | Fissura/Trinca por possível movimentação higroscópica. | 3          | Aberturas provocadas pela expansão do material devido ao acúmulo de água. | 3          | Visualização da região com umidade provocando estufamento e aberturas devido a expansão do material. | 7       | 63  | Tratar inicialmente a umidade, em seguida, abrir as anomalias em toda sua extensão, preencher os espaço com massa, colocar a tela de aço e finalizar com a massa de tratamento, massa corrida e nova pintura. |
|                            |                         | Fissura/Trinca por possível falta de amarração.        | 4          | Falta da união correta da parede com o elemento próximo a ela.            | 3          | Visualização da formação de pequenas aberturas na região.                                            | 6       | 72  | Realizar a abertura de toda extensão da anomalia, colocar amarrações adequadas, refazer a camada de reboco e finalizar com massa corrida e pintura.                                                           |

| <b>Elemento</b>            | <b>Modo de falha potencial</b> | <b>Efeito potencial da falha</b>                      | <b>Severidade</b> | <b>Causa potencial da falha</b>                           | <b>Ocorrência</b> | <b>Medidas de detecção</b>                         | <b>Detecção</b> | <b>NPR</b> | <b>Ações Recomendadas</b>                                                                                              |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|-----------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento estrutural: pilar | Fissuras e trincas.            | Fissura/Trinca em pilar por possível oxidação do aço. | 2                 | Região próxima ao pilar que esteja apresentando oxidação. | 2                 | Visualização de aço exposto ou manchas amareladas. | 10              | 40         | Realizar o tratamento adequado no elemento que está sofrendo corrosão e caso necessário colocar reforço nas armaduras. |

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Quadro 2 - Aplicação do FMECA no pavimento 02.

| <b>FICHA AVALIATIVA – MÉTODO FMECA</b>    |                                |                                                        |                   |                                 |                   |                                                                                                                                                                                                                                            |                |            |                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ANÁLISE DE UMIDADE DO PAVIMENTO 02</b> |                                |                                                        |                   |                                 |                   |                                                                                                                                                                                                                                            |                |            |                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Elemento</b>                           | <b>Modo de falha potencial</b> | <b>Efeito potencial da falha</b>                       | <b>Severidade</b> | <b>Causa potencial da falha</b> | <b>Ocorrência</b> | <b>Medidas de detecção</b>                                                                                                                                                                                                                 | <b>Deteção</b> | <b>NPR</b> | <b>Ações Recomendadas</b>                                                                                                                                                                                                   |
| Parede de alvenaria comum                 | Umidade                        | Manchas presentes acima do rodapé sem mofo/bolor       | 2                 | Ascensão capilar.               | 2                 | Visualização do acúmulo de água no rodapé proveniente da laje sem impermeabilização com lavagens recorrentes ou vazamento das tubulações hidrossanitárias.                                                                                 | 9              | 36         | Realizar a impermeabilização correta do pavimento e reparar possíveis vazamentos.                                                                                                                                           |
|                                           |                                | Manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor. | 10                | Infiltração.                    | 8                 | Visualização de manchas de umidade de forma pontual ao longo de uma parede com passagem de tubulações hidrossanitárias e ar-condicionado. O acúmulo do vazamento proporciona a formação de mofo/bolor devido também a falta de ventilação. | 5              | 400        | Corrigir os possíveis vazamentos, melhorar a circulação de ventilação retirar o reboco antigo, logo após realizar a lavagem e secagem da região antes de executar o novo reboco e aplicar revestimentos impermeabilizantes. |

| Elemento                   | Modo de falha potencial | Efeito potencial da falha                              | Severidade | Causa potencial da falha                                                                                                               | Ocorrência | Medidas de detecção                                                                                  | Deteção | NPR | Ações Recomendadas                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parede de alvenaria comum  | Umidade                 | Desgaste e estufamento de pintura.                     | 9          | Elevada umidade causando uma expansão de volume do material que provoca o desprendimento das camadas de pintura e o estufamento delas. | 7          | Visualização do descascamento da região da parede.                                                   | 4       | 252 | Descamar toda parede retirando a pintura ruim e os estufamentos. Logo após, refazer a pintura com tintas que apresentem resistência a umidade.                                                                 |
| Elemento estrutural: pilar | Fissuras e trincas.     | Fissura/Trinca por possível movimentação higroscópica. | 4          | Aberturas provocadas pela expansão do material devido ao acúmulo de água.                                                              | 6          | Visualização da região com umidade provocando estufamento e aberturas devido a expansão do material. | 6       | 144 | Tratar inicialmente a umidade, em seguida, abrir as anomalias em toda sua extensão, preencher os espaço com massa, colocar a tela de aço, e finalizar com a massa de tratamento, massa corrida e nova pintura. |

| Elemento                   | Modo de falha potencial | Efeito potencial da falha                             | Severidade | Causa potencial da falha                                                                                  | Ocorrência | Medidas de detecção                                       | Deteção | NPR | Ações Recomendadas                                                                                                                                  |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------|---------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento estrutural: pilar | Fissuras e trincas.     | Fissura/Trinca por possível falta de amarração.       | 3          | Falta da união correta da parede com o elemento próximo a ela, podendo ser estrutural ou uma nova parede. | 4          | Visualização da formação de pequenas aberturas na região. | 6       | 72  | Realizar a abertura de toda extensão da anomalia, colocar amarrações adequadas, refazer a camada de reboco e finalizar com massa corrida e pintura. |
|                            |                         | Fissura/Trinca em pilar por possível oxidação do aço. | 3          | Região próxima ao pilar que esteja apresentando oxidação.                                                 | 2          | Visualização de aço exposto ou manchas amareladas.        | 10      | 60  | Realizar o tratamento adequado no elemento que está sofrendo corrosão e caso necessário colocar reforço nas armaduras.                              |

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Quadro 3 - Aplicação do FMECA no pavimento 03.

| <b>FICHA AVALIATIVA – MÉTODO FMECA</b>    |                                |                                                        |                   |                                 |                   |                                                                                                                                                                                                                                            |                |            |                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ANÁLISE DE UMIDADE DO PAVIMENTO 02</b> |                                |                                                        |                   |                                 |                   |                                                                                                                                                                                                                                            |                |            |                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Elemento</b>                           | <b>Modo de falha potencial</b> | <b>Efeito potencial da falha</b>                       | <b>Severidade</b> | <b>Causa potencial da falha</b> | <b>Ocorrência</b> | <b>Medidas de detecção</b>                                                                                                                                                                                                                 | <b>Deteção</b> | <b>NPR</b> | <b>Ações Recomendadas</b>                                                                                                                                                                                                   |
| Parede de alvenaria comum                 | Umidade                        | Manchas presentes acima do rodapé sem mofo/bolor       | 1                 | Ascensão capilar.               | 1                 | Visualização do acúmulo de água no rodapé proveniente da laje sem impermeabilização com lavagens recorrentes ou vazamento das tubulações hidrossanitárias.                                                                                 | 10             | 30         | Realizar a impermeabilização correta do pavimento e reparar possíveis vazamentos.                                                                                                                                           |
|                                           |                                | Manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor. | 10                | Infiltração.                    | 10                | Visualização de manchas de umidade de forma pontual ao longo de uma parede com passagem de tubulações hidrossanitárias e ar-condicionado. O acúmulo do vazamento proporciona a formação de mofo/bolor devido também a falta de ventilação. | 5              | 500        | Corrigir os possíveis vazamentos, melhorar a circulação de ventilação retirar o reboco antigo, logo após realizar a lavagem e secagem da região antes de executar o novo reboco e aplicar revestimentos impermeabilizantes. |

| Elemento                   | Modo de falha potencial | Efeito potencial da falha                              | Severidade | Causa potencial da falha                                                                                                               | Ocorrência | Medidas de detecção                                                                                  | Deteção | NPR | Ações Recomendadas                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parede de alvenaria comum  | Umidade                 | Desgaste e estufamento de pintura.                     | 9          | Elevada umidade causando uma expansão de volume do material que provoca o desprendimento das camadas de pintura e o estufamento delas. | 8          | Visualização do descascamento da região da parede.                                                   | 3       | 216 | Descamar toda parede retirando a pintura ruim e os estufamentos. Logo após, refazer a pintura com tintas que apresentem resistência a umidade.                                                                 |
| Elemento estrutural: pilar | Fissuras e trincas.     | Fissura/Trinca por possível movimentação higroscópica. | 3          | Aberturas provocadas pela expansão do material devido ao acúmulo de água.                                                              | 3          | Visualização da região com umidade provocando estufamento e aberturas devido a expansão do material. | 7       | 63  | Tratar inicialmente a umidade, em seguida, abrir as anomalias em toda sua extensão, preencher os espaço com massa, colocar a tela de aço, e finalizar com a massa de tratamento, massa corrida e nova pintura. |

| Elemento                   | Modo de falha potencial | Efeito potencial da falha                             | Severidade | Causa potencial da falha                                                                                  | Ocorrência | Medidas de detecção                                       | Deteção | NPR | Ações Recomendadas                                                                                                                                  |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------|---------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento estrutural: pilar | Fissuras e trincas.     | Fissura/Trinca por possível falta de amarração.       | 2          | Falta da união correta da parede com o elemento próximo a ela, podendo ser estrutural ou uma nova parede. | 2          | Visualização da formação de pequenas aberturas na região. | 10      | 40  | Realizar a abertura de toda extensão da anomalia, colocar amarrações adequadas, refazer a camada de reboco e finalizar com massa corrida e pintura. |
|                            |                         | Fissura/Trinca em pilar por possível oxidação do aço. | 8          | Região próxima ao pilar que esteja apresentando oxidação.                                                 | 9          | Visualização de aço exposto ou manchas amareladas.        | 6       | 432 | Realizar o tratamento adequado no elemento que está sofrendo corrosão e caso necessário colocar reforço nas armaduras.                              |

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Mediante os resultados obtidos é notório que em cada pavimento existe uma gravidade variante das manifestações patológicas, porém existem algumas que precisam de atenção imediata. É possível visualizar nos quadros 4, 5 e 6 a organização do Número de Prioridade de Risco de cada pavimento sendo classificado de acordo com a comparação feita com os critérios expostos na metodologia.

Quadro 4 - Priorização de risco do pavimento 01.

| <b>PAVIMENTO<br/>01</b> | <b>EFEITO DA FALHA</b>                                 | <b>NPR</b> | <b>CLASSIFICAÇÃO</b> |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------------|
|                         | Machas presentes acima do rodapé sem mofo/bolor.       | 150        | Alto                 |
|                         | Manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor. | 120        | Alto                 |
|                         | Fissura/Trinca por possível falta de amarração.        | 72         | Médio                |
|                         | Fissura/Trinca por possível movimentação higroscópica. | 63         | Médio                |
|                         | Desgaste e estufamento de pintura.                     | 54         | Médio                |
|                         | Fissura/Trinca em pilar por possível oxidação do aço.  | 40         | Baixo                |

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Quadro 5 - Priorização de risco do pavimento 02.

| <b>PAVIMENTO<br/>02</b> | <b>EFEITO DA FALHA</b>                                 | <b>NPR</b> | <b>CLASSIFICAÇÃO</b> |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------------|
|                         | Manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor. | 400        | Muito alto           |
|                         | Desgaste e estufamento de pintura.                     | 252        | Muito alto           |
|                         | Fissura/Trinca por possível movimentação higroscópica. | 144        | Alto                 |
|                         | Fissura/Trinca por possível falta de amarração.        | 72         | Médio                |
|                         | Fissura/Trinca em pilar por possível oxidação do aço.  | 60         | Médio                |
|                         | Machas presentes acima do rodapé sem mofo/bolor.       | 36         | Baixo                |

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Quadro 6 - Priorização de risco do pavimento 03.

| <b>PAVIMENTO<br/>03</b> | <b>EFEITO DA FALHA</b>                                 | <b>NPR</b> | <b>CLASSIFICAÇÃO</b> |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------------|
|                         | Manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor. | 500        | Muito alto           |
|                         | Fissura/Trinca em pilar por possível oxidação do aço.  | 432        | Muito alto           |
|                         | Desgaste e estufamento de pintura.                     | 216        | Muito alto           |
|                         | Fissura/Trinca por possível movimentação higroscópica. | 63         | Médio                |
|                         | Fissura/Trinca por possível falta de amarração.        | 40         | Baixo                |
|                         | Machas presentes acima do rodapé sem mofo/bolor.       | 30         | Baixo                |

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Percebeu-se que no pavimento 01 as regiões com presença de manchas são as com maiores números de prioridade de risco. No pavimento 02 a NPR se eleva nas regiões com manchas leves ou graves de infiltração, desgaste e estufamento de pintura, e por movimentação higroscópica, pois se mostram de alta gravidade neste pavimento. E no pavimento 03 notou-se que é o local onde se encontram os maiores números de risco tanto nas regiões com manchas, como com fissura/trinca em pilar por possível oxidação do aço e com desgaste e estufamento de pintura. Sendo assim, é de grande urgência que sejam realizados planejamentos para a realização de reparos do local.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o estudo realizado é possível afirmar que a maioria das manifestações patológicas presentes no local é proveniente da umidade por infiltração. Foi evidente que a medida que se aproximava do pavimento 03 as incidências patológicas aumentavam indicando que a origem do problema pode estar localizada neste andar.

Mediante o ensaio com o umidímetro pode-se afirmar que o local necessita de mais saídas de ventilação, pois o acúmulo de umidade está provocando o aparecimento de mofo/bolor que pode causar problemas respiratórios aos seus usuários.

Com o ensaio de ultrassom pode-se avaliar que o concreto utilizado na estrutura do local ainda se permanece em excelente e ótima qualidade de acordo com os dados obtidos no ensaio semidireto da NBR 8802:2019. Vale ressaltar também que devido a extrema dificuldade de acesso do local não se pôde realizar o ensaio em mais elementos estruturais.

Já com o ensaio do fissurômetro apenas identificou-se a classificação das aberturas presentes no local. Devido ao curto tempo não se pôde realizar leituras ao longo de um período que permitiriam ter uma ideia da tendência do movimento para um agravamento, estabilização, recuperação ou variação cíclica.

Com relação ao uso da ferramenta FMECA para a identificação da classificação do número de risco das manifestações patológicas, é possível dizer que foi satisfatório a sua aplicabilidade. Apesar das dificuldades de acesso ao local por ser um prédio privado, foi possível ter clareza sobre qual local necessita-se de maior atenção e que efeito ocasionou o problema, variando de um grau de risco muito alto de 500 à um grau de risco baixo de 30.

De acordo com todos os procedimentos realizados nos pavimentos recomenda-se a contratação de uma equipe técnica para realizar as adequadas impermeabilizações das lajes e de paredes em áreas molháveis do local, estancar possíveis vazamentos presentes, sejam eles por tubulações hidrossanitárias ou de ar-condicionado, realizar o tratamento adequado das fissuras, trincas e armaduras da estrutura do local que podem necessitar de armadura adicional de acordo com o nível de perda, a fim de evitar que ocorram problemas futuros e que as outras manifestações patológicas aumentem sua incidência.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sabendo que ainda é possível explorar o objeto de estudo e todos os seus aspectos, são sugeridas as seguintes considerações para trabalhos futuros:

- Avaliar a edificação com outras ferramentas de priorização e comparar os resultados obtidos com o método de Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade (FMECA), podendo sugerir planos de execução mais eficientes.
- Propor um plano de ação para a realização dos reparos necessários com base nas considerações feitas a partir da FMECA.
- Realizar o ensaio com o fissurômetro de forma periódica, ao longo de alguns meses a fim de identificar se as aberturas são passivas ou ativas.
- Realizar o ensaio de carbonatação a fim de indicar a presença de corrosão nas armaduras expostas.
- Executar o uso da ferramenta FMECA no âmbito estrutural do local, para identificar com mais profundidade quais locais apresentam maiores reduções da seção da armadura e como repará-las.

## REFERÊNCIAS

- ALUCCI, M. P., FLAUZINO, W. D., MILANO, S. **Bolor em edifícios: causas e recomendações**. Tecnologia de edificações, São Paulo. PINI, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de Trabalhos da Div. de Edificações do IPT. 1988. P.565-70.
- ARANHA, P. M. S. Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na Região Amazônica. 1994. In: ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. 1997. 151 p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1997.
- ASSIS, F. F.; RABELO, G. Q. **Fissuras por movimentação térmica em estruturas de concreto armado**. 2013. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal De Goiás, Goiania, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013. 56 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2013. 15 p.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K.; ANTUNES, G. R. **Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico**. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Minas Gerais, 2012.
- BAUER, L.A. F. **Materiais de Construção** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 1994. 435 p.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. 1994. 139 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, Engenharia Civil), Universidade de Brasília, Brasília/DF, 1994.
- CECHINEL, B. M.; et al. **Infiltração em alvenaria estudo de caso em edifício na Grande Florianópolis**. Caderno de Publicações Acadêmicas. Florianópolis/SC, 1-7 p. 2007.
- COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA DAS GRANDES BARRAGENS - **1º Relatório de Progresso do Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens**. Janeiro de 2005.
- CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. 180 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2009.
- CRUZ, H. **Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira**. II Curso Livre Internacional de Patrimônio, Pará, Fevereiro/Março 2001.
- FÁVERI, R.; SILVA, A. **Método GUT aplicado à gestão de risco de desastres: uma ferramenta de auxílio para hierarquização de riscos**. Revista Ordem Pública, [S. L.], v. 9, n. 1. 1-15 p. Jan./Jun., 2016
- FEILDEN, B. M. **Conservation of historic buildings**. [S. L.]: Third Edition, 1994. 388 p.

FERREIRA, J. B.; LOBÃO, V. W. N. **Manifestações patológicas na construção civil**. Cadernos de graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, Aracaju, v. 5, n. 1, p. 71 -80. Outubro 2018.

FRANÇA, A. V.; et al. **Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil**, [S. L.], 10 p. Setembro 2011.

GOMES, R. C. A. **A utilização de ferramentas da qualidade para identificação das causas do desperdício em uma empresa do ramo da construção civil recém-constituída**. 2013. 22 p. Monografia de Especialização (Gestão da qualidade), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

GRANATO, J. E. **Patologia das construções**. [S. L.: S. N.], 2002, 248 p.

HELENE, P. R. L. **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto**. Workshop sobre Durabilidade das Construções. São José dos Campos, Novembro, 2001.

HELENE, P. R. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1992, 213 p.

HIRT, B. F. **Manifestações patológicas em obras de escolas públicas estaduais do paraná**. 2014. 48 p. Monografia de Especialização (Patologia das Construções), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

IANTAS, L. C. **Estudo de caso: análise de patologias estruturais em edificação de gestão pública**. 2010. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

IBAPE - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, Entidade Federativa Nacional. **Norma Técnica Para Avaliação do Desequilíbrio Econômico-Financeiro de Contratos de Obras de Engenharia**. São Paulo, 2014, 21 p.

IBAPE/SP - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo. **Norma Básica Para Perícia de Engenharia**. São Paulo, 2002, 18 p.

IBDA - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento de Arquitetura - Fórum da Construção. **Cerâmica Soltando: diagnóstico, causas e recuperação**. [S. L.], 2017. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=17&cod=2034>>. Acesso em: 3 Jun. 2019.

IQA - Instituto de Qualidade Automotiva. **Manual MFMEA – Análise de modos e efeitos de falha potencial de máquina**. [S. L.], 18 Set. 2015. Disponível em: <[Http://www.iqa.org.br/publico/noticia.php?codigo=4961](http://www.iqa.org.br/publico/noticia.php?codigo=4961)>. Acesso em: 8 Jul. 2019.

ISO - International Organization For Standardization. **ISO 13823 - General principles on the design of structures for durability**. Geneva: ISO/Tc, 2008, 15 p.

IZI TRAVEL. **Cerâmica soltando: diagnóstico, causas e recuperação**. [S. L.], 2017. Disponível em: <<https://izi.travel/nl/b459-igreja-sao-francisco-de-paula/pt>>. Acesso em: 3 Jun. 2019.

JOHN, V. M. et al, (2001). **Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira**. Workshop sobre Durabilidade das Construções. São José dos Campos, Novembro, 2001.

KLIMPEL, E.C.; SANTOS, P.R.C. **Levantamento das manifestações patológicas presentes em unidades do conjunto habitacional moradias Monteiro Lobato**. 2010. 98 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Patologia nas Obras Cíveis) – Instituto IDD, Curitiba, 2010.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. 56 p. Monografia (Especialização em Construção Cível), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LERSCH, I. M. **Contribuição para a identificação dos principais fatores de degradação em edificações do patrimônio cultural de porto alegre**. 2003. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cível), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

LIMA, B. S. **Principais manifestações patológicas em edificações residenciais multifamiliares**. 2015. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Cível), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2015.

MACEDO, J. V.; et al. **Manifestações patológicas causadas pela umidade devido à falha ou ausência de impermeabilização: estudo de caso**. Conpar2017, Recife, Agosto 2017. Conpar2017 - Recife, 30 e 31 de Agosto de 2017. 11 p.

MAIA, G. **História - Câmara Municipal de Mossoró Rio Grande do Norte - Brasil**. [S. L.], 11 Jun. 2018. Disponível em: <<https://www.mossoro.rn.leg.br/institucional/historia>>. Acesso em: 5 Jun. 2019.

MEIRA, A. R.; ARAÚJO, N. M. C. **Qualidade na construção cível**. 1ªed. João Pessoa /PB: Editoraifpb, 2016, 212 p.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas**. 1ª ed. São Paulo: Art & Ciência, 2001, 56 p.

MOREIRA, M.; BERNARDES, S. **Planejamento e controle da produção para empresas de construção cível**. 1ªed. Rio de Janeiro: LTC, 2003, 200 p.

NOAL, B. A. M. **Entendendo as trincas e fissuras**. Mapa da Obra, 13 jul. 2016. Disponível em: <<http://www.mapadaobra.com.br/inovacao/entendendoas-trincas-e-fissuras/>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

OLIVEIRA, A. M. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96 p. Monografia de Especialização (Engenharia Cível), Universidade Federal de Minas Gerais - Curso de Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias, Belo Horizonte, 2012.

OLIVEIRA, D. F. **Levantamento de causas de patologias na construção cível**. 2013. 107 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Cível), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio De Janeiro, 2013.

OLIVEIRA, S. T. **Ferramentas para o aprimoramento da qualidade**. Série qualidade Brasil. 1995.

PEREZ, A R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água da chuva pelas fachadas. **Tecnologia de Edificações**, São Paulo, n. 2, p. 35-42, 1985.

PERIARD, G. **Matriz GUT – Guia Completo**. [S. L.], 3 Nov. 2011. Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>. Acesso em: 8 Jul. 2019.

PINTAN, M. N. **Manifestações patológicas e estudos da corrosão presente em pontes do Recife**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica Universidade de Pernambuco, 2013.

PLAISANT, M.; ALMEIDA, G.; HADDAD, A. N. **Patologias biológicas – Tratamento de vida vegetal nos edifícios históricos do Rio de Janeiro**. IV Cirmare, Rio de Janeiro, 14 p. 2015.

PRIMOS - Materiais de Construção. **Como evitar mofo na parede?**. [S. L.], 8 Maio 2018. Disponível em: <<https://primosmat.com.br/blog/2018/05/08/como-evitar-mofo-na-parede/>>. Acesso em: 3 Jun. 2019.

RINCON, O. T.; CARRUYO, C. A.; HELENE, P.; DÍAZ, I. **Manual de inspeccion, evaluacion y diagnostico de corrosion em estruturas de hormigon armado**. DURAR: Red Temática XV. B Durabilidad de la Armadura – Programa Iberoamericano de Ciência y Tecnologia para el desarrollo, 1998.

RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo: Editora PINI LTDA, Abr.2009. 262p.

ROCHA, I. **Corrosão em estruturas de concreto armado**. Revista On-Line IPOG - Especialize - Corrosão Em Estruturas de Concreto Armado, Goiânia, p. 6-8, 1 Dez. 2015.

RODRIGUES, M. V. C. **Ações para a qualidade: gestão estratégica e integrada para a melhoria dos processos na busca da qualidade e competitividade**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010, 364 p.

SAPUCAIA, R. M. **Método PDCA aplicado à engenharia civil: um estudo no canteiro de obras**. 2011, 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Maringá Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2011.

SILVA, S. R. C.; FONSECA, M.; BRITO, J. **Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de edifícios**. Conference Paper, [S. L.], 13 p. 2015.

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, 10 p. Julho 2016.

SOUZA, V. C. M.A; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo: PINI, LTDA, 2009, 252p.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios – Causas, prevenção e recuperação**. 1ª ed. São Paulo: PINI, LTDA 1989, 194 p.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2007, 208 p.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Inspección, diagnóstico y pronóstico em la construcción civil**. Boletín Técnico. México: Alconpat Internacimérica, 2013, 17 p.

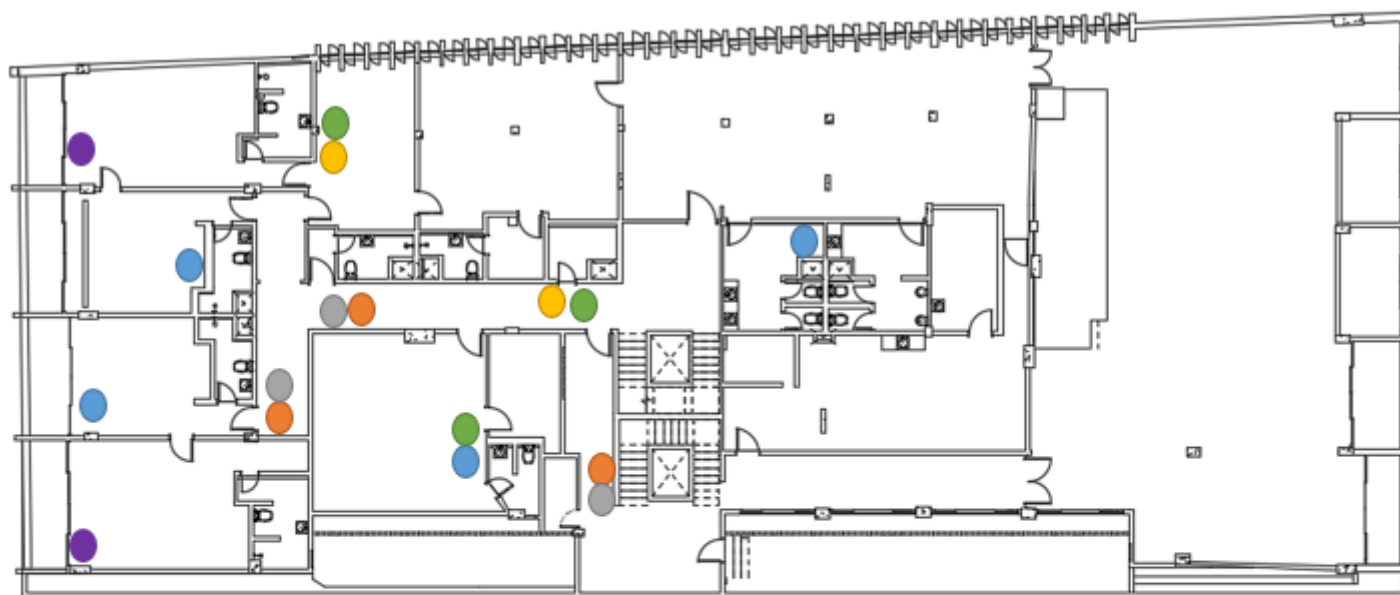
VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Editora Sagra, 1991. 172p.

WERKEMA, C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. 1ª ed Belo Horizonte: Editora Werkema, 1995, 302 p.

WHITEHURST, E. A., **Evaluation of concrete properties from sonic tests**. Detroit: American Concrete Institute, 1966.

ZANONI, V. A. G.; BUSON M. A. **Matriz de Criticidade na Avaliação da Qualidade Construtiva do Programa Minha Casa Minha Vida**. In: CONPAT 2015, 9 p., 2015.

## ANEXO A – MAPA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS – PAVIMENTO 01

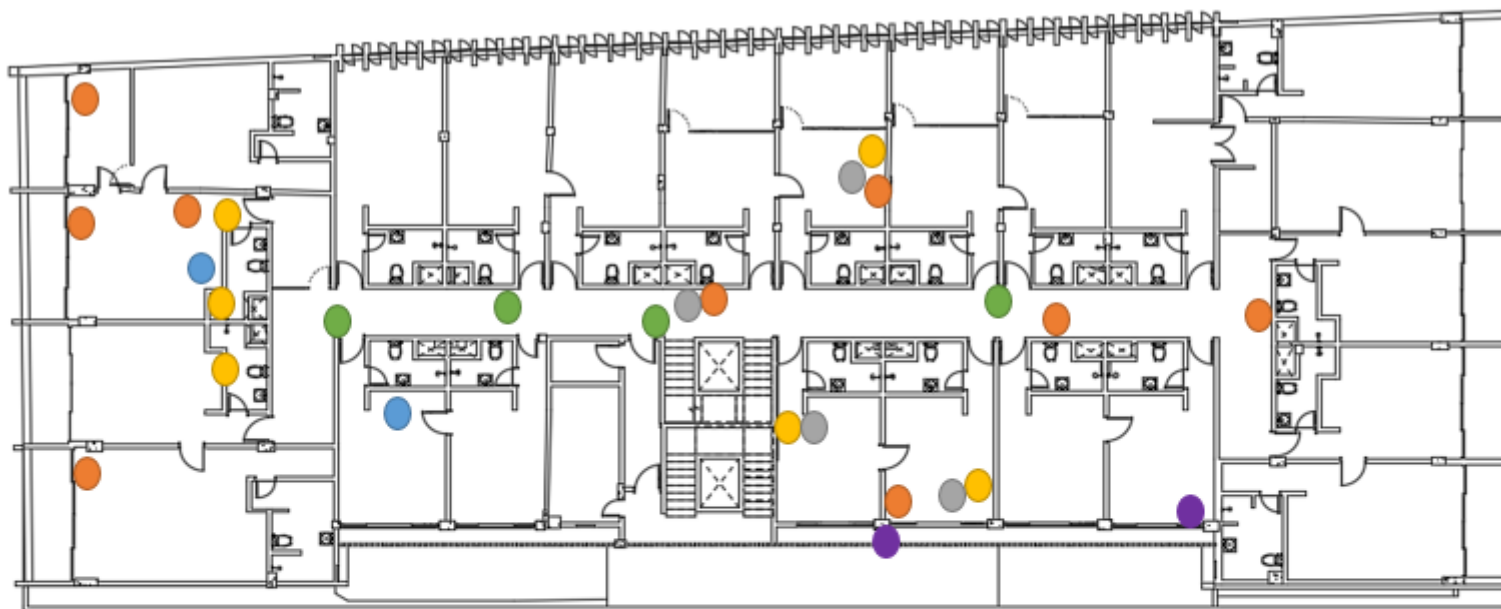


Legenda:

- Machas presentes acima do rodapé sem mofo/bolor.
- Manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor.
- Desgaste e estufamento de pintura.
- Fissura/Trinca por possível movimentação higroscópica.
- Fissura/Trinca por possível falta de amarração.
- Fissura/Trinca em pilar por possível oxidação do aço.

Fonte: Autoria própria (2019).

## ANEXO B – MAPA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS – PAVIMENTO 02

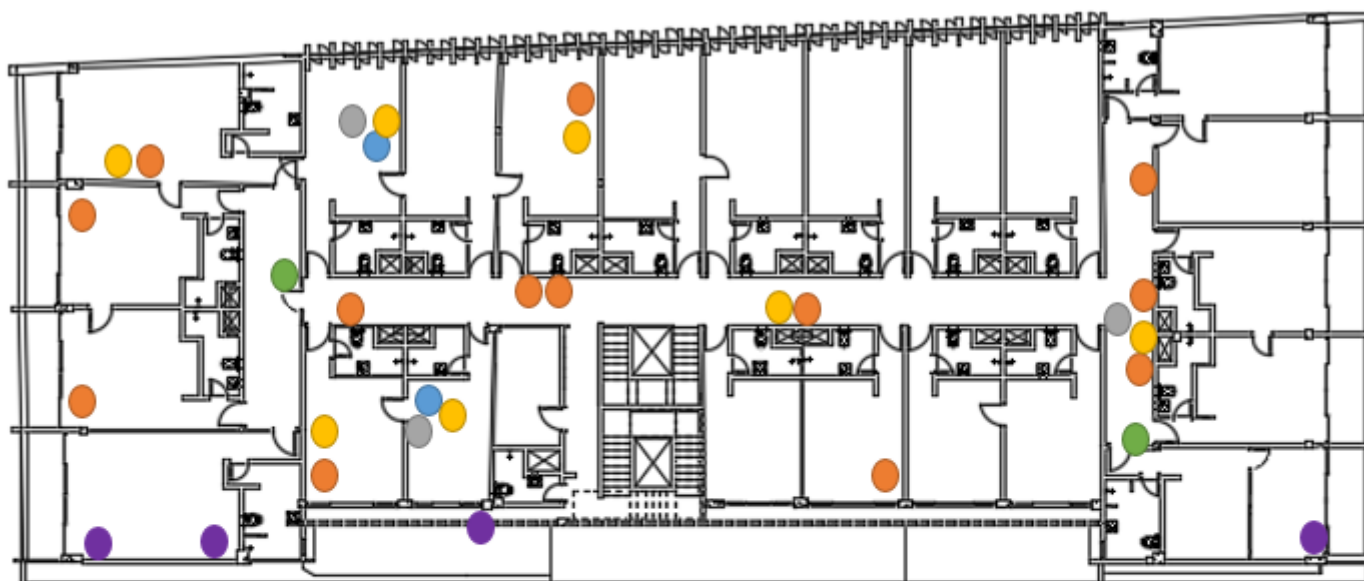


Legenda:

- Machas presentes acima do rodapé sem mofo/bolor.
- Manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor.
- Desgaste e estufamento de pintura.
- Fissura/Trinca por possível movimentação higroscópica.
- Fissura/Trinca por possível falta de amarração.
- Fissura/Trinca em pilar por possível oxidação do aço.

Fonte: Autoria própria (2019).

### ANEXO C – MAPA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS – PAVIMENTO 03

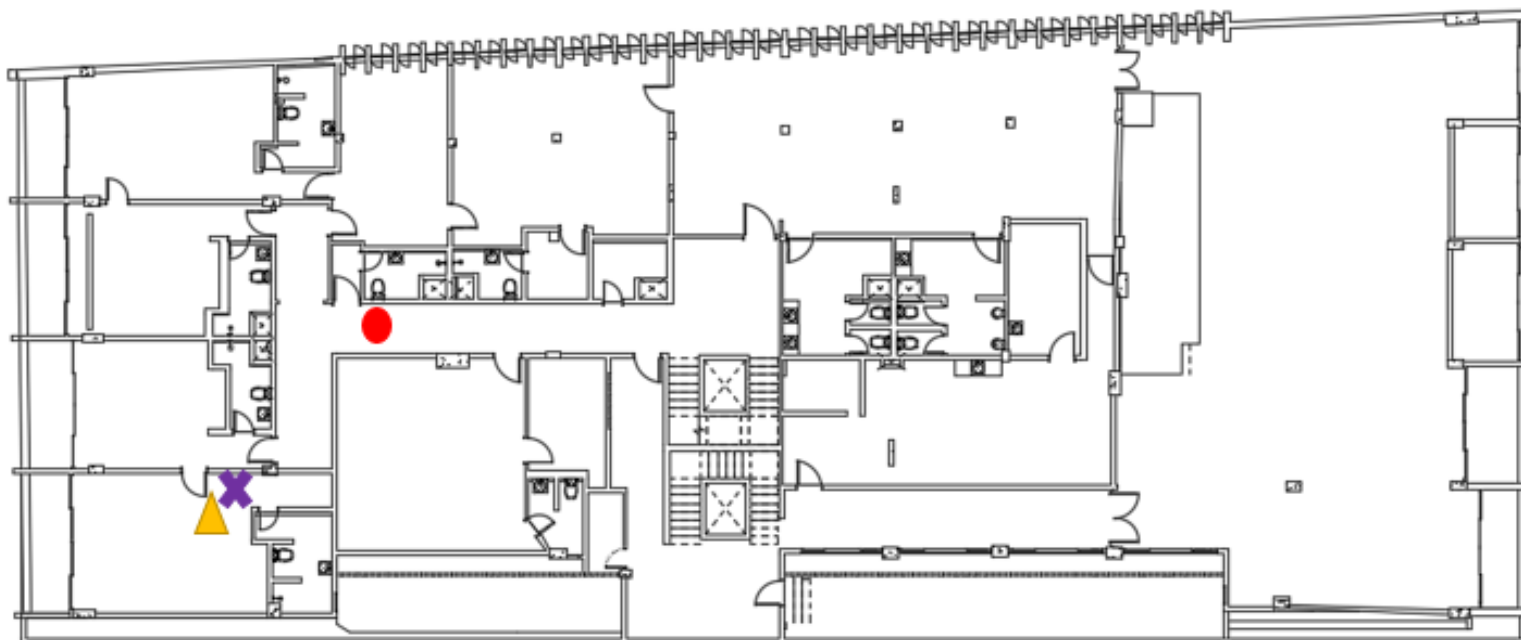


Legenda:

- Machas presentes acima do rodapé sem mofo/bolor.
- Manchas leves ou graves de infiltração com mofo/bolor.
- Desgaste e estufamento de pintura.
- Fissura/Trinca por possível movimentação higroscópica.
- Fissura/Trinca por possível falta de amarração.
- Fissura/Trinca em pilar por possível oxidação do aço.

Fonte: Autoria própria (2019).

## ANEXO D – MAPA DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS – PAVIMENTO 01

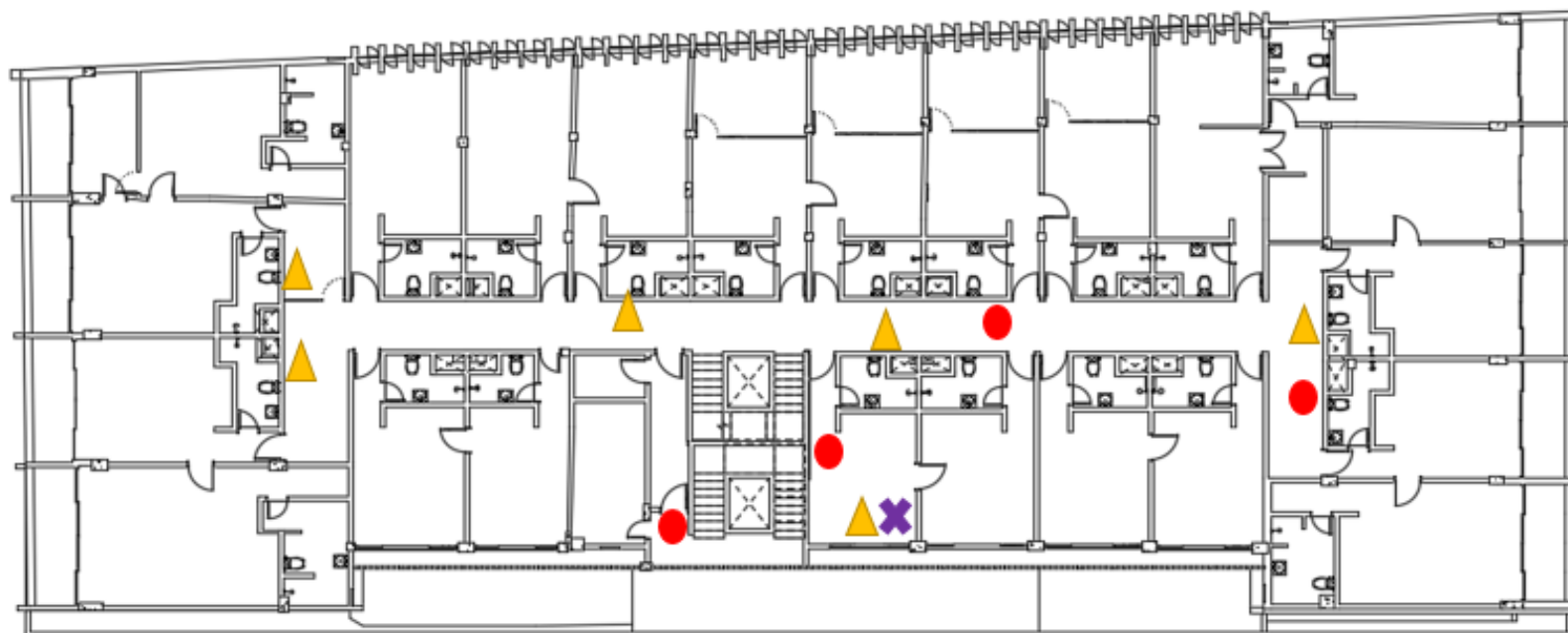


Legenda:

- ▲ Ensaio com umedímetro.
- ✕ Ensaio com o ultrassom.
- Ensaio com régua fissurômetro.

Fonte: Autoria própria (2019).

## ANEXO E – MAPA DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS – PAVIMENTO 02

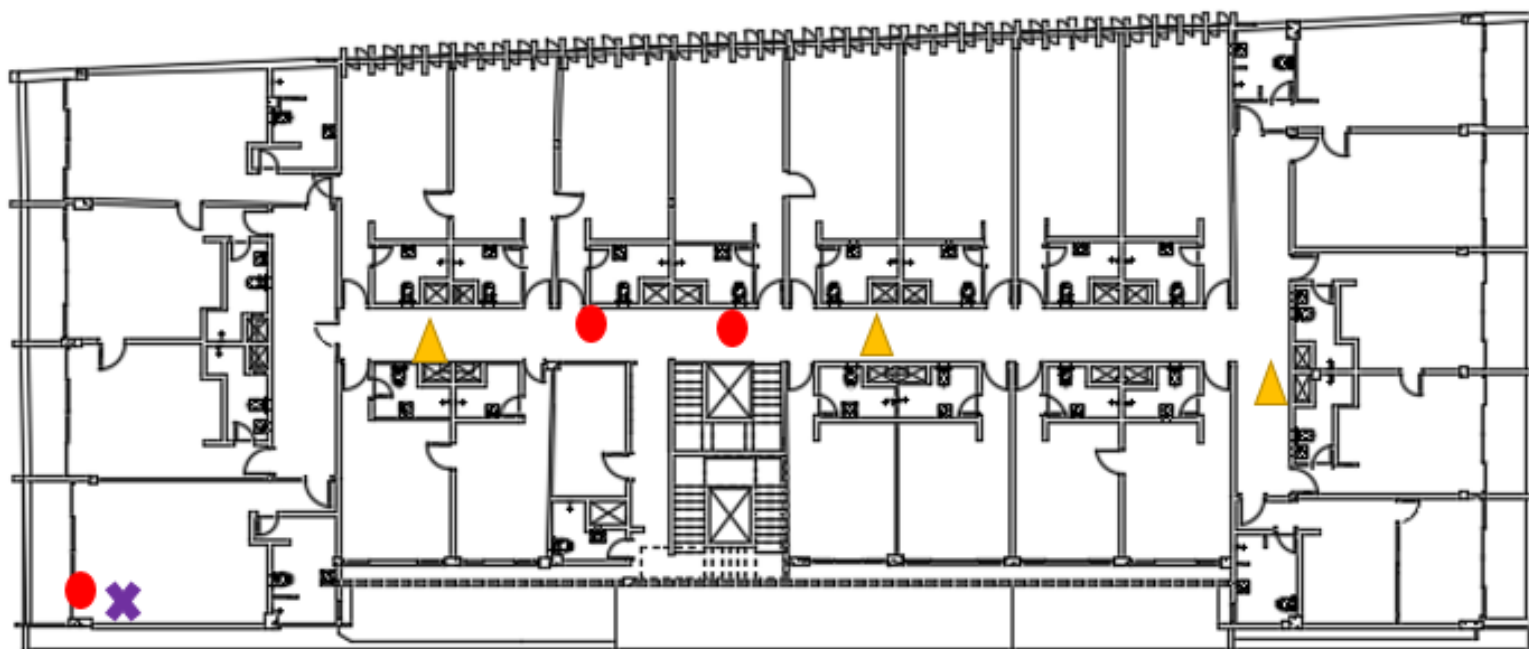


Legenda:

- ▲ Ensaio com umedímetro.
- ✕ Ensaio com o ultrassom.
- Ensaio com régua fissurômetro.

Fonte: Autoria própria (2019).

## ANEXO F – MAPA DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS – PAVIMENTO 03



Legenda:

- ▲ Ensaio com umedímetro.
- ✕ Ensaio com o ultrassom.
- Ensaio com régua fissurômetro.

Fonte: Autoria própria (2019).

## ANEXO G – FICHA AVALIATIVA FMECA

A seguir modelo da ficha avaliativa do FMECA utilizada no estudo.

| <b>FICHA AVALIATIVA – MÉTODO FMECA</b>                |                                                                |                                                            |                   |                                                               |                   |                                     |                 |                                                                |                                                               |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>ANÁLISE XXX</b>                                    |                                                                |                                                            |                   |                                                               |                   |                                     |                 |                                                                |                                                               |
| <b>Elemento</b>                                       | <b>Modo de falha potencial</b>                                 | <b>Efeito potencial da falha</b>                           | <b>Severidade</b> | <b>Causa potencial da falha</b>                               | <b>Ocorrência</b> | <b>Medidas de detecção</b>          | <b>Deteção</b>  | <b>NPR</b>                                                     | <b>Ações Recomendadas</b>                                     |
| Produto/Processo /Elemento que será objeto de estudo. | Modo de como as características podem deixar de ser atendidas. | Consequência do tipo de falha, sobre o usuário ou sistema. | Nota avaliativa   | Causas e condições responsáveis pelas consequências da falha. | Nota avaliativa   | Medidas preventivas ou de controle. | Nota avaliativa | Multiplicação dos fatores de gravidade, ocorrência e detecção. | Ações recomendadas para reparos e redução do número de risco. |

**Fonte:** Autoria própria (2019).