



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE BALSAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**WESLEY FONSECA PEREIRA**

**IDENTIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE MANIFESTAÇÕES  
PATOLÓGICAS POR MEIO DE SEGMENTAÇÃO  
SEMÂNTICA: FISSURAS, RACHADURAS, TRINCAS E  
FENDAS**

**BALSAS - MA  
2023**

Wesley Fonseca Pereira

Identificação automatizada de manifestações patológicas por meio de segmentação semântica:  
fissuras, rachaduras, trincas e fendas

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Moisés de Araújo Santos  
Jacinto

Balsas - MA  
2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Fonseca Pereira, Wesley. Identificação automatizada de manifestações patológicas por meio de segmentação semântica: fissuras, rachaduras, trincas e fendas/ Wesley Fonseca Pereira. - 2023.  
77 f.

Orientador(a): Moisés de Araújo Santos Jacinto.

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, Balsas, 2023.

1. Fendas. 2. Fissuras. 3. Rachaduras. 4.

Segmentação Semântica. 5. Trincas. I. de Araújo Santos Jacinto, Moisés. II. Título.

Wesley Fonseca Pereira

Identificação automatizada de manifestações patológicas por meio de segmentação semântica:  
fissuras, rachaduras, trincas e fendas

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Aprovado em: 07/07/2023**

---

Prof. Me. Moisés de Araújo Santos Jacinto – Orientador

---

Prof. Dr. Cláudio Luis de Araújo Neto – Examinador Interno

---

Prof. Dra. Carla Caroline Alves Carvalho – Examinadora Interno

---

Prof. Dra. Alcineide Dutra Pessoa de Sousa – Examinadora Externa

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida e me guiado em todos os momentos; à minha mãe, Amujaci; ao meu pai, Francisco Hélio; à minha irmã, Hemyly Maria; ao meu irmão Wanderson Thélío; e aos professores, Moisés e Gean, que me ajudaram na conclusão do mesmo.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me conceder saúde, força e determinação para enfrentar os desafios ao longo desta jornada acadêmica. Sua presença constante em minha vida tem sido a base que sustenta todas as minhas conquistas.

Agradeço aos meus pais, em especial minha mãe, que são fontes inesgotáveis de amor, apoio e incentivo. Obrigado por acreditarem em mim desde o início, por sempre estarem ao meu lado, me encorajando e fazendo sacrifícios para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Sou profundamente grato por todo o amor e dedicação que vocês demonstraram ao longo desses anos.

À minha família, em especial aos meu irmão e irmã, que sempre estiveram presentes em todos os momentos importantes da minha vida, meu sincero agradecimento. Vocês foram uma fonte de inspiração e suporte inabalável. Obrigado por compreenderem minha ausência em alguns momentos e por sempre me encorajarem a seguir em frente.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante essa caminhada, agradeço por todas as risadas compartilhadas, pelo apoio mútuo e pelo incentivo constante. Vocês tornaram essa jornada mais leve e especial, e sou grato por cada momento que passamos juntos.

Ao meu orientador Moisés e ao professor Gean, meu profundo reconhecimento por todo o conhecimento transmitido, pelas orientações valiosas e pelo tempo dedicado em me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho. Suas contribuições foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação e para a conclusão deste trabalho. Seja através de conversas enriquecedoras, sugestões valiosas ou simplesmente por torcerem pelo meu sucesso, cada gesto e palavra de apoio foram importantes.

Este trabalho é resultado do esforço coletivo de muitas pessoas e é com profunda gratidão que dedico a cada uma delas. Que nossos caminhos continuem se cruzando e que possamos compartilhar mais conquistas juntos. Muito obrigado a todos!

## RESUMO

Esta pesquisa apresenta a utilização de segmentação no processo de inspeção de fissuras, rachaduras, trincas e fendas, que tem como objetivo automatizar o processo de identificação dessas manifestações, visando uma redução no tempo. Através do diagnóstico manual em um campus universitário no sul do Maranhão, foram selecionadas 10 manifestações, as quais foram empregadas tanto na inspeção manual como na identificação automatizada por meio da segmentação semântica. Por meio de uma revisão bibliográfica se conheceu mais profundamente o processo de inspeção manual de fissuras, rachaduras, trincas e fendas, além, do processo de treinamento e aplicação de uma rede neural. Após a realização da inspeção manual e do estudo das manifestações por segmentação semânticas, foi realizada uma análise comparativa do tempo dos dois métodos. Diante dos resultados obtidos constatou-se que a utilização de segmentação semântica nesse processo de inspeção se mostra promissor, necessitando de mais estudo para melhorar e expandir sua usabilidade.

**Palavras-chave:** Segmentação Semântica; Fissuras; Trincas; Rachaduras; Fendas.

## ABSTRACT

This research presents the use of segmentation in the process of inspection of fissures, cracks, cracks and crevices, which aims to automate the process of identifying these manifestations, aiming at a reduction in time. Through manual diagnosis on a university campus in southern Maranhão, 10 manifestations were selected, which were used both in manual inspection and in automated identification through semantic segmentation. Through a bibliographic review, the process of manual inspection of cracks, cracks, cracks and crevices was known more deeply, in addition to the training process and application of a neural network. After carrying out the manual inspection and studying the manifestations by semantic segmentation, a comparative analysis of the time of the two methods was carried out. In view of the results obtained, it was found that the use of semantic segmentation in this inspection process is promising, requiring further study to improve and expand its usability.

**Keywords:** Semantic Segmentation; Fissures; Broken; cracking; Slits.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais causas de patologias. ....	22
Figura 2 - Gráfico com as Principais Origens de Patologias no Brasil. ....	23
Figura 3 – Etapas do Processo. ....	32
Figura 4 – Localização da Universidade no Sul do Maranhão. ....	36
Figura 5 – Página inicial do aplicativo onde é realizado a rotulagem. ....	43
Figura 6 – Imagem do local das classes. ....	43
Figura 7 – Exemplo de rotulagem. ....	44
Figura 8 – Legenda das Classificações. ....	56
Figura 9 – Mapa de danos da manifestação 1. ....	56
Figura 10 – Mapa de danos da manifestação 2. ....	57
Figura 11 – Mapa de danos da manifestação 3. ....	57
Figura 12 – Mapa de danos da manifestação 4. ....	58
Figura 13 – Mapa de danos da manifestação 5. ....	58
Figura 14 – Mapa de danos da manifestação 6. ....	59
Figura 15 – Mapa de danos da manifestação 7. ....	59
Figura 16 – Mapa de danos da manifestação 8. ....	60
Figura 17 – Mapa de danos da manifestação 9. ....	60
Figura 18 – Mapa de danos da manifestação 10. ....	61
Figura 19 – Classificação das manifestações. ....	61
Figura 20 – Progresso de Treinamento. ....	64
Figura 21 – Métricas do estudo. ....	68
Figura 22 – Dois exemplos de aplicação. ....	68
Figura 23 – Imagem com erros na identificação de fissuras e paredes. ....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Origem das falhas de serviços em edifícios (em %)	18
Tabela 2 - Gastos com manutenção e reparo em países desenvolvidos.	20
Tabela 3 - Dimensionamentos das patologias.	25
Tabela 4 – Fachadas da Universidade Estudada.	36
Tabela 5 – Exemplos de Manifestações Patológicas Encontradas.	37
Tabela 6 – Critérios de Pontuação.	41
Tabela 7 – Matriz de Diagnóstico.	41
Tabela 8 – Matriz de aplicação do método GUT.	41
Tabela 9 – Resultados de busca nas bases de dados.	47
Tabela 10 – Cronograma de Monitoramento.	48
Tabela 11 – Monitoramento do dia 26/05/2023.	49
Tabela 12 – Monitoramento do dia 02/06/2023.	49
Tabela 13 – Monitoramento do dia 09/06/2023.	50
Tabela 14 – Monitoramento do dia 16/06/2023.	50
Tabela 15 – Resultados da Matriz de Diagnóstico.	51
Tabela 16 – Matriz GUT.	62
Tabela 17 – Agrupamento e priorização das manifestações a partir do grau de prioridade.	62
Tabela 18 – Imagens para análise da manifestação 1.	65
Tabela 19 – Imagens para análise da manifestação 2.	65
Tabela 20 – Imagens para análise da manifestação 3.	65
Tabela 21 – Imagens para análise da manifestação 4.	66
Tabela 22 – Imagens para análise da manifestação 5.	66
Tabela 23 – Imagens para análise da manifestação 6.	66
Tabela 24 – Imagens para análise da manifestação 7.	67
Tabela 25 – Imagens para análise da manifestação 8.	67
Tabela 26 – Imagens para análise da manifestação 9.	67
Tabela 27 – Imagens para análise da manifestação 10.	68

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
3.1	Objetivo Geral.....	17
3.2	Objetivos Específicos.....	17
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
4.1	Vida útil das edificações .....	18
4.2	Manutenção das edificações.....	19
4.3	Patologia.....	21
4.4	Manifestações patológicas .....	23
4.5	Fissuras, trincas, rachaduras e fendas .....	24
4.6	Aprendizado de máquina .....	26
4.6.1	Inteligência artificial .....	27
4.6.2	Redes Neurais Artificiais e Rede Neurais Convolucionais.....	28
4.6.3	Aplicação de redes convolucionais .....	29
4.6.4	Segmentação semântica .....	30
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>32</b>
5.1	Identificação do Problema de Pesquisa.....	33
5.2	Elaboração dos objetivos .....	34
5.3	Revisão Bibliográfica.....	35
5.4	Caracterização e Definição dos Locais .....	35
5.5	Inspeção Manual .....	37
5.6	Identificação das Manifestações Analisadas.....	39
5.7	Emprego da Metodologia GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) e Classificação das Manifestações .....	40
5.8	Segmentação Semântica.....	41
5.9	Comparativo entre os métodos.....	45
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>47</b>
6.1	Resultados da revisão bibliográfica .....	47
6.2	Diagnóstico das manifestações .....	47
6.3	Mapa de Danos.....	56

6.4	Classificação das manifestações .....	61
6.5	Metodologia GUT .....	62
6.6	Identificação por meio de segmentação semântica .....	63
6.6.1	Segmentação Semântica.....	63
6.6.2	Acurácia da Segmentação .....	64
6.6.3	Aplicação da segmentação semântica nas manifestações estudadas .....	64
6.7	Comparação de tempo entre a identificação visual e segmentação semântica .....	69
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>70</b>
7.1	Trabalhos Futuros .....	71
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (AGÊNCIA CBIC, 2021), a construção civil é um segmento de significativo impacto para a economia do país, tendo em vista a sua intensa utilização de mão de obra, que acaba tornando-a uma grande geradora de empregos e renda, além de ser uma atividade que contribui para o progresso social.

No entanto, a falta de profissionais capacitados para gerenciar e projetar obras no Brasil tem gerado consequências negativas, tais como perda de qualidade e degradação das estruturas, além do surgimento de problemas e anomalias, denominados manifestações patológicas (FRANÇA *et al.*, 2011; MITZSUZAKI *et al.*, 2019). Esse problema está diretamente relacionado ao campo da construção civil que se dedica ao estudo de edificações e estruturas que apresentam essas falhas e anomalias, a fim de determinar suas causas e propor soluções viáveis (CREMONINI, 1988; FRANÇA *et al.*, 2011; MITZSUZAKI *et al.*, 2019; FERREIRA, 2020).

O termo "patologia" tem origem na palavra grega "*páthos*" e "*logos*", que significam "doença" e "estudo", respectivamente e embora seja um termo mais comumente utilizado na medicina, também passou a ser adotado na construção civil devido às similaridades com o objeto de estudo da área (FRANÇA *et al.*, 2011). Conforme Souza e Ripper (1998), a Patologia das construções pode ser conceituada como uma área da engenharia de construções que se concentra na análise das causas, manifestações, efeitos e mecanismos relacionados às falhas e aos processos de deterioração das estruturas.

A compreensão e prevenção de manifestações patológicas em edificações públicas desempenham um papel crucial na preservação da integridade estrutural e na segurança dos usuários. Fissuras, rachaduras, trincas e fendas são problemas recorrentes que podem comprometer a estabilidade das construções, exigindo intervenções dispendiosas. Nesse contexto, torna-se fundamental realizar estudos e análises detalhadas das modificações em edificações públicas de uma instituição específica (CORTEZ, 2021).

Essa abordagem permitirá alertar a gestão pública sobre a necessidade de minimizar ou corrigir esses problemas, visando garantir a segurança dos cidadãos e a correta manutenção do patrimônio construído. Ao concentrar-se nessa análise direcionada, é possível fornecer subsídios concretos para a tomada de decisões e a implementação de ações preventivas, contribuindo para a preservação do ambiente construído e o bem-estar da comunidade (CORTEZ, 2021).

De acordo com a Norma NBR 15575-1 – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2021) a vida útil de projeto mínima de uma edificação deve ser de 50 anos, porém tem-se continuamente apresentados casos em que antes mesmo desse período, temos em grande parte das edificações a presença de manifestações patológicas. Dentre as mais comuns e visíveis temos as fissuras, rachaduras, trincas e fendas. A partir disso pode-se inferir na importância do estudo das manifestações patológicas, em principal as que mais estão presentes nas edificações.

Conforme a NBR 9575 (ABNT, 2010) e NBR 15575 (ABNT, 2013) é possível distinguir as fissuras, trincas e rachaduras a partir da mensuração de suas larguras, sendo que aberturas de até 0,05mm são consideradas microfissuras, entre 0,05mm e 0,50mm são classificadas como fissuras, até 1mm como trincas, e aberturas maiores são consideradas rachaduras.

Um dos mecanismos utilizado para se analisar manifestações patológica é o método GUT - Matriz Gravidade, Urgência e Tendência – que é uma técnica amplamente utilizada na tomada de decisões estratégicas em diversas áreas de atuação, desde a gestão empresarial até a engenharia civil (MARTINS; PESSOA; NASCIMENTO, 2017). No contexto da inspeção de fissuras, rachaduras, trincas e fendas em estruturas, a aplicação do Método GUT permite avaliar de forma objetiva e sistemática a gravidade, urgência e tendência do problema, contribuindo para a definição de medidas preventivas e corretivas eficazes (MARTINS; PESSOA; NASCIMENTO, 2017; BRASIL, 2019;).

O método usado para as inspeções é efetivado de forma manual e por ser uma inspeção visual subjetiva realizada por especialistas humanos, acabam se tornando trabalhosas, custosas e demoradas, além de serem propícias a erros, pois dependem da percepção do inspetor (ALI *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

A aplicação de recursos computacionais, como a técnica de segmentações semânticas, pode ser uma solução eficiente para aprimorar e acelerar a identificação de manifestações patológicas em edificações, uma vez que tais técnicas se referem a processos computacionais capazes de coletar, representar e analisar informações armazenadas em bancos de dados para realizar funções específicas (WAZIRI; BALA; BUSTANI, 2017).

Conforme apontado por Waziri *et al.* (2017), as segmentações semânticas já foram aplicadas em diversos contextos da construção civil, como estimativa de custos, fluxo de caixa, previsão de produtividade, operação de movimentação de terra, execução de contratos, quantificação de risco e contingência de tempo, evidenciando uma variedade de aplicações possíveis para esses recursos computacionais no setor.

A partir do exposto anteriormente pode-se afirmar a necessidade que se tem em diagnosticar de forma adequada as manifestações patológicas de forma mais rápida e com uma maior precisão. Com isso, propõe-se a seguinte pergunta de pesquisa: Como otimizar o tempo nas identificações das fissuras, rachaduras, trincas e fendas?

Sendo assim, propõe-se a utilização de segmentação semântica para automatizar o processo de identificação de fissuras, rachaduras, trincas e fendas e comparar as mesmas com as metodologias já usualmente usadas.

## 2 JUSTIFICATIVA

A presente pesquisa tem como propósito fundamentar a relevância da aplicação da Indústria 4.0 no setor da construção civil, especificamente na análise de manifestações patológicas. Com base em uma revisão sistemática da literatura, foi constatado que as tecnologias de inteligência artificial são amplamente utilizadas em vários setores da economia, entretanto, há uma limitada aplicação dessas tecnologias no setor da construção civil no Brasil. Esta pesquisa visa, portanto, contribuir para o preenchimento dessa lacuna ao investigar a viabilidade e a eficácia da utilização de recursos da Indústria 4.0 no diagnóstico de manifestações patológicas em edificações.

Nesse contexto, fissuras, rachaduras, trincas e fendas são as manifestações patológicas que serão estudadas, abrangendo não somente estruturas de concreto, mas também alvenarias, revestimentos e outras. Essas manifestações patológicas são comuns e facilmente identificáveis em edificações (NÓBREGA; DELGADO, 2019; BENTO; PARREIRA, 2021; MILNITZ *et al.*, 2021; NOVAES; POZNYAKOV, 2021; VALÉRIO, 2022), por isso são objeto de estudo deste trabalho.

O estudo foi realizado na cidade de Balsas-MA, tendo um campus de uma Universidade no Sul do Maranhão, sido escolhida como estudo de caso após a devida autorização da diretora do campus. A escolha desse prédio como objeto de estudo baseou-se na facilidade de acesso e cooperação oferecidas pela instituição, bem como na evidente presença de diversas manifestações patológicas, apesar de seu curto período de utilização, que foram de 4 anos. A diretora do campus reconheceu a importância do estudo para a identificação e compreensão dessas manifestações, bem como para o desenvolvimento de métodos automatizados de inspeção por meio da segmentação semântica. A sua autorização foi essencial para viabilizar a realização deste trabalho, permitindo a coleta de dados e a realização das análises necessárias. Dessa forma, a participação ativa da diretora do campus foi um fator determinante para o sucesso e relevância deste estudo, além de demonstrar o compromisso da instituição em abordar e solucionar problemas relacionados à preservação do patrimônio construído.

Vale ressaltar que as manifestações patológicas atualmente têm grande presença nas edificações brasileiras, sendo que, mesmo em obras em regiões consideradas de alto padrão temos desabamentos de estruturas, no qual, se houvesse um diagnóstico rápido e eficiente na presença das primeiras manifestações patológicas, pode-se intervir de modo a evitar a ocorrência de grandes fatalidades (FERREIRA, 2020; FRANÇA *et al.*, 2011; MITZSUZAKI *et al.*, 2019; MARÇAL, 2023).

Portanto, é necessária uma inspeção precisa, rápida e eficiente em relação a essas manifestações patológicas em diferentes edificações. Para isso, a aplicação de inteligência artificial na realização desses diagnósticos pode ser uma solução promissora, pois pode proporcionar maior precisão e velocidade em comparação com os métodos tradicionais utilizados por engenheiros e técnicos (ALI *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Um dos métodos de inteligência artificial que pode ser usado é a segmentação semântica, onde a partir de um banco de dados com diferentes amostras, a rede neural artificial pode aprender a identificar fissuras, rachaduras, trincas e fendas a partir de imagens (BALA; BUSTANI, 2017; ALI *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2021; WAZIRI). Com uma maior velocidade e precisão, os custos com as inspeções seriam reduzidos, pois os métodos de inspeção manual são custosos e demorados, especialmente em edificações de grande porte.

Durante a revisão sistemática da literatura, foi observado que há poucos estudos em língua portuguesa sobre a aplicação da segmentação semântica na construção civil. Isso torna o tema bastante relevante, pois a falta de informações científicas sobre o assunto no Brasil pode causar prejuízos educacionais e econômicos para o país.

### **3 OBJETIVOS**

Nesta seção, serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

#### **3.1 Objetivo Geral**

Identificação automatizada de manifestações patológicas, em específico fissuras, rachaduras, trincas e fendas, visando redução de tempo, através da aplicação de segmentação semântica.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Esta pesquisa foi organizada de modo a atender aos seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão bibliográfica acerca das causas, características e classificação das fissuras, rachaduras, trincas e fendas;
- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o processo de segmentação semântica;
- Definir um local como objeto de estudo de caso;
- Aplicar o método de inspeção manual para o diagnóstico das manifestações patológicas estudadas;
- Aplicar a metodologia GUT na análise das manifestações;
- Elaborar Mapas de Danos das manifestações estudadas;
- Treinar a rede neural a identificar as fissuras, rachaduras, trincas e fendas através do banco de dados (por segmentação semântica);
- Comparar o tempo utilizado na identificação manual e na segmentação semântica.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Vida útil das edificações

A temática sobre a vida útil das edificações é relevante, visto que pode impactar diretamente na segurança e qualidade de vida dos usuários, além dos custos relacionados à manutenção e renovação. Há diversos fatores que influenciam a durabilidade e vida útil das edificações, tais como o projeto arquitetônico, as tecnologias e materiais utilizados durante a construção, bem como a manutenção e gestão da edificação ao longo do tempo (POSSAN; DEMOLINER, 2013; BENTO *et al.*, 2016; ASSIS; HIPPERT, 2022). A Tabela 1 demonstra bem isso, onde ela nos diz a origem das falhas em edifícios.

Tabela 1 – Origem das falhas de serviços em edifícios (em %)

	Bélgica	Reino Unido	Alemanha	Dinamarca	Romênia	Espanha	MÉDIA
Projeto	46 a 49	49	37	36	37	41	40-45
Execução	22	29	30	22	19	31	25-30
Materiais	15	11	14	25	22	13	15-20
Uso	8 a 9	10	11	9	11	11	10
Causas naturais imprevisíveis						4	

Fonte: (MESEGUER, 1991 *apud* ARAÚJO; MEDEIROS; SILVA, 2019).

Assis e Hippert (2022) salientam acerca da importância da gestão da manutenção predial para a prolongação da vida útil das edificações, pois a falta de manutenção preventiva pode levar à degradação e perda de desempenho dos sistemas e componentes da edificação, onde a adoção de planos de manutenção predial eficientes pode prevenir danos e prolongar a vida útil da edificação.

Daudt *et al.* (2021) realizaram um estudo de caso em uma edificação de interesse histórico-cultural na região da serra gaúcha para avaliar a vida útil da estrutura de concreto armado. A partir desse estudo, pode-se dizer que a vida útil da estrutura pode ser afetada por diversos fatores, como a qualidade do projeto, o tipo e qualidade dos materiais empregados, as condições ambientais e a manutenção.

Possan e Demoliner (2013) discutem a relação entre desempenho, durabilidade e vida útil das edificações. Os autores, ressaltam que o desempenho das edificações ao longo do tempo depende da sua durabilidade, que é influenciada pela qualidade dos materiais e técnicas construtivas, pelas condições ambientais e pela manutenção. A vida útil das edificações é a expectativa de tempo de utilização da edificação, que pode ser influenciada positivamente por uma gestão eficiente da manutenção e uma construção de qualidade.

Bento *et al.* (2016) analisaram a influência da ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013) na durabilidade e vida útil das edificações residenciais. A norma NBR 15575 - 1 estabelece requisitos mínimos para o desempenho de edificações habitacionais, incluindo aspectos relacionados à durabilidade, como a resistência à ação de agentes externos e a vida útil mínima dos sistemas e componentes da edificação (ABNT, 2021). A aplicação da norma pode contribuir para a garantia da qualidade e segurança das edificações, prolongando sua vida útil.

Em síntese, a vida útil das edificações é influenciada por diversos fatores, desde o projeto até a gestão da manutenção ao longo do tempo. Uma construção de qualidade e uma gestão eficiente da manutenção podem contribuir para a prolongação da vida útil das edificações, garantindo a segurança e o conforto dos usuários e minimizando os custos de manutenção e renovação.

#### **4.2 Manutenção das edificações**

A realização da manutenção predial é essencial para assegurar o adequado desempenho e a longevidade das edificações. Segundo Amorim *et al.* (2013), a manutenção predial em estabelecimentos assistenciais de saúde deve ser realizada de forma sistemática, preventiva e corretiva, a fim de evitar a perda de patrimônio, garantir a segurança dos usuários e reduzir os custos de manutenção. Para assegurar o bom desempenho e a longevidade das edificações, é essencial estabelecer procedimentos detalhados e rigorosos para a execução das tarefas de manutenção, sendo que, dentre as medidas a serem tomadas, destacam-se: a elaboração de planos de manutenção, o gerenciamento dos riscos relacionados às atividades e a qualificação adequada dos profissionais que atuam no processo (CREMONINI, 1988; AMORIM *et al.*, 2013; ASSIS; HIPPERT, 2022).

Araújo *et al.* (2019) discutem a importância dos manuais do usuário no processo de manutenção das edificações. De acordo com os autores, os manuais devem ser elaborados de forma clara e objetiva, fornecendo informações precisas sobre as características técnicas da edificação, os procedimentos de manutenção recomendados e as garantias oferecidas pelos fornecedores. Além disso, é fundamental que os manuais estejam em conformidade com a legislação vigente, a fim de evitar problemas legais e garantir a segurança dos usuários.

Conto *et al.* (2017) destacam a importância das certificações ambientais na construção civil, como forma de promover a sustentabilidade e a qualidade das edificações. Os autores discutem a certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), o Processo

Aqua e o Selo Casa Azul, e afirmam que esses selos podem contribuir para a melhoria da eficiência energética, a redução dos impactos ambientais e a valorização dos empreendimentos.

Segundo Grünberg *et al.* (2014), a certificação ambiental pode influenciar diretamente na manutenção das edificações, uma vez que os critérios de certificação podem incluir a implementação de sistemas de manutenção preventiva, assim como, a garantia da qualidade dos materiais e equipamentos utilizados na construção. A Tabela 2 indica como os gastos com manutenção tem grande impacto econômico, e por isso qualquer redução com esses gastos podem ter para a economia de um país.

Tabela 2 - Gastos com manutenção e reparo em países desenvolvidos.

País	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanha	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de Pounds (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

Fonte: (UEDA; TAKEWAKA, 2007 *apud* GRÜNBERG; MEDEIROS; TAVARES, 2014).

Rezende *et al.* (2017) abordam a prática do ecodesign na construção civil, como forma de promover a sustentabilidade e a qualidade das edificações. Segundo os autores, o ecodesign pode contribuir para a redução dos impactos ambientais e para a melhoria da eficiência energética das edificações, o que pode resultar em uma redução dos custos de manutenção e uma maior durabilidade das edificações.

Por fim, Assis e Hippert (2022) destacam a importância da gestão da manutenção predial para a vida útil das edificações, afirmando que a falta de manutenção pode acelerar a depreciação dos imóveis e reduzir a sua vida útil. Para os autores, a gestão da manutenção predial deve ser realizada de forma sistemática e planejada, com o objetivo de identificar e corrigir os problemas de forma preventiva, garantindo a segurança e a qualidade das edificações.

Em suma, a manutenção predial é uma atividade de extrema importância para a preservação das edificações, garantindo a segurança dos usuários, a eficiência energética, a sustentabilidade e a durabilidade das edificações. É fundamental que sejam estabelecidos procedimentos claros e precisos para a realização das atividades de manutenção, como a elaboração de planos de manutenção, a identificação e o controle dos riscos associados às atividades e a capacitação dos profissionais envolvidos. A elaboração de manuais do usuário claros e objetivos, em conformidade com a legislação vigente, também é uma prática

recomendada para o sucesso da manutenção predial (AMORIM *et al.*, 2013; MEDEIROS; TAVARES, 2014; CONTO; OLIVERIA; RUPPENTHAL, 2017; GRÜNBERG; REZENDE; BRITO; FREITAS, 2017; ARAÚJO; MEDEIROS; SILVA, 2019; ASSIS; HIPPERT, 2022).

### 4.3 Patologia

A patologia na construção civil é um tema importante para a engenharia civil, uma vez que busca entender as manifestações patológicas que ocorrem nas edificações e identificar suas causas. Dentre as diversas patologias encontradas na construção civil, destacam-se as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, que podem impactar na durabilidade, segurança e funcionalidade das edificações (MITZSUZAKI *et al.*, 2019; NÓBREGA; DELGADO, 2019; SOUZA, 2019; NOVAES; POZNYAKOV, 2021).

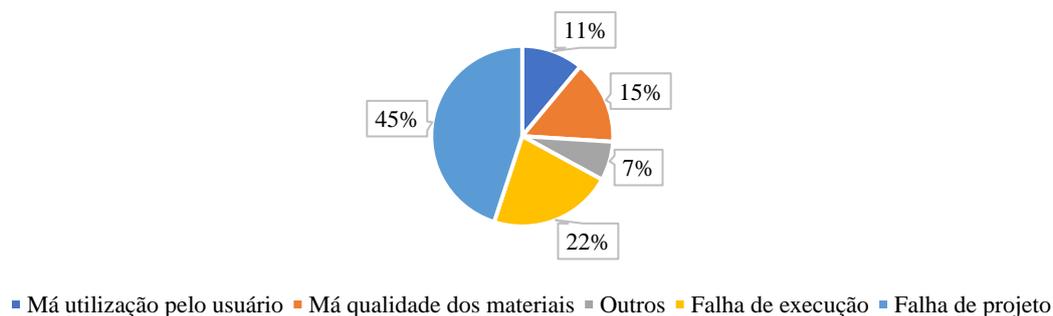
Segundo França *et al.* (2011), a patologia das construções é uma especialidade da engenharia civil que estuda as anomalias, defeitos e falhas que afetam as edificações. Nesse sentido, os autores destacam a importância do cumprimento das normas técnicas, a fim de evitar o surgimento de manifestações patológicas que possam causar danos mais graves e colocar em risco a segurança dos usuários.

Nóbrega e Delgado (2019) realizaram uma análise das principais manifestações patológicas em residências do município de Paraú-RN, destacando a presença de trincas e fissuras nas paredes, além de problemas com infiltrações e umidade. Os autores destacam a importância da execução dos serviços de forma correta, onde se executados de formas corretas durante sua execução, as manifestações patológicas poderiam não ter acontecido ou no mínimo serem minimizadas.

Souza (2019) aborda as principais manifestações patológicas estruturais em edificações e as metodologias de controle utilizadas na construção civil. O autor salienta que as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, afetam diretamente na qualidade de vida do usuário tanto do ponto de vista estético como da segurança dele.

Mitzsuzaki *et al.* (2019) discutem as principais patologias na construção civil, destacando a importância de evitar o surgimento delas, para assim termos a garantia da segurança e da durabilidade das edificações. Os autores apontam as principais causas das manifestações patológicas, como a má qualidade dos materiais, erros de projetos, falha de execução, a falta de manutenção, mau uso das edificações, entre outros, conforme representado na Figura 1.

Figura 1 – Principais causas de patologias.



Fonte: Adaptado de (MITZSUZAKI *et al.*, 2019).

Souza e Ripper (1998) abordam a patologia e o reforço de concreto, destacando a importância da utilização correta dos materiais para evitar o surgimento de sintomas patológicos e da adoção de técnicas de reforço adequada para a correção das manifestações patológicas.

Em resumo, os autores apresentados destacam a importância do estudo da área de patologia na construção civil e a necessidade da adoção de medidas preventivas e corretivas para garantir a durabilidade, a segurança e a funcionalidade das edificações, sendo que identificação precoce das manifestações patológicas e a adoção de técnicas de reforço são essenciais para evitar danos mais graves e garantir a segurança dos usuários (FRANÇA *et al.*, 2011; MITZSUZAKI *et al.*, 2019; NÓBREGA; DELGADO, 2019; NOVAES; POZNYAKOV, 2021; SOUZA, 2019; SOUZA; RIPPER, 1998). Além disso, a qualidade dos materiais utilizados na construção, a manutenção adequada e o uso correto das edificações também são fatores importantes para prevenir a ocorrência de patologias (MITZSUZAKI *et al.*, 2019; NOVAES; POZNYAKOV, 2021).

Em relação aos sintomas patológicos em estruturas de concreto armado, destacam-se manifestações como a corrosão das armaduras, a desagregação do concreto e as fissuras (NOVAES; POZNYAKOV, 2021). A avaliação das estruturas existentes e a adoção de técnicas de reforço, utilização de materiais adequados, são medidas importantes para corrigir as manifestações patológicas (SOUZA; RIPPER, 1998). A proteção das armaduras e a utilização de concreto de qualidade também são medidas preventivas que contribuem para a durabilidade das estruturas (MITZSUZAKI *et al.*, 2019; NÓBREGA; DELGADO, 2019).

Por fim, as vistorias periódicas nas edificações são fundamentais para a identificação precoce de patologias, permitindo a adoção de medidas corretivas antes que os danos se tornem mais graves (FRANÇA *et al.*, 2011; MITZSUZAKI *et al.*, 2019; NÓBREGA; DELGADO, 2019; NOVAES; POZNYAKOV, 2021; SOUZA, 2019; SOUZA; RIPPER, 1998). A patologia

na construção civil é um tema de grande relevância para a engenharia civil, pois permite a compreensão das manifestações patológicas nas construções e a identificação das suas causas, contribuindo para a garantia da segurança, durabilidade e funcionalidade das edificações

#### 4.4 Manifestações patológicas

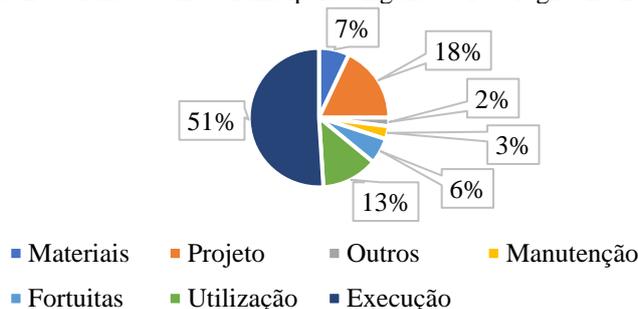
O estudo das manifestações patológicas é uma especialidade da engenharia civil que tem como objetivo identificar e compreender os problemas que afetam as construções. Segundo França *et al.* (2011), a patologia das construções abrange o estudo de defeitos, falhas e danos que comprometem a durabilidade, a estabilidade e o desempenho das edificações.

As manifestações patológicas são, portanto, problemas que afetam as construções e que podem ter diversas origens, como erros de projeto, falhas na execução, falta de manutenção, entre outras (MITZSUZAKI *et al.*, 2019; NÓBREGA; DELGADO, 2019; NOVAES; POZNYAKOV, 2021). Sendo que, esses problemas podem surgir em qualquer tipo de construção, incluindo residências, edifícios comerciais, pontes, entre outras.

Dentre as principais manifestações patológicas, destacam-se aquelas relacionadas às estruturas das construções. Mitsuzaki *et al.* (2019) mencionam que as patologias estruturais podem ter origem em diversos fatores, como erros de cálculo, falhas na execução ou falta de manutenção. Souza (2019) também apontam a importância de se compreender as patologias relacionadas à estrutura das construções, já que esses problemas podem comprometer a segurança e a estabilidade das edificações.

O estudo das patologias estruturais são um tema relevante na área, como apontado por Novaes e Poznyakov (2021). Souza (2019) sinalizam que esses sintomas patológicos podem ser causados por diversos fatores, como a carbonatação do concreto, a retração do concreto, defeitos construtivos, conforme representado na Figura 2. Souza e Ripper (1998) também discutem a importância de se compreender as patologias em estruturas de concreto armado, bem como as metodologias de controle e reforço dessas estruturas.

Figura 2 - Gráfico com as Principais Origens de Patologias no Brasil.



Fonte: Adaptado de (SILVA; JONOV, 2014 apud NOVAES; POZNYAKOV, 2021).

Além das patologias estruturais, existem outras manifestações patológicas que afetam as construções, como destacado por Ferreira e Lobão (2018). Os autores mencionam, por exemplo, as patologias relacionadas à umidade, como a infiltração de água, que podem levar a problemas como o aparecimento de mofo, ao deslocamento de revestimentos, que acontecem se tem a perda das aderências das placas cerâmicas do substrato.

Em resumo, o estudo das manifestações patológicas na construção civil é fundamental para garantir a durabilidade, a estabilidade e o desempenho das edificações, sendo que diversos fatores podem levar ao surgimento desses problemas, incluindo erros de projeto, falhas na execução e falta de manutenção (FERREIRA; LOBÃO, 2018; FRANÇA *et al.*, 2011; NÓBREGA; DELGADO, 2019; NOVAES; POZNYAKOV, 2021; SOUZA, 2019; SOUZA; RIPPER, 1998).

É importante compreender as diferentes manifestações patológicas, incluindo as relacionadas às estruturas das construções e à umidade, a fim de adotar medidas preventivas e corretivas adequadas (FERREIRA; LOBÃO, 2018). Compreender as patologias das construções é, portanto, fundamental para garantir a segurança e a qualidade das edificações, bem como para promover a sustentabilidade e a eficiência energética das construções (NÓBREGA; DELGADO, 2019; NOVAES; POZNYAKOV, 2021; REZENDE; BRITO; FREITAS, 2017; SOUZA, 2019). Sendo que, dentre as diversas manifestações patológicas que afetam as construções, as fissuras, rachaduras, trincas e fendas são problemas frequentes e preocupantes, por isso é essencial o estudo delas para garantir a segurança, a qualidade e a durabilidade das construções (MITZSUZAKI *et al.*, 2019; NOVAES; POZNYAKOV, 2021; SOUZA, 2019).

#### **4.5 Fissuras, trincas, rachaduras e fendas**

Fissuras, trincas, rachaduras e fendas são manifestações patológicas que ocorrem em construções civis e podem ter origem em diversos fatores, como carregamento excessivo, vibrações, retração do concreto, variações térmicas, movimentação do solo, entre outros (BENTO *et al.*, 2016; BENTO; PARREIRA, 2021; NÓBREGA; DELGADO, 2019).

Nóbrega e Delgado (2019) afirmam que as fissuras são aberturas lineares na superfície da estrutura, geralmente causadas por tensões excessivas. Essas aberturas podem variar em largura, profundidade e comprimento, e sua presença pode indicar falhas no projeto, execução ou manutenção da estrutura. Sendo que, a NBR 9575 (2010) faz a classificação das fissuras em

ativas e passivas e define as fissuras como aquelas com espessuras inferiores a 0,5mm, conforme demonstra a Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensionamentos das patologias.

Tipo de patologia	Dimensionamento da abertura (mm)
Fissuras	Até 0,5
Trincas	0,5 até 1,5
Rachaduras	1,5 até 5,0
Fendas	5,0 até 10,0
Brechas	Acima de 10,0

Fonte: NBR 9575 (2010).

De acordo com Bento e Parreira (2021), as fissuras, rachaduras, trincas e fendas presentes em estruturas de concreto armado podem ser responsáveis por reduzir a durabilidade e a resistência da estrutura. Os autores, ainda apontam que as possíveis causas para o surgimento dessas patologias estão relacionadas à qualidade insuficiente do concreto, à utilização inadequada da armadura, a erros de projeto ou execução, ou ainda à exposição a agentes agressivos.

Souza e Ripper (1998) afirmam que a patologia das construções é uma área de conhecimento em constante evolução, devido à complexidade e diversidade de fatores que podem afetar as estruturas. Os autores, salientam que é importante que os profissionais envolvidos no projeto, construção e manutenção de edificações estejam sempre atualizados sobre as mais recentes técnicas e tecnologias de prevenção e reparo de patologias.

Bento *et al.* (2016) destacam a importância de um adequado plano de manutenção preventiva para evitar o surgimento de fissuras, rachaduras, trincas e fendas em construções civis. Eles enfatizam que a manutenção preventiva deve ser realizada regularmente, e que as inspeções devem ser feitas por profissionais especializados, com o uso de equipamentos adequados para avaliação do estado da estrutura.

Em suma, a patologia das construções é um tema relevante para a segurança e a durabilidade das edificações, e requer o envolvimento de profissionais qualificados em todas as etapas do processo construtivo, desde o projeto até a manutenção, é importante destacar que a prevenção, o monitoramento e a correção precoce das patologias são medidas fundamentais para garantir a qualidade e a longevidade das construções civis (BENTO *et al.*, 2016; BENTO; PARREIRA, 2021; NÓBREGA; DELGADO, 2019; SOUZA; RIPPER, 1998; VALÉRIO, 2022).

## 4.6 Aprendizado de máquina

O Aprendizado de Máquina (AM) é uma área da Inteligência Artificial (IA) que utiliza técnicas estatísticas e computacionais para permitir que os sistemas aprendam com dados, sem serem explicitamente programados para isso. De acordo com Cerri e Carvalho (2017), o propósito do processo de Aprendizado de Máquina é obter conhecimento dos dados, visando à construção de modelos que permitam a previsão ou classificação de novos dados.

Stange (2011) dividem o AM em três categorias de aprendizagem: aprendizado supervisionado, não supervisionado e semissupervisionado. No aprendizado supervisionado, o modelo é treinado com exemplos de entrada e saída correspondentes, para que possa aprender a fazer previsões para novos exemplos. No aprendizado não supervisionado, o modelo é treinado com exemplos apenas de entrada, e o objetivo é encontrar padrões ou agrupamentos nos dados. Já no aprendizado semissupervisionado, o modelo é treinado a partir da combinação dos modelos anteriores (STANGE, 2011).

Cerri e Carvalho (2017) destacam que o AM tem sido aplicado em diversas áreas, como medicina, finanças, comércio eletrônico e marketing, por exemplo. Na medicina, o AM tem sido usado para auxiliar na tomada de decisão clínica, por exemplo, na identificação de doenças em imagens médicas. Na área financeira, o AM tem sido usado para prever o comportamento do mercado financeiro e para detectar fraudes em transações bancárias. No comércio eletrônico e marketing, o AM tem sido usado para recomendar produtos aos usuários com base em seus históricos de compras ou navegação na web (CERRI; CARVALHO, 2017; MONARD; BARANAUSKAS, 1999; STANGE, 2011).

Stange (2011) destaca que a adaptatividade é uma característica importante do AM, que permite que os modelos sejam atualizados com novos dados, de forma a melhorar sua performance ao longo do tempo. A autora destaca que a adaptatividade pode ser alcançada de diversas formas, como por exemplo, através da inclusão de novos exemplos de treinamento, ajuste de parâmetros ou até mesmo pela troca de algoritmos de aprendizado.

A área do Aprendizado de Máquina está sempre em desenvolvimento e tem sido extensivamente utilizada em várias áreas. Cerri e Carvalho (2017), Monard e Baranauskas (1999) e Stange (2011) apresentam diferentes abordagens e conceitos sobre o AM, enfatizando a importância do pré-processamento dos dados, escolha do algoritmo de aprendizado e avaliação do modelo para o sucesso da aplicação do AM. Além disso, destacam que a adaptatividade é uma característica essencial para garantir a performance do modelo ao longo do tempo.

Em suma, o AM tem um papel fundamental no processamento de dados e na geração de modelos que permitem a previsão e classificação de novos dados. Com a constante evolução da tecnologia e a crescente demanda por soluções inteligentes em diversas áreas, é esperado que o AM continue a desempenhar um papel cada vez mais importante na tomada de decisão e na resolução de problemas complexos (CERRI; CARVALHO, 2017; MONARD; BARANAUSKAS, 1999; STANGE, 2011).

#### 4.6.1 Inteligência artificial

A inteligência artificial (IA) é uma área da computação que tem ganhado cada vez mais espaço em diferentes campos do conhecimento, incluindo a construção civil. A aplicação da IA na construção civil pode trazer benefícios como a redução de custos, aumento da eficiência, e melhoria da segurança. No entanto, há também preocupações com relação à substituição de trabalhadores por máquinas, e os possíveis impactos sociais e econômicos decorrentes dessa substituição.

A IA é um ramo da computação que se dedica a criar algoritmos e sistemas capazes de realizar tarefas que antes só eram possíveis para seres humanos, como o reconhecimento de voz, a visão computacional, e a tomada de decisões (GOMES, 2010; LUDERMIR, 2021).

A aplicação da IA tem crescido em diferentes setores, como a saúde, a indústria automobilística, a construção civil, e na área jurídica (LUDERMIR, 2021). A IA também pode ser utilizada para a análise de processos e classificá-los na área jurídica (GOMES, 2010; SILVA; MAIRINK, 2019; TEIXEIRA; TEIXEIRA SANTOS; ROCHA, 2020).

O estado atual da IA e do aprendizado de máquina é marcado pelo grande volume de dados disponíveis e pela evolução dos algoritmos de aprendizado de máquina, que têm se tornado cada vez mais sofisticados, sendo que, esses avanços têm possibilitado a criação de sistemas de IA capazes de realizar tarefas complexas com alto grau de precisão (GOMES, 2010; LUDERMIR, 2021; SILVA; MAIRINK, 2019). No entanto, Ludermir (2021) também alerta para a importância de se considerar as questões éticas envolvidas na aplicação da IA, como a privacidade dos dados e a segurança dos sistemas.

Um estudo prospectivo realizado por Teixeira *et al.* (2020) analisou as tendências de aplicação da IA na construção civil nos próximos anos. Além disso, eles destacam a importância de se investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de IA para a construção civil, a fim de se obter melhores resultados e aumentar a eficiência do setor.

As principais áreas de aplicação da IA na construção civil serão o gerenciamento de projetos, a previsão de riscos, e a análise de dados para tomada de decisões, sendo que, deve-se notar também a importância de se considerar os impactos sociais e econômicos da aplicação da IA na construção civil, como a necessidade de adaptação dos trabalhadores às novas tecnologias, e a possibilidade de aumento da desigualdade social em decorrência da substituição de trabalhadores por máquinas (GOMES, 2010; LUDERMIR, 2021; SILVA; MAIRINK, 2019; TEIXEIRA; TEIXEIRA SANTOS; ROCHA, 2020).

Em suma, a aplicação da inteligência artificial na construção civil apresenta diversas possibilidades de melhoria no setor, como a redução de custos, aumento da eficiência e melhoria da segurança. No entanto, há também preocupações com relação aos possíveis impactos sociais e econômicos decorrentes da substituição de trabalhadores por máquinas. É importante, portanto, que as empresas e instituições do setor estejam atentas às questões éticas e sociais envolvidas na aplicação da IA na construção civil, e que sejam promovidas ações de capacitação e treinamento dos trabalhadores para a utilização das novas tecnologias (GOMES, 2010; LUDERMIR, 2021; SILVA; MAIRINK, 2019; TEIXEIRA; TEIXEIRA SANTOS; ROCHA, 2020).

#### 4.6.2 Redes Neurais Artificiais e Rede Neurais Convolucionais

As redes neurais artificiais são compostas por algoritmos e técnicas que se inspiram no funcionamento do cérebro humano para executar tarefas desafiadoras. Essas redes consistem em neurônios artificiais interligados, responsáveis por processar dados de entrada e produzir resultados. Seu uso abrangente é observado em diversos campos, incluindo medicina, engenharia, robótica e inteligência artificial, sendo objeto de investigação por parte de numerosos pesquisadores (FLECK *et al.*, 2016; RAUBER, 2014; SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2012; VARGAS; PAES; VASCONCELOS, 2016; WAZIRI; BALA; BUSTANI, 2017).

Fleck *et al.* (2016) destaca que as redes neurais artificiais são especialmente úteis em tarefas que exigem a capacidade de aprendizado e generalização, ou seja, a capacidade de reconhecer padrões em dados de entrada e aplicar esse conhecimento a novos dados. Para Raubert (2014), a arquitetura das redes neurais artificiais pode ser organizada em camadas, como a camada de entrada, a camada oculta e a camada de saída, e cada camada pode ter diferentes funções e características.

As redes neurais convolucionais são um tipo especial de redes neurais que têm obtido sucesso em tarefas de visão computacional, como reconhecimento de imagens, detecção de objetos e segmentação de imagens. Elas são compostas por camadas convolucionais, que aplicam uma convolução entre a entrada e um conjunto de filtros aprendidos, camadas de *pooling*, que reduzem a dimensão dos dados e aumentam a robustez da rede, e camadas totalmente conectadas, que realizam a classificação final (FERREIRA, 2017; JURASZEK, 2014; VARGAS; PAES; VASCONCELOS, 2016).

As redes neurais convolucionais têm se mostrado especialmente úteis em tarefas de detecção de objetos, como a detecção de pedestres, pois permitem que a rede aprenda automaticamente características importantes da imagem, como bordas e texturas, sem a necessidade de extração manual de características (FERREIRA, 2017; JURASZEK, 2014; VARGAS; PAES; VASCONCELOS, 2016). Vargas *et al.* (2016) realizaram um estudo sobre a aplicação de redes neurais convolucionais na detecção de pedestres, e concluíram que as redes neurais convolucionais apresentam um desempenho superior em relação a outros métodos tradicionais de detecção de objetos.

Dessa forma, é possível afirmar que as redes neurais convolucionais têm se destacado como uma técnica promissora para a execução de tarefas de visão computacional, incluindo a detecção de objetos. Além disso, muitos pesquisadores têm se dedicado a aprimorar tanto a arquitetura quanto o desempenho dessas redes, a fim de otimizar sua aplicação em diferentes contextos.

#### 4.6.3 Aplicação de redes convolucionais

As redes neurais convolucionais (CNNs) são um tipo de rede neural artificial que são especialmente adequadas para o processamento de imagens. Elas são capazes de aprender automaticamente padrões em dados de entrada, e são altamente eficazes em tarefas de visão computacional, como classificação de imagens, detecção de objetos e segmentação semântica características (CUNHA, 2020; FERREIRA, 2017; JURASZEK, 2014; VARGAS; PAES; VASCONCELOS, 2016).

Redes neurais artificiais são sistemas computacionais compostos por neurônios artificiais que são capazes de aprender a partir de exemplos e, posteriormente, realizar tarefas de classificação, previsão e reconhecimento de padrões (FLECK *et al.*, 2016; RAUBER, 2014; SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2012). Fleck *et al.* (2016) destacam que o funcionamento das

redes neurais artificiais é inspirado na estrutura e funcionamento do cérebro humano, em que as conexões entre os neurônios são responsáveis por processar as informações.

Silva *et al.* (2012) afirmam que as redes neurais artificiais são utilizadas em diversas áreas, incluindo engenharia e ciências aplicadas, sendo capazes de solucionar problemas complexos, tais como a análise de imagens e o reconhecimento de padrões em dados multidimensionais.

No contexto de detecção de objetos, Vargas *et al.* (2016) mostram que as CNNs têm sido amplamente utilizadas, especialmente em tarefas de detecção de pedestres em imagens. Segundo os autores, as CNNs são capazes de aprender características como bordas, formas e partes do corpo humano que são importantes para a detecção de objetos.

Juraszek (2014) destaca a utilização de CNNs na tarefa de reconhecimento de produtos por imagem, utilizando palavras visuais como entrada para a rede neural. Ferreira (2017) apresenta um estudo de caso de detecção de plantas daninhas em lavoura de soja, utilizando uma CNN para identificar as plantas nas imagens.

Por fim, Cunha (2019) realiza uma revisão bibliográfica sobre o uso de CNNs na tarefa de segmentação de imagens, mostrando que as CNNs são capazes de segmentar imagens em regiões semanticamente significativas, tornando-se uma importante ferramenta em aplicações de visão computacional.

Em suma, os artigos consultados mostram que as CNNs são uma ferramenta poderosa em aplicações de visão computacional, incluindo classificação, detecção de objetos e segmentação semântica. As CNNs são capazes de aprender padrões complexos em dados de entrada e oferecem resultados precisos e consistentes em uma variedade de aplicações (CUNHA, 2020; FERREIRA, 2017; JURASZEK, 2014; VARGAS; PAES; VASCONCELOS, 2016).

#### 4.6.4 Segmentação semântica

A segmentação semântica é uma técnica de processamento de imagens que tem sido muito utilizada em diversas aplicações, como robótica, diagnóstico médico, agricultura de precisão, entre outras. Esse método consiste em classificar cada pixel de uma imagem em uma das categorias de interesse, geralmente definidas por cores ou rótulos específicos. Existem várias abordagens para realizar a segmentação semântica, incluindo métodos baseados em regras, aprendizado de máquina e *deep learning* (BARBOSA; OSÓRIO, 2021; CARDOSO, 2020; CUNHA, 2020; OLIVEIRA, 2021).

Em um estudo comparativo realizado por Barbosa e Osório (2021), foram avaliados três métodos de *deep learning* aplicados à segmentação semântica de obstáculos, zonas seguras e não seguras para navegação a partir de dados RGB-D. Os métodos utilizados foram a *SegNet*, a *Fully Convolutional Network* (FCN) e a *Pix2Pix* (GAN). Os resultados mostraram que a *Pix2Pix* (GAN) teve o melhor desempenho entre os três métodos.

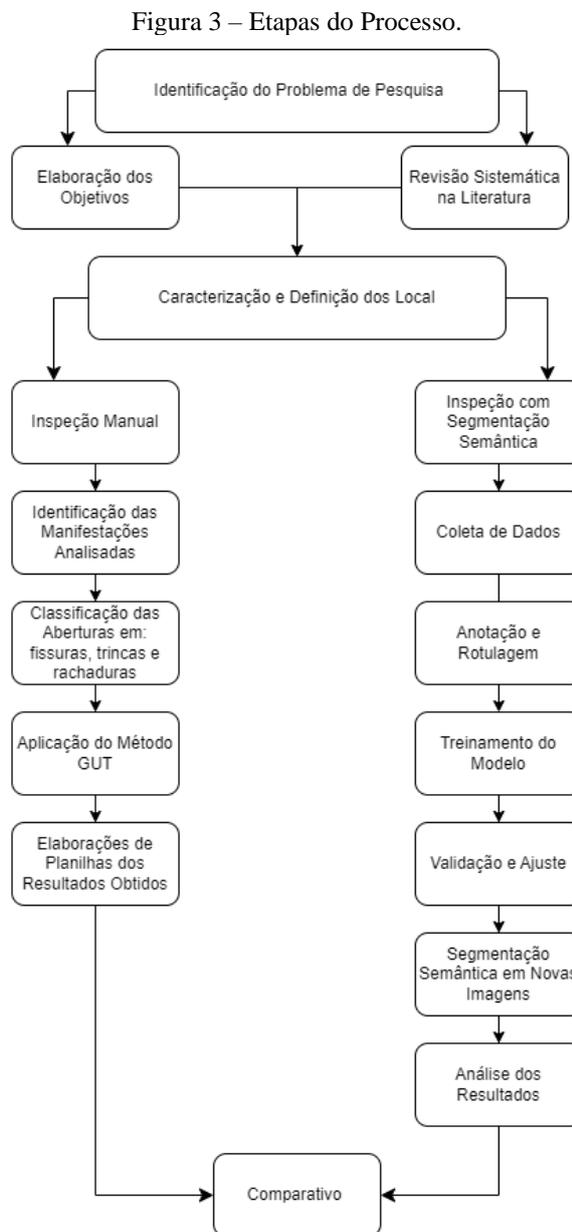
Em outro estudo, Cardoso (2020) utilizou redes neurais convolucionais para realizar a segmentação de veias do pulso em imagens médicas. Por fim, Oliveira (2021) propôs uma metodologia de fusão de dados usando aprendizado profundo para segmentação semântica de usos do solo na Amazônia.

Portanto, os estudos apresentados mostram que o uso de técnicas de *deep learning* para a segmentação semântica pode melhorar significativamente a precisão e eficiência em diferentes aplicações. A escolha da arquitetura da rede e dos dados utilizados são fatores importantes para obter resultados precisos. Além disso, é importante salientar que a segmentação semântica é uma técnica em constante evolução, e novas abordagens e métodos estão sendo propostos continuamente na literatura científica (BARBOSA; OSÓRIO, 2021; CARDOSO, 2020; CUNHA, 2020; OLIVEIRA, 2021).

## 5 METODOLOGIA

Neste trabalho, adotou-se a classificação proposta por Gerhardt e Silveira (2009) para categorizar a pesquisa com base na abordagem (qualitativa e quantitativa), natureza (aplicada), objetivos (descritiva) e procedimentos adotados (métodos bibliográficos, documentais e estudo de caso). Espera-se que essa pesquisa contribua para o avanço do conhecimento na área, fornecendo uma compreensão abrangente do fenômeno estudado.

O fluxograma na Figura 3 mostra do processo de esquematização de toda a metodologia.



Fonte: Autor (2023).

## 5.1 Identificação do Problema de Pesquisa

A identificação adequada do problema de pesquisa é um passo crucial na elaboração de um trabalho científico de qualidade. Através dessa etapa, definiu-se o escopo do estudo, estabeleceu-se os objetivos e justificou-se a relevância do tema a ser investigado. Neste capítulo, apresentou-se a metodologia adotada para identificar o problema de pesquisa deste trabalho, detalhando as etapas envolvidas e os critérios utilizados na seleção do tema.

### *Etapa 1: Exploração Preliminar*

A primeira etapa consistiu em realizar uma exploração preliminar sobre diversas áreas do conhecimento que despertaram interesse. Nessa fase, o pesquisador buscou entender as lacunas existentes na literatura, identificando temas pouco explorados ou questões controversas que pudessem ser abordadas de forma inovadora. A consulta a livros, artigos científicos, periódicos especializados e outras fontes relevantes de informação foi fundamental para ampliar o conhecimento sobre diferentes tópicos.

### *Etapa 2: Revisão Bibliográfica*

Uma vez realizada a exploração preliminar, partiu-se para uma revisão bibliográfica mais aprofundada. Nessa etapa, o pesquisador buscou compreender as principais teorias, conceitos e debates relacionados aos temas identificados anteriormente. A revisão bibliográfica foi uma ferramenta valiosa para contextualizar o problema de pesquisa, fornecendo embasamento teórico e contribuindo para a definição dos objetivos da investigação.

### *Etapa 3: Definição dos Critérios de Seleção*

Com base nas informações obtidas nas etapas anteriores, foi necessário estabelecer critérios de seleção para identificar o problema de pesquisa mais adequado. Esses critérios puderam incluir a relevância social, a originalidade, a viabilidade de investigação e a disponibilidade de recursos necessários para a realização do estudo. Foi importante ressaltar que a definição dos critérios deveria estar alinhada com os objetivos do trabalho e com a área de estudo em que se inseria.

### *Etapa 4: Análise e Seleção do Problema de Pesquisa*

Nesta etapa, o pesquisador analisou e avaliou os temas identificados, aplicando os critérios previamente definidos. Foi importante realizar uma análise crítica das opções disponíveis, levando em consideração a originalidade e a relevância do problema de pesquisa. A seleção final foi feita com base na combinação dos critérios estabelecidos e na avaliação do potencial de contribuição do estudo para o avanço do conhecimento na área em questão.

A identificação do problema de pesquisa é um processo complexo e fundamental para o desenvolvimento de um trabalho científico consistente. Através da exploração preliminar, revisão bibliográfica, definição dos critérios de seleção e análise criteriosa das opções, o pesquisador pôde identificar um problema de pesquisa relevante e original. Essa etapa inicial foi essencial para orientar todas as fases subsequentes do trabalho, desde a delimitação dos objetivos até a coleta e análise dos dados. Portanto, a metodologia adotada na identificação do problema de pesquisa foi crucial para garantir a qualidade e a contribuição do estudo científico.

## **5.2 Elaboração dos objetivos**

A definição clara e precisa dos objetivos é uma etapa crucial no desenvolvimento de qualquer trabalho acadêmico, incluindo um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Os objetivos fornecem a base e a direção para a pesquisa, estabelecendo as metas a serem alcançadas e orientando o desenvolvimento do estudo. Nesta seção, descreveu-se o processo de elaboração dos objetivos utilizados neste trabalho, destacando as etapas percorridas e as considerações feitas.

Inicialmente, a revisão da literatura desempenhou um papel fundamental na definição dos objetivos. Uma análise abrangente e aprofundada de estudos relevantes e trabalhos anteriores foi conduzida. Essa revisão permitiu uma compreensão aprofundada do campo de estudo, identificando lacunas no conhecimento existente e oportunidades para contribuir com novos insights. Com base nessa revisão, foram estabelecidas as bases conceituais para a formulação dos objetivos.

Posteriormente, foi realizada uma análise minuciosa do problema de pesquisa. Com base nos conhecimentos adquiridos na revisão da literatura e nas discussões com orientadores e especialistas na área, foram identificadas as principais questões a serem abordadas. Essas questões foram então traduzidas em objetivos específicos, que refletiam os aspectos centrais a serem investigados e as respostas buscadas.

Para garantir a clareza e a mensurabilidade dos objetivos, foram considerados critérios específicos. Cada objetivo foi formulado de forma precisa e concisa, evitando ambiguidades ou declarações vagas. Além disso, foram estabelecidos indicadores e métricas para avaliar o progresso e o sucesso na realização dos objetivos. Esses indicadores forneceram uma base sólida para a mensuração e a análise dos resultados obtidos.

Uma vez definidos os objetivos iniciais, eles foram submetidos a uma revisão crítica. Esse processo envolveu uma análise cuidadosa para garantir que os objetivos fossem coerentes

com a problemática em estudo e estivessem alinhados com a estrutura teórica e metodológica adotada. Adicionalmente, foram levadas em consideração as restrições de tempo e recursos disponíveis para a realização do trabalho, garantindo que os objetivos fossem realistas e factíveis.

Por fim, os objetivos foram apresentados de forma hierárquica, estabelecendo uma ordem lógica de prioridades. Os objetivos gerais foram desdobrados em objetivos específicos, detalhando as etapas necessárias para alcançar cada um deles. Essa hierarquia de objetivos permitiu uma abordagem estruturada do trabalho, orientando a organização e a execução da pesquisa.

Em resumo, a elaboração dos objetivos neste TCC seguiu um processo sistemático e cuidadoso. A revisão da literatura, a análise do problema de pesquisa, a definição de critérios, a revisão crítica e a hierarquização foram as etapas-chave desse processo. A clareza, a precisão e a mensurabilidade foram elementos fundamentais considerados na formulação dos objetivos. Essa abordagem garantiu que os objetivos estivessem alinhados com o propósito do estudo e forneceram uma base sólida para o desenvolvimento da pesquisa.

### **5.3 Revisão Bibliográfica**

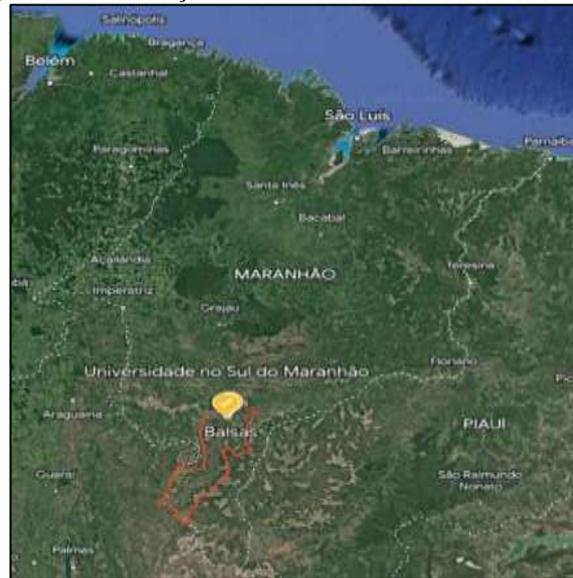
Nesta seção demonstrou-se como foram obtidos os resultados da revisão bibliográfica do trabalho em relação a segmentação semântica. Todas as pesquisas da revisão bibliográfica foram feitas nas bases de dados Periódico Capes, *Scielo* Brasil e Google Acadêmico.

Foram levados em consideração para a quantificação dos resultados somente as primeiras duas páginas de pesquisas. Sendo que, primeiramente buscou-se resultados sem filtros, para as palavras chaves segmentação semântica e segmentação semântica e construção civil, depois usou-se dois filtros, sendo o primeiro a leitura do título e o segundo leitura do resumo.

### **5.4 Caracterização e Definição dos Locais**

A escolha do local onde foi realizado o estudo foi aspecto crucial da pesquisa. Nesse sentido, optou-se por uma universidade no sul do Maranhão. A universidade está localizada na cidade de Balsas no Maranhão, conforme Figura 4.

Figura 4 – Localização da Universidade no Sul do Maranhão.



Fonte: Google Earth (2023).

Dessa forma, a Universidade localizada na cidade de Balsas-MA apresenta-se como um ambiente propício para a realização do estudo em questão, oferecendo a infraestrutura e o ambiente acadêmico necessários para o desenvolvimento da pesquisa. Ressalta-se que a instituição forneceu a autorização para o estudo. Esse campus universitário é composto por três prédios, sendo eles o pedagógico, o administrativo e dos laboratórios, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Fachadas da Universidade Estudada.

Fachada do Prédio do Pedagógico.	Fachada do Prédio do Administrativo.	Fachada Prédio dos Laboratórios.
		

Fonte: Autor (2023).

A seleção da instituição como objeto de estudo se deve à sua condição de um campus relativamente recente. A construção do campus teve início em 2013 e foi concluída em 2020. É importante ressaltar que a obra desse campus ficou muito tempo parada. Apesar de ser uma estrutura nova, já é possível observar uma variedade de manifestações patológicas em suas edificações, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 – Exemplos de Manifestações Patológicas Encontradas.

Manifestações Patológicas 1.	Manifestações Patológicas 2.	Manifestações Patológicas 3.
		
Manifestações Patológicas 4.	Manifestações Patológicas 5.	Manifestações Patológicas 6.
		

Fonte: Autor (2023).

## 5.5 Inspeção Manual

Os Ensaios Não Destrutivos (END) desempenham um papel crucial na detecção, análise e avaliação de fissuras, trincas, rachaduras e fendas em materiais e estruturas. Esses métodos fornecem informações importantes sobre o tamanho, extensão e características das falhas, sem comprometer a integridade dos materiais.

A escolha da inspeção manual como método de avaliação das fissuras foi baseada em sua eficácia na identificação e caracterização dessas falhas. A inspeção manual permite um exame minucioso e detalhado, possibilitando a observação direta das fissuras e a coleta de informações visuais. Além disso, a inspeção manual é relativamente simples de ser realizada, sendo amplamente utilizada em diversos contextos de análise de fissuras.

Dentre as ferramentas utilizadas na inspeção manual, optou-se pelo paquímetro analógico devido à sua precisão e versatilidade na medição de dimensões lineares. O paquímetro analógico é especialmente útil para medir a largura das fissuras, permitindo uma avaliação quantitativa da abertura das falhas. Ao posicionar as mandíbulas do paquímetro nas extremidades da fissura, obtém-se uma medida precisa, facilitando o monitoramento e a análise da evolução das fissuras ao longo do tempo.

A verificação e diferenciação das aberturas das fissuras são etapas fundamentais na análise de sua severidade e risco de propagação. Os ensaios com paquímetro possibilitam medir

com precisão a abertura das fissuras, fornecendo dados quantitativos para a avaliação. Através desses ensaios, é possível monitorar o comportamento das fissuras ao longo do tempo e verificar se há aumento ou estabilidade da abertura. Isso auxilia na identificação de rachaduras críticas que podem comprometer a segurança das estruturas. Além disso, a diferenciação das aberturas das fissuras permite distinguir falhas superficiais de fissuras mais profundas, facilitando o planejamento de intervenções adequadas.

A Norma de Inspeção Predial - ABNT NBR 16747 (ABNT, 2020) é um documento técnico que estabelece os requisitos e diretrizes para a realização de inspeções em edificações. Essa norma tem como objetivo garantir a segurança, a durabilidade e o desempenho das construções, por meio da identificação e avaliação das condições físicas, funcionais e de manutenção dos imóveis.

A NBR 16747 (ABNT, 2020) abrange diversos aspectos, como a definição do escopo da inspeção, a qualificação dos profissionais envolvidos, os critérios de avaliação das manifestações patológicas, a elaboração de relatórios técnicos e o estabelecimento de diretrizes para a gestão da manutenção predial. Essa norma é fundamental para orientar e padronizar o processo de inspeção predial, contribuindo para a detecção precoce de problemas e a implementação de medidas corretivas adequadas.

A utilização da NBR 16747 (ABNT, 2020) como referência metodológica proporciona maior confiabilidade e consistência nas avaliações das edificações, auxiliando na tomada de decisões e na promoção da segurança e qualidade das construções.

O diagnóstico das dez manifestações ocorreu por meio de inspeção manual no dia 26 de maio de 2023, seguindo as diretrizes da Norma de Inspeção Predial - ABNT NBR 16747:2020.

Para a realização da inspeção manual, foram necessários os seguintes materiais e ferramentas:

- Paquímetro;
- Massa corrida;
- Espátula;
- Escada;
- Régua;
- Trena;
- Equipamentos para registro fotográfico;
- Papel e lápis para anotações.

Esses recursos foram utilizados para apoiar o processo de inspeção, registro e documentação das fissuras encontradas, garantindo uma abordagem sistemática e precisa na coleta de dados.

Essa combinação de inspeção manual com o uso do paquímetro e outros materiais e ferramentas adequadas proporcionou uma abordagem abrangente e confiável para a análise das fissuras, permitindo uma avaliação precisa de sua abertura, evolução e características.

## **5.6 Identificação das Manifestações Analisadas**

Neste tópico, abordou-se o processo metodológico utilizado para a seleção das 10 manifestações patológicas, especificamente fissuras, trincas, rachaduras e fendas, que serão analisadas no presente trabalho. A escolha dessas manifestações foi baseada em critérios específicos, levando em consideração fatores como localização, possibilidade de riscos, visibilidade e tamanho.

A identificação das manifestações patológicas a serem analisadas é um passo crucial para o desenvolvimento de um estudo efetivo e representativo. Para garantir a abrangência e relevância dos resultados, foram adotados os seguintes critérios:

*Localização:* Foi dada prioridade à seleção de manifestações que abrangessem diferentes partes da estrutura em estudo. Isso incluiu áreas externas e internas, superfícies horizontais e verticais, bem como elementos estruturais específicos, como lajes, pilares e vigas. Essa abordagem permitiu uma compreensão mais ampla das manifestações patológicas em diferentes contextos e suas possíveis causas.

*Possibilidade de riscos:* Considerou-se a existência de manifestações patológicas que representassem algum tipo de risco potencial para a integridade estrutural, a segurança dos ocupantes ou a funcionalidade da edificação. Dessa forma, foram selecionadas manifestações que variam em termos de severidade e probabilidade de agravamento, para que possam ser avaliadas quanto à sua criticidade e impacto.

*Visibilidade:* A visibilidade das manifestações patológicas foi um fator determinante na seleção das mesmas. Optou-se por incluir manifestações que fossem facilmente perceptíveis visualmente, tanto a olho nu quanto por meio de instrumentos de inspeção comuns. Isso permitiu uma análise mais precisa e detalhada das características das fissuras, trincas, rachaduras e fendas selecionadas.

*Tamanho:* A dimensão das manifestações patológicas também foi considerada durante o processo de seleção. Buscou-se incluir fissuras, trincas, rachaduras e fendas de diferentes

tamanhos, desde pequenas aberturas até extensões maiores. Essa diversidade permitiu examinar a relação entre o tamanho das manifestações e suas características, além de possibilitar a comparação de diferentes cenários.

Ao aplicar esses critérios de seleção, foram identificadas 10 manifestações patológicas para serem analisadas neste trabalho. Cada uma delas atendeu aos requisitos estabelecidos, garantindo uma amostra representativa das principais manifestações patológicas do tipo fissuras, trincas, rachaduras e fendas. Essa seleção cuidadosa permitiu uma análise aprofundada das características, causas e impactos dessas manifestações na estrutura em estudo.

É importante ressaltar que a escolha dessas 10 manifestações não esgota todas as possíveis manifestações patológicas, mas busca oferecer uma base sólida e relevante para o desenvolvimento da pesquisa. Através dessa abordagem metodológica, espera-se contribuir para o entendimento e aprimoramento da análise e diagnóstico de fissuras, trincas, rachaduras e fendas em estruturas, fornecendo insights valiosos para a área da engenharia civil.

### **5.7 Emprego da Metodologia GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) e Classificação das Manifestações**

Para o controle do monitoramento das fissuras, trincas, rachaduras e fendas identificadas, utilizou-se a metodologia GUT. A aplicação da metodologia envolveu os seguintes passos:

- 1) Gravidade: Foi atribuída uma nota para cada problema identificado, considerando a gravidade dos danos causados pelas fissuras, rachaduras e trincas. A nota foi determinada com base na extensão das fissuras, na localização em áreas críticas da estrutura, na amplitude dos deslocamentos, entre outros fatores relevantes.
- 2) Urgência: Foi avaliada a urgência para resolução de cada problema, considerando os riscos envolvidos e a possibilidade de agravamento das condições. A urgência pôde ser determinada considerando prazos, impacto na segurança da estrutura e prioridades estabelecidas.
- 3) Tendência: Foi analisada a tendência de evolução dos problemas, levando em conta fatores como a taxa de crescimento das fissuras, trincas, rachaduras e fendas. Essa análise permitiu identificar a necessidade de ações imediatas ou monitoramento contínuo.

Segundo Periard (2011 *apud* BRITO, 2017), é recomendado estabelecer a atribuição de valores com base nos critérios apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Critérios de Pontuação.

Nota	Gravidade	Urgência	Tendência
5	Extremamente grave	Precisa de ação imediata	Irá piorar rapidamente
4	Muito grave	É urgente	Irá piorar em pouco tempo
3	Grave	O mais rápido possível	Irá piorar
2	Pouco grave	Pouco urgente	Irá piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não irá mudar

Fonte: Periard (2011 *apud* BRITO, 2017).

Essa análise foi realizada pelo discente, que utilizou os critérios pré-definidos na Tabela 6 para atribuir notas de gravidade, urgência e tendência para cada problema identificado.

Para organizar as informações obtidas a partir das manifestações patológicas analisadas, elaborou-se uma planilha contendo os dados referentes às manifestações e suas classificações, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Matriz de Diagnóstico.

Número	Imagem da Manifestação	Descrição por inspeção visual	Tamanho da Abertura				Profundidade da Abertura	Classificação	Tempo	Terapêutica Adequada
			Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média				
1										
2										
...										

Fonte: Autor (2023).

Em seguida a organização dos dados, as manifestações foram analisadas através do Método GUT, para isso foi elaborada uma planilha para realizar a aplicação do método, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Matriz de aplicação do método GUT

Número	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	GUT	Grau de Priorização
1					
2					
...					

Fonte: Autor (2023).

A partir dos resultados obtidos na matriz de diagnóstico foi elabora um gráfico com a demonstração de como ficaram classificadas as dez manifestações analisadas.

## 5.8 Segmentação Semântica

O controle de fissuras, trincas, rachaduras e fendas por segmentação semântica é uma técnica utilizada para identificar e monitorar essas aberturas em estruturas por meio da análise de imagens. A segmentação semântica é uma tarefa de visão computacional que envolve a divisão de uma imagem em regiões ou objetos semânticos distintos. Aqui está um resumo do método de controle delas por segmentação semântica:

### 1) Coleta de dados:

No processo de coleta de dados tivemos dois tipos de dados, sendo o primeiro o banco de dados público que foi utilizado para treinamento da rede neural artificial e o segundo as imagens que foram coletadas *in loco* na universidade estudada.

Capturaram-se imagens da estrutura que serão analisadas, que foram utilizadas para a análise do objeto de estudo de caso. Utilizou-se um celular para obter imagens claras e detalhadas das fissuras, trincas, rachaduras e fendas presentes.

Para a obtenção do banco de dados com diferentes imagens de fissuras, trincas, rachaduras e fendas, buscou-se na internet um banco de dados públicos disponíveis para utilização de forma gratuita.

O conjunto de dados escolhido foi obtido de uma fonte confiável, o *Mendeley Data* (ÖZGENEL, 2018), e engloba uma variedade de imagens representando concreto com rachaduras. Essas imagens foram coletadas de diferentes edifícios localizados no campus da instituição METU. O conjunto de dados foi cuidadosamente categorizado em duas classes distintas, sendo elas imagens de fissuras negativas e positivas, servindo como base para a classificação das imagens. Cada classe contém uma quantidade significativa de imagens, totalizando 20.000 imagens por categoria, totalizando assim um conjunto robusto de 40.000 imagens no formato de  $227 \times 227$  pixels, com canais RGB. É importante destacar que o processo de geração dessas imagens foi realizado a partir de um método específico, proposto por Zhang *et al.* (2016) o qual se baseou em 458 imagens de alta resolução ( $4032 \times 3024$  pixels). Essas imagens de alta resolução apresentam variações no que diz respeito ao acabamento da superfície e às condições de iluminação. É relevante mencionar que nenhum tipo de técnica de aumento de dados, como rotação aleatória ou inversão, foi aplicada durante o processo de criação desse conjunto de dados.

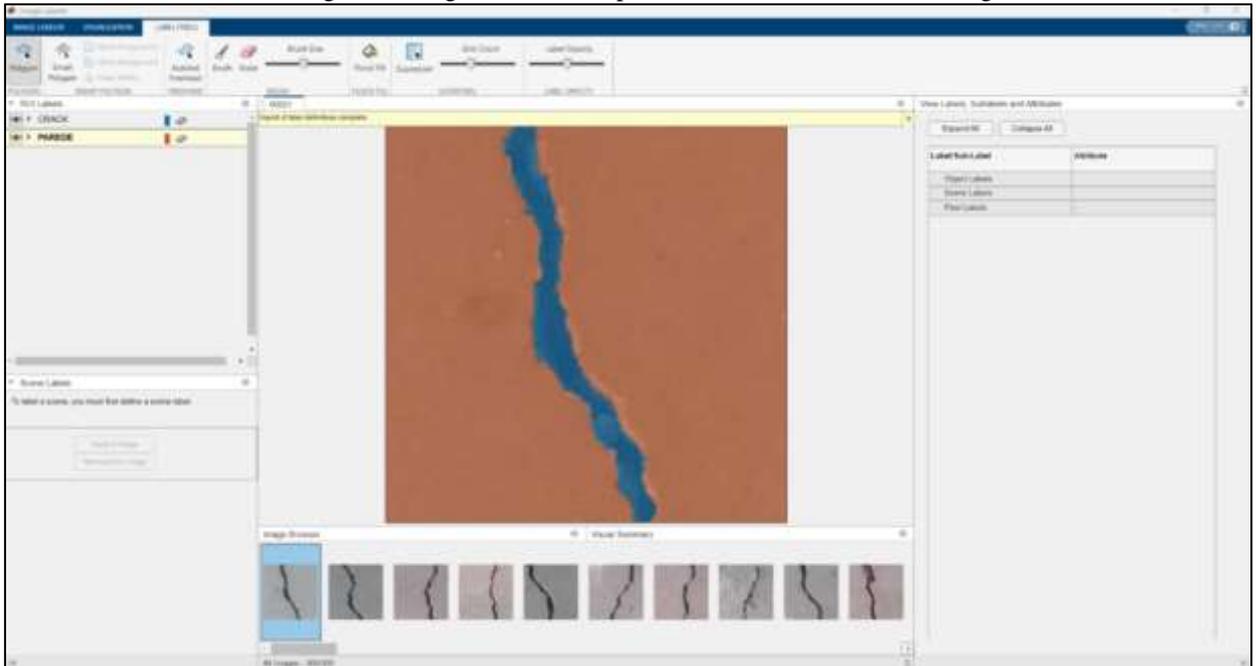
Do conjunto de dados mencionado, foram selecionadas 300 imagens da classe positiva, as quais foram devidamente etiquetadas e empregadas no treinamento da rede neural. É importante ressaltar que foram escolhidas somente 300 imagens em virtude do pouco tempo, pois, é necessária uma maior quantidade de tempo para rotular mais imagens.

### 2) Anotação e rotulagem:

Realizou-se a anotação manual das imagens, destacando as áreas correspondentes às fissuras, trincas, rachaduras e fendas e partes que não as tenha. Essa etapa foi importante para criar um conjunto de dados rotulados que serviu como referência para o treinamento do algoritmo de segmentação.

A rotulagem refere-se ao processo de marcação das fissuras e das partes nas quais não há fissuras nas imagens utilizadas para treinar e avaliar o modelo de segmentação semântica. Essa etapa envolve a atribuição de rótulos ou máscaras *pixel a pixel* para indicar quais áreas correspondem às fissuras e quais áreas não estão relacionadas a elas. Para a realização da rotulagem foi utilizado o *software Matlab* versão educacional, conforme demonstrado nas figuras (Figura 5, Figura 6, Figura 7) a seguir.

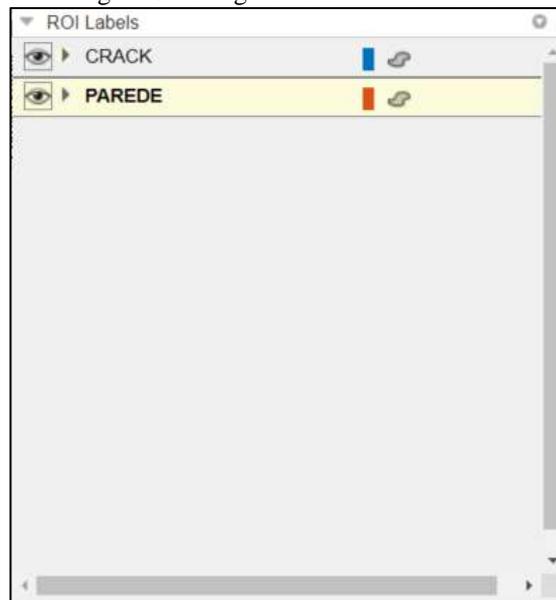
Figura 5 – Página inicial do aplicativo onde é realizado a rotulagem.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 5 é demonstrada a página inicial do aplicativo do *Matlab* utilizado para executar a rotulagem, esse aplicativo é chamado de *Image Labeler*.

Figura 6 – Imagem do local das classes.

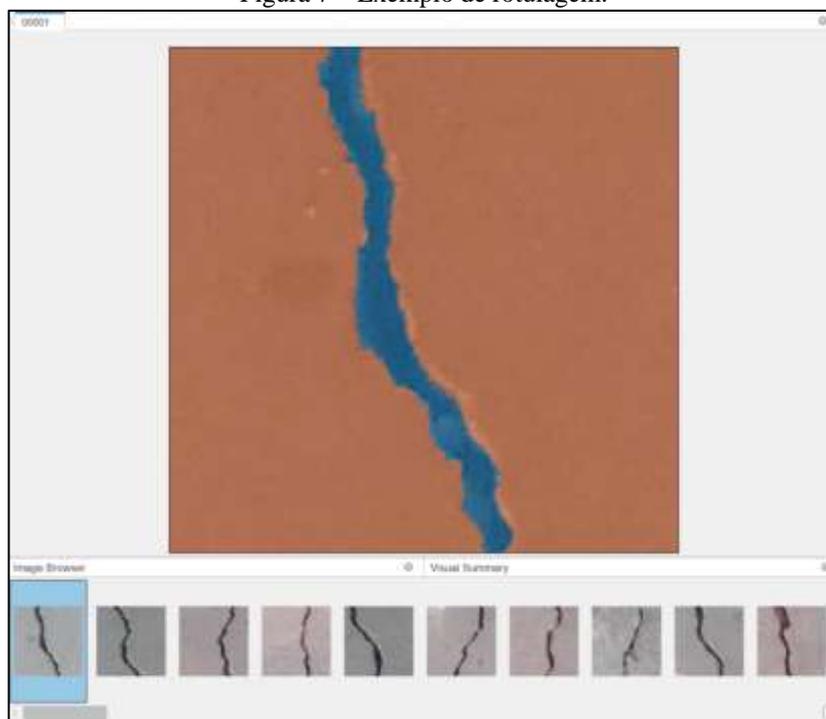


Fonte: Autor (2023).

Na Figura 6 nos é apresentado o local no aplicativo *Image Labeler* onde ficam localizadas as classes de rotulagem criadas. Sendo que, para este trabalho foram criadas duas classes, uma chamada “*CRACK*” que é referente as fissuras, rachaduras, trincas e fendas e que tem a cor azul. Já a segunda classe foi nomeada “*PAREDE*” e que se refere as partes onde não há fissuras, rachaduras, trincas e fendas e que tem a cor laranja.

Na Figura 7 nos é apresentado um exemplo de rotulagem de uma imagem do banco de dados, sendo que, a cor azul representa a fissuras e cor laranja representa as partes onde não há fissuras. Essa marcação é feita de forma manual, onde é realizada a identificação visual das fissuras e respectiva marcação. Nessa figura é possível observar na parte de baixo o *Image Browser*, onde é possível alternar entre as imagens escolhidas, e realizar sua rotação ou exclusão.

Figura 7 – Exemplo de rotulagem.



Fonte: Autor (2023).

### 3) Treinamento do modelo:

- Utilizou-se um algoritmo de aprendizado de máquina, como redes neurais convolucionais (CNNs), para treinar um modelo de segmentação semântica, a CNN utilizada foi a *Deeplab v3+*.
- O treinamento envolveu a apresentação do conjunto de dados rotulados (300 imagens) ao modelo, permitindo que ele aprendesse a reconhecer e segmentar fissuras, trincas, rachaduras e fendas nas imagens.

#### 4) Validação e ajuste:

- Testou-se o modelo treinado em um conjunto separado de imagens que não foram usadas no treinamento, a fim de avaliar sua precisão e desempenho, sendo que, 80% das imagens foram usadas para validação, 10% para teste e 10% para validação.

- Se necessário, ajustaram-se os parâmetros do modelo e repetiu-se o treinamento até obter resultados satisfatórios.

#### 5) Segmentação semântica em novas imagens:

- Utilizou-se o modelo treinado para identificar fissuras, trincas e rachaduras em novas imagens capturadas da estrutura.

- O modelo analisou a imagem pixel a pixel e atribuiu a cada pixel uma classe correspondente (fissura, trinca, rachaduras e fendas).

#### 6) Análise dos resultados:

- Analisaram-se as regiões segmentadas como fissuras, trincas, rachaduras e fendas pelo modelo.

- Avaliou-se a extensão, a localização e a severidade das fissuras, trincas e rachaduras identificadas.

- Registraram-se e monitoraram-se as informações relevantes, como tamanho, comprimento, largura e orientação das fissuras, trincas e rachaduras, para acompanhamento ao longo do tempo.

#### 7) Manutenção e reparo:

- Com base nos resultados da segmentação semântica e na análise das fissuras, trincas, rachaduras e fendas, desenvolveu-se planos de manutenção e reparo adequados para a estrutura.

- Priorizaram-se as fissuras, trincas, rachaduras e fendas mais críticas ou que necessitam de intervenção imediata, levando em consideração a segurança e a durabilidade da estrutura.

É importante ressaltar que a eficácia do método de controle de fissuras, trincas, rachaduras e fendas por segmentação semântica dependeu da qualidade das imagens capturadas, da precisão da anotação e rotulagem dos dados, além do treinamento adequado do modelo.

## 5.9 Comparativo entre os métodos

A identificação e análise de fissuras, trincas, rachaduras e fendas são elementos fundamentais na engenharia diagnóstica. Essas anomalias podem comprometer a integridade

de construções e requerem uma abordagem precisa e eficiente para a sua detecção. Nesse contexto, a segmentação semântica e a inspeção manual surgem como dois métodos distintos para a realização dessa tarefa.

A segmentação semântica é uma abordagem computacional que utiliza algoritmos de processamento de imagens e aprendizado de máquina para identificar automaticamente e delinear áreas de interesse em uma imagem. No caso da identificação de fissuras, trincas, rachaduras e fendas, a segmentação semântica busca detectar e destacar essas anomalias de forma automática e precisa. Essa metodologia utiliza técnicas avançadas, como redes neurais convolucionais, para realizar a análise de imagens em larga escala e identificar características específicas associadas às fissuras.

Por outro lado, a inspeção manual envolve a análise visual direta das estruturas por parte de especialistas qualificados. Nesse método, profissionais treinados examinam minuciosamente as superfícies em busca de fissuras, trincas, rachaduras e fendas. Esse processo requer conhecimento técnico e experiência para identificar corretamente as anomalias e avaliar sua extensão e gravidade. A inspeção manual é uma abordagem tradicional, confiável e comumente utilizada em diversas áreas, pois permite uma análise subjetiva das estruturas.

Ao comparar os dois métodos, é possível observar diferentes aspectos que podem influenciar a escolha entre eles. O tempo necessário para a realização da identificação é um desses fatores. A segmentação semântica automatizada possui a vantagem de processar grandes volumes de imagens de forma rápida e eficiente, reduzindo significativamente o tempo necessário para identificar e delinear as anomalias. Essa abordagem permite uma análise em escala, o que é especialmente vantajoso quando se trata de grandes estruturas ou inspeções frequentes.

Por outro lado, a inspeção manual requer uma análise individual e cuidadosa de cada estrutura, o que pode demandar um tempo considerável, principalmente quando há uma quantidade significativa de anomalias a serem avaliadas. A experiência e o conhecimento dos inspetores manuais são essenciais para garantir uma identificação precisa, mas o processo pode ser demorado e sujeito a variações devido à subjetividade inerente à análise visual.

Sendo assim, após obtenção dos resultados a partir do tempo utilizado nos dois métodos, foi determinado qual deles utilizou mais tempo, além disso, verificou-se a partir disso se a segmentação semântica é um método promissor para essa área.

## 6 RESULTADOS

Para a aquisição dos resultados deste trabalho, foram realizadas inspeções no local que é objeto de estudo de caso, com intuito registrar dez manifestações patológicas e classificá-las em fissuras, trincas, rachaduras e fendas a partir da análise de suas características. As visitas aos prédios da universidade estudada decorreram na criação de uma tabela que contemplasse os passos desta etapa da pesquisa, com foco na inspeção manual.

### 6.1 Resultados da revisão bibliográfica

Nesta seção demonstrou-se os resultados da revisão bibliográfica nas bases de dados Periódico Capes, *Scielo* Brasil e Google Acadêmico. Foram levados em consideração, para a quantificação dos resultados somente as primeiras duas páginas de pesquisas. Sendo que, primeiramente buscou-se resultados sem filtros, depois usou-se dos filtros, sendo o primeiro a leitura do título e o segundo leitura do resumo, conforme demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados de busca nas bases de dados

Especificações		Base de Dados			Total
		Periódico Capes	Scielo Brasil	Google Acadêmico	
Palavras-chave	Segmentação semântica	20	3	18	41
	Segmentação semântica e construção civil	0	0	16	16
Total de artigos encontrados (sem filtro)		20	3	34	57
Filtros	1º Filtro - Leitura do título	7	2	9	18
	2º Filtro - Leitura do resumo	5	1	5	11
Total de pesquisa relevantes		5	1	5	11

Fonte: Autor (2023).

A partir da análise realizada na Tabela 9, torna-se evidente a escassez de resultados considerados relevantes no que diz respeito à segmentação semântica, especialmente no contexto específico da indústria da construção civil. Essa lacuna de informações ressalta a falta de ênfase atribuída a esse tema no campo acadêmico e profissional. Como consequência, deparou-se com uma significativa dificuldade na localização de estudos que abordassem essa temática de forma abrangente e aprofundada.

### 6.2 Diagnóstico das manifestações

Durante essa etapa, foram elaborados relatórios fotográficos, realizadas medições das dimensões e profundidade das aberturas, e cronometrado o tempo de cada inspeção. Além disso, foi realizado o mapeamento preciso da localização de cada manifestação e sugeridas

terapêuticas apropriadas, conforme descrito na Tabela 15. Adicionalmente, os dados coletados durante a inspeção das manifestações foram utilizados na aplicação da metodologia GUT.

Na medição com o paquímetro utilizou-se somente a precisão de uma casa decimal, além disso, também em todas as manifestações também foram colocadas plaquinhas de gesso com massa corrida, para assim, realizar-se o contínuo monitoramento do estado das manifestações e assim determinarmos se elas estão vivas ou mortas. Esse monitoramento ocorreu de 7 em 7 dias, conforme o cronograma de monitoramento da Tabela 10.

Durante a realização do monitoramento, foram efetuadas verificações nas plaquinhas de gesso para averiguar a ocorrência de fissuras. Caso fosse constatada a presença de fissuras significativas ao longo desse monitoramento, isso indica que as fissuras estão ativas, o que ressalta a necessidade de realizar uma recuperação urgente nessa estrutura.

Tabela 10 – Cronograma de Monitoramento.

Data	26/05/2023	02/06/2023	09/06/2023	16/06/2023
Visita <i>in loco</i> 1	X			
Visita <i>in loco</i> 2		X		
Visita <i>in loco</i> 3			X	
Visita <i>in loco</i> 4				X

Fonte: Autor (2023).

Conforme destacado anteriormente, já foi realizada a primeira visita *in loco*, na qual foram instaladas as plaquinhas de gesso que foram verificadas durante o monitoramento. A seguir, apresentam-se as tabelas com as fotos de todos os monitoramentos.

Nas Manifestações 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 e 10, como evidenciado nas Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14, respectivamente, são apresentados todos os monitoramentos realizados manualmente durante as visitas *in loco*. Não foram encontradas quaisquer fissuras na plaquinha de gesso ou na massa corrida, levando à conclusão de que essas manifestações não estão apresentando movimentação. Em outras palavras, no período de análise, não houve movimentação nessas manifestações.

Na manifestação 4, conforme evidenciado na Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14, foram observadas fissuras na massa corrida, indicando uma movimentação de aproximadamente 1mm já na segunda visita *in loco*. Em resumo, essa manifestação requer uma maior atenção e a possibilidade de intervenção para corrigir esse problema.

Tabela 11 – Monitoramento do dia 26/05/2023.

Manifestação 1	Manifestação 2	Manifestação 3	Manifestação 4	Manifestação 5
				
Manifestação 6	Manifestação 7	Manifestação 8	Manifestação 9	Manifestação 10
				

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 11 nos é apresentado as imagens dos monitoramentos do dia 26 de maio de 2023 de todas as dez manifestações estudadas. É importante destacar que como foi somente a primeira semana de análise não foi possível observar as movimentações das manifestações.

Tabela 12 – Monitoramento do dia 02/06/2023.

Manifestação 1	Manifestação 2	Manifestação 3	Manifestação 4	Manifestação 5
				
Manifestação 6	Manifestação 7	Manifestação 8	Manifestação 9	Manifestação 10
				

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 12 nos é apresentado as imagens dos monitoramentos do dia 02 de junho de 2023 de todas as dez manifestações estudadas. É importante destacar que somente a manifestação 4 apresentou movimentação já na segunda semana de monitoramento, conforme demonstrado na Tabela 12, sendo que na imagem dessa manifestação é possível observar uma fissura na massa corrida.

Tabela 13 – Monitoramento do dia 09/06/2023.



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 13 nos é apresentado as imagens dos monitoramentos dia 09 de junho de 2023 de todas as dez manifestações estudadas. Sendo que, somente a manifestação 4 apresentou movimentação, nas outras ainda não houve movimentação.

Tabela 14 – Monitoramento do dia 16/06/2023.



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 14 nos é apresentado as imagens dos monitoramentos do dia 16 de junho de 2023 de todas as dez manifestações estudadas. Sendo que, somente a manifestação 4 apresentou movimentação, portanto, ela é a única que está viva, e todas as outras estão mortas.

Na Tabela 15 é demonstrado os resultados da matriz de diagnóstico, que dispõe do número, da imagem, da descrição por inspeção visual, do tamanho da abertura, profundidade da abertura, da classificação, do tempo e da terapêutica adequada para todas as dez manifestações analisadas.

Tabela 15 – Resultados da Matriz de Diagnóstico.

Número	Imagem da Manifestação	Descrição por inspeção visual	Tamanho da Abertura (mm)				Profundidade da Abertura (cm)	Classificação	Tempo (min)	Terapêutica Adequada
			Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média				
1		Manifestação localizada próximo do bebedouro do prédio pedagógico	3	3	2	2,7	3	Rachadura	16	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remover a área ao redor da rachadura;</li> <li>2. Inserir uma argamassa de preenchimento adequado;</li> <li>3. Aplica um revestimento de proteção.</li> </ol>
2		Manifestação localizada na sala 02 do prédio pedagógico	2	2	2	2,0	0,4	Rachadura	12	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remover a área ao redor da rachadura;</li> <li>2. Inserir uma argamassa de preenchimento adequado;</li> <li>3. Aplica um revestimento de proteção.</li> </ol>

(Continua)

(Continuação)

3		<p>Manifestação localizada em um pergolado de concreto da fachada lateral direita do prédio pedagógico</p>	7	6	7	6,7	0,8	Fenda	13	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remover cuidadosamente o concreto da área afetada;</li> <li>2. Verificar a integridade da armadura, para verificar se o aço está danificado;</li> <li>3. Utilizar argamassas poliméricas à base de cimento para recuperar a fenda;</li> <li>4. Aplicar um revestimento de proteção.</li> </ol>
4		<p>Manifestação localizada na entrada da biblioteca no prédio administrativo</p>	1	2	3	2,0	15,5	Rachadura	11	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remover a área ao redor da rachadura;</li> <li>2. Inserir uma argamassa de preenchimento adequado;</li> <li>3. Aplica um revestimento de proteção.</li> </ol>

(Continuação)

5



Manifestação localizada na laje em cima da saída da biblioteca para o pátio no prédio administrativo

7 8 7 7,3 15 Fenda 20

1. Remover cuidadosamente o concreto da área afetada;
2. Verificar a integridade da armadura, para verificar se o aço está danificado;
3. Utilizar argamassas poliméricas à base de cimento para recuperar a fenda;
4. Aplicar um revestimento de proteção.

6



Manifestação localizada na laje na saída da cozinha para o pátio no prédio do administrativo

1 1 1 1,0 1 Trinca 15

1. Remover cuidadosamente o concreto da área afetada;
2. Verificar a integridade da armadura, para verificar se o aço está danificado;
3. Utilizar argamassas poliméricas à base de cimento para recuperar a trinca;
4. Aplicar um revestimento de proteção.

(Continuação)

7



Manifestação localizada no pilar do canto da entrada do prédio pedagógico próximo do bebedouro

5 5 4 4,7 1,2 Rachadura 15

1. Remover cuidadosamente o concreto da área afetada;
2. Verificar a integridade da armadura, para verificar se o aço está danificado;
3. Utilizar argamassas poliméricas à base de cimento para recuperar a rachadura;
4. Aplicar um revestimento de proteção.

8



Manifestação localizada na viga em frente ao laboratório de materiais de construção civil no prédio dos laboratórios, essa manifestação ocorre na junta de dilatação

1 3 4 2,7 1,5 Rachadura 12

1. Remover cuidadosamente o concreto da área afetada;
2. Verificar a integridade da armadura, para verificar se o aço está danificado;
3. Utilizar argamassas poliméricas à base de cimento para recuperar a rachadura;
4. Aplicar um revestimento de proteção.

(Continuação)

9		<p>Manifestação localizada na lateral esquerda dos banheiros no prédio dos laboratórios</p>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	Fissura	7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remover a área ao redor da rachadura;</li> <li>2. Inserir uma argamassa de preenchimento adequado;</li> <li>3. Aplica um revestimento de proteção.</li> </ol>
10		<p>Manifestação localizada em cima da porta do laboratório de química I do prédio dos laboratórios</p>	6	1	3	3,3	1,8	Rachadura	7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remover cuidadosamente o concreto da área afetada;</li> <li>2. Verificar a integridade da armadura, para verificar se o aço está danificado;</li> <li>3. Utilizar argamassas poliméricas à base de cimento para recuperar a rachadura;</li> <li>4. Aplicar um revestimento de proteção.</li> </ol>

Fonte: Autor (2023).

### 6.3 Mapa de Danos

Nesta seção apresentou-se os mapas de danos dos locais de onde foram obtidas as manifestações patológicas analisadas. O mapa de danos permite visualizar de forma clara e objetiva os impactos causados, sejam eles naturais ou antrópicos, em infraestruturas, ecossistemas, comunidades ou qualquer outro aspecto relevante. Através da análise dos dados coletados e da representação gráfica no mapa, é possível identificar áreas mais vulneráveis, padrões de distribuição dos danos e, conseqüentemente, direcionar ações de mitigação, recuperação e planejamento futuro. O mapa de danos, portanto, desempenha um papel crucial no desenvolvimento de estratégias eficientes de gestão de riscos e tomada de decisões informadas, contribuindo para a promoção da resiliência e sustentabilidade de áreas afetadas (TINOCO, 2009).

Nos mapas de danos elaborados as manifestações analisadas foram destacadas através da cor de acordo com a classificação obtida pela inspeção manual. Sendo que, rachaduras foram colocadas na cor vermelha, fendas na cor verde, trincas na cor azul e fissuras na cor rosa, conforme demonstrado na Figura 8.

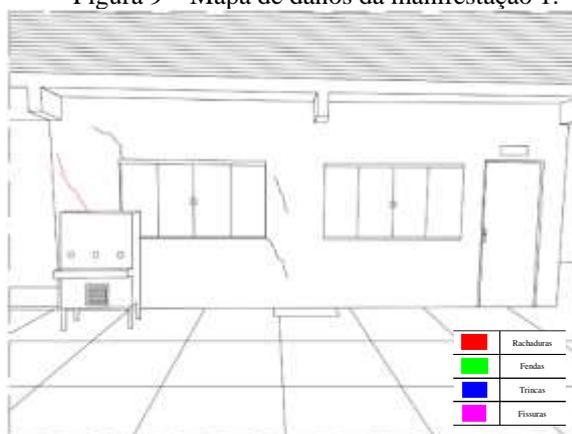
Figura 8 – Legenda das Classificações

	Rachaduras
	Fendas
	Trincas
	Fissuras

Fonte: Autor (2023).

Na Figura 9 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 1, que é classificada como rachadura, portanto, está destacada com a cor vermelha.

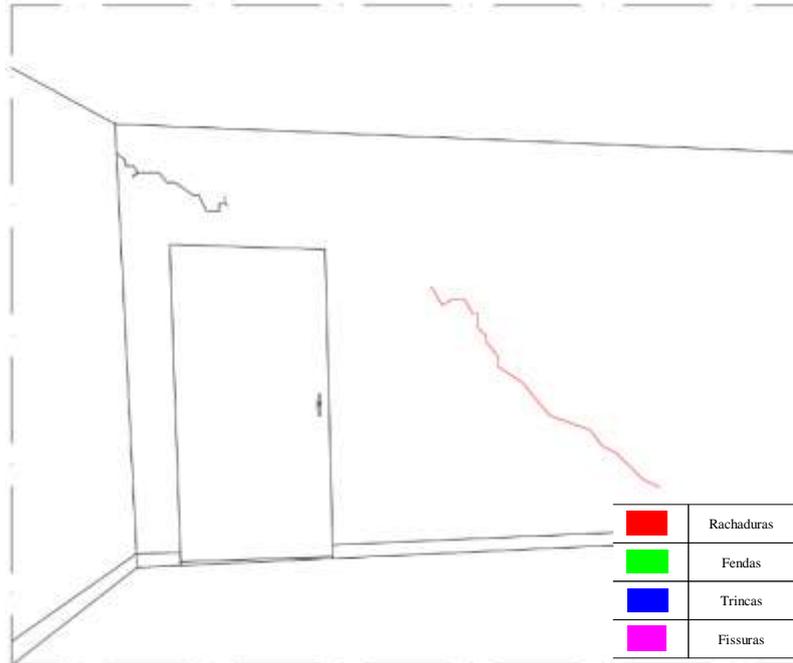
Figura 9 – Mapa de danos da manifestação 1.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 10 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 2, que é classificada como rachadura, portanto, está destacada com a cor vermelha.

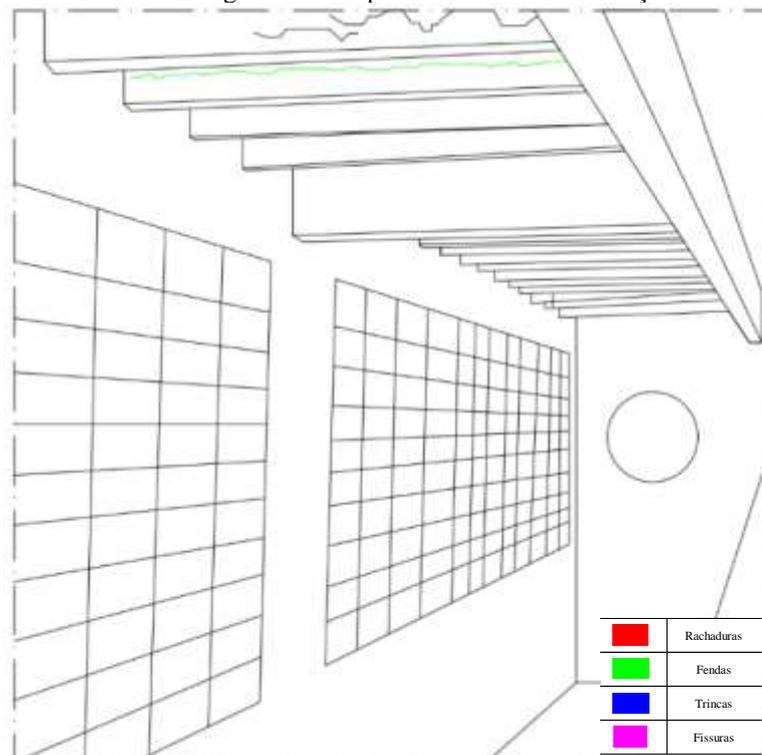
Figura 10 – Mapa de danos da manifestação 2.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 11 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 3, que é classificada como fenda, portanto, está destacada com a cor verde.

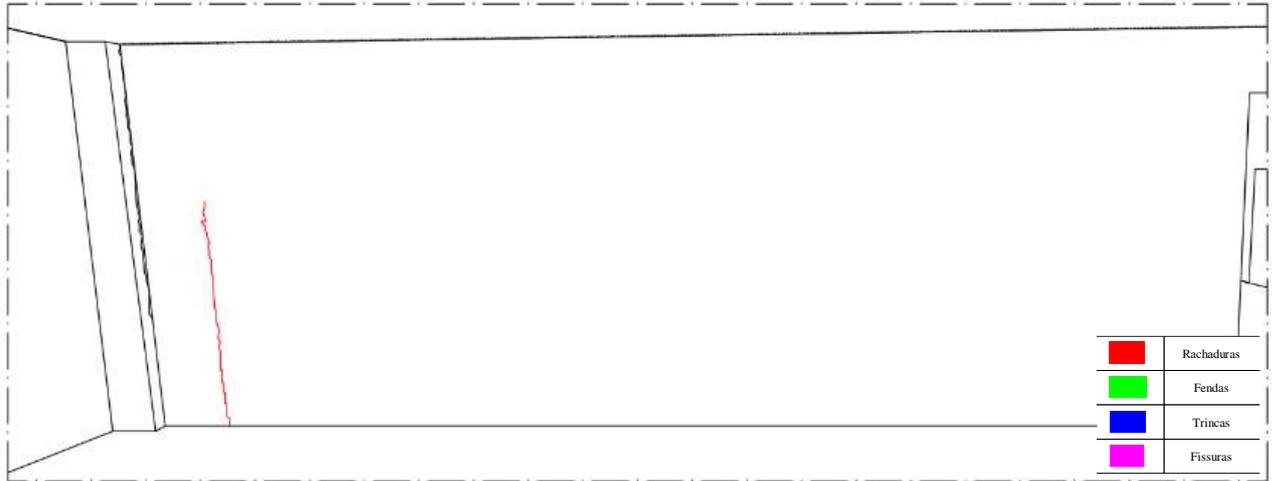
Figura 11 – Mapa de danos da manifestação 3.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 12 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 4, que é classificada como rachadura, portanto, está destacada com a cor vermelha.

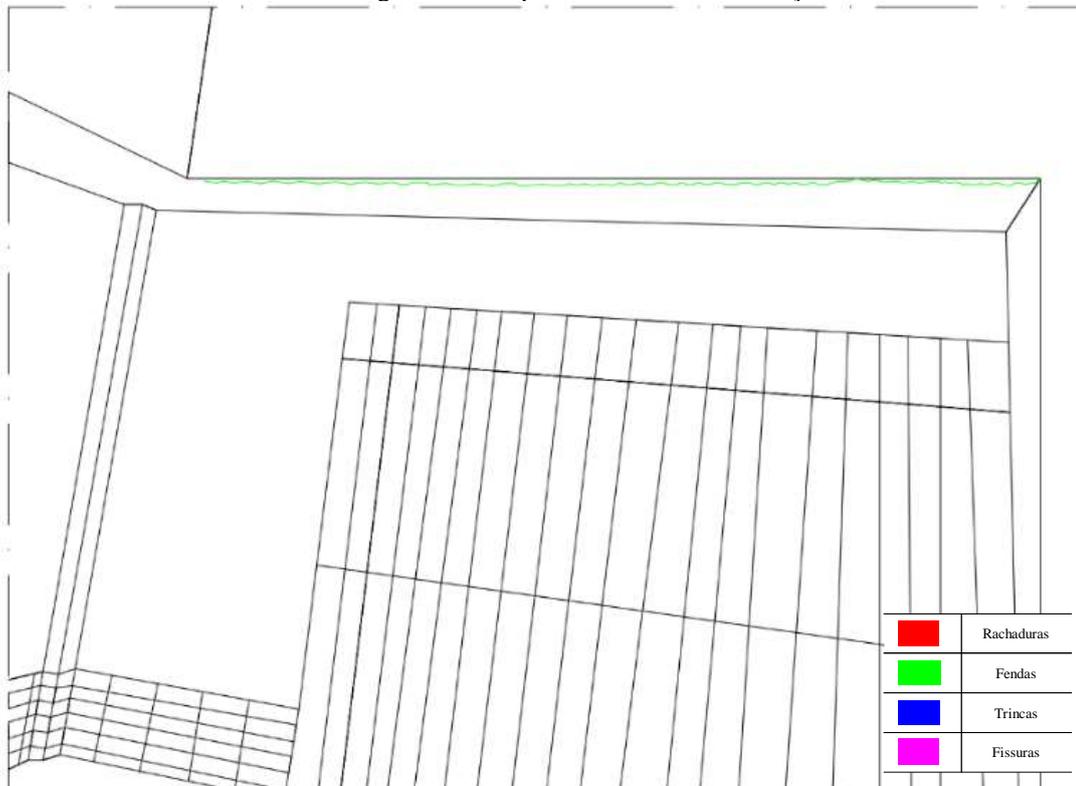
Figura 12 – Mapa de danos da manifestação 4.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 13 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 5, que é classificada como fenda, portanto, está destacada com a cor verde.

Figura 13 – Mapa de danos da manifestação 5.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 14 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 6, que é classificada como trinca, portanto, está destacada com a cor azul.

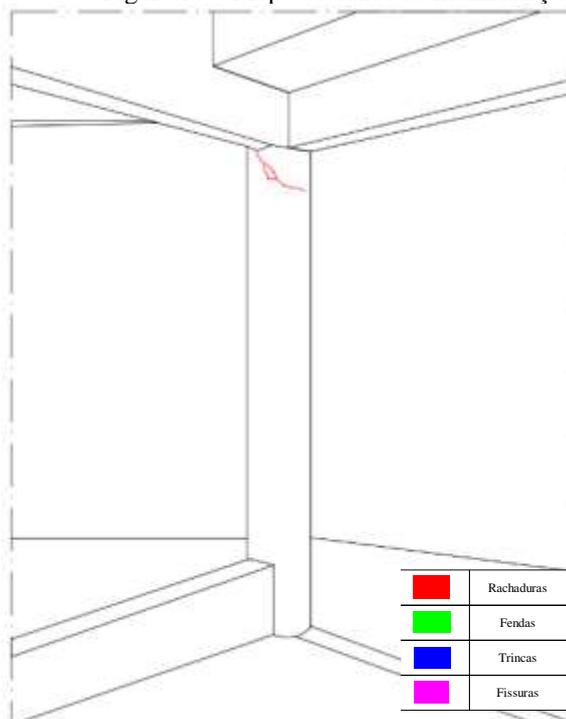
Figura 14 – Mapa de danos da manifestação 6.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 15 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 7, que é classificada como rachadura, portanto, está destacada com a cor vermelha.

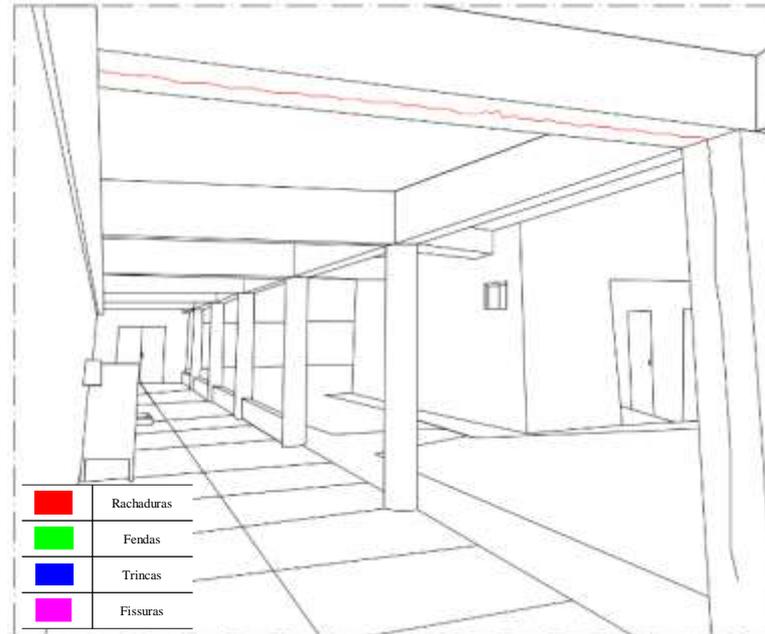
Figura 15 – Mapa de danos da manifestação 7.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 16 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 8, que é classificada como rachadura, portanto, está destacada com a cor vermelha.

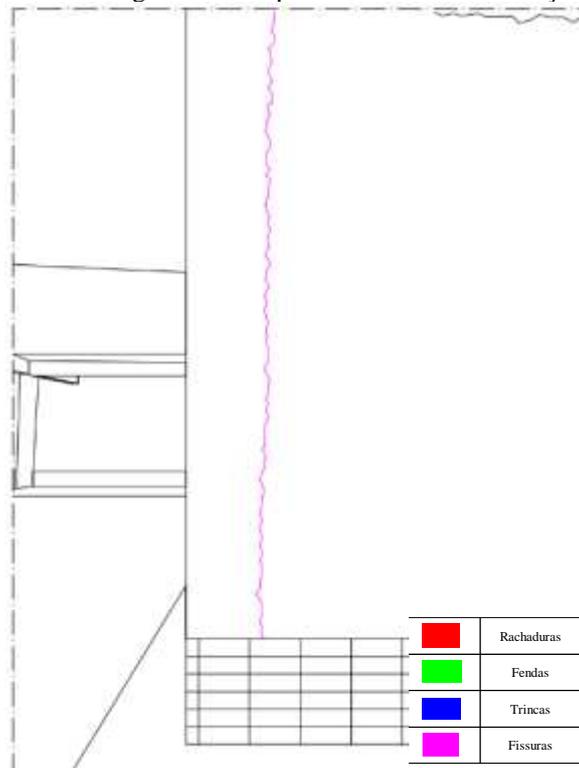
Figura 16 – Mapa de danos da manifestação 8.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 17 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 9, que é classificada como fissura, portanto, está destacada com a cor rosa.

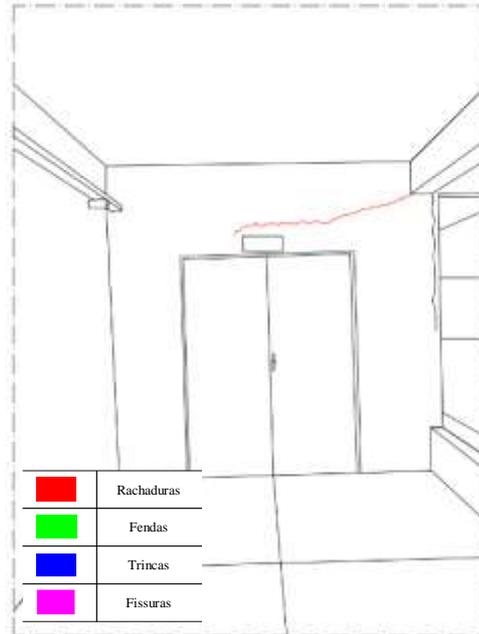
Figura 17 – Mapa de danos da manifestação 9.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 18 é demonstrado o mapa de danos da manifestação 10, que é classificada como rachadura, portanto, está destacada com a cor vermelha.

Figura 18 – Mapa de danos da manifestação 10.

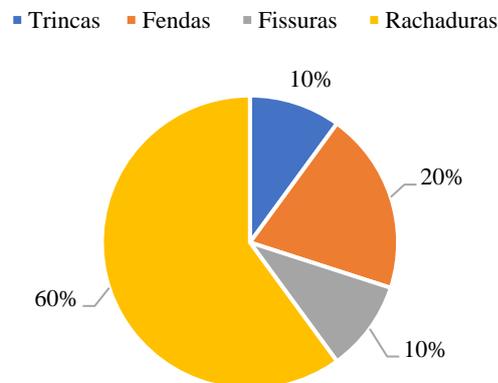


Fonte: Autor (2023).

#### 6.4 Classificação das manifestações

A partir da análise dos dados coletados das dez manifestações foi possível classificá-las de acordo com a espessura de suas aberturas, onde obteve-se quatro resultados, sendo eles, uma trinca, duas fendas, uma fissura e seis rachaduras. Com esses resultados foi possível elaborar um gráfico (Figura 19), conforme apresentado a seguir. É importante destacar que para classificá-las foi utilizada a média obtida da medição de três pontos de cada manifestação.

Figura 19 – Classificação das manifestações.



Fonte: Autor (2023).

## 6.5 Metodologia GUT

A partir da coleta de dados realizada no local, foi possível aplicar a metodologia GUT para a análise dos resultados obtidos. Nesse processo, as manifestações identificadas foram classificadas de acordo com as variáveis previstas na metodologia. Através da avaliação dos critérios de gravidade, urgência e tendência, foi possível priorizar e categorizar as manifestações de acordo com sua relevância e impacto, conforme demonstrado na Tabela 16. Essa abordagem sistemática permitiu uma análise mais precisa e estruturada dos resultados, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões e a implementação de medidas corretivas necessárias.

Tabela 16 – Matriz GUT.

Número	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	GUT	Grau de Priorização
1	3	3	2	18	4°
2	2	3	2	12	5°
3	4	3	3	36	3°
4	4	4	3	48	2°
5	5	4	3	60	1°
6	4	4	3	48	2°
7	4	3	3	36	3°
8	3	3	4	36	3°
9	2	3	2	12	5°
10	3	4	3	36	3°

Fonte: Autor (2023).

A partir dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia GUT percebeu-se que algumas manifestações apresentam graus de prioridade iguais. Para melhor entendimento e ordenamento das manifestações por grau de prioridade do mais prioritário para o menos, elaborou-se a Tabela 17, onde também foram agrupadas as manifestações com os mesmos graus de prioridade.

Tabela 17 – Agrupamento e priorização das manifestações a partir do grau de prioridade.

Grau de priorização	Número	Classificação
1°	5	Fenda
2°	6	Trinca
2°	4	Rachadura
3°	3	Fenda
3°	7	Rachadura
3°	8	Rachadura
3°	10	Rachadura
4°	1	Rachadura
5°	2	Rachadura
5°	9	Fissura

Fonte: Autor (2023).

Conforme demonstrado na Tabela 17 temos somente uma manifestação apresentando primeiro grau de prioridade, duas apresentando segundo grau, quatro apresentando terceiro grau, uma apresentando quarto grau e duas apresentando quinto grau.

## 6.6 Identificação por meio de segmentação semântica

### 6.6.1 Segmentação Semântica

A segmentação semântica automatizada de fissuras, rachaduras, trincas e fendas em estruturas é uma tarefa desafiadora que pode ser abordada por meio do uso de redes neurais convolucionais (CNNs) profundas. Neste trabalho, realizou-se um estudo utilizando a técnica de segmentação semântica usando aprendizado profundo (*deep learning*) com o objetivo de identificar e segmentar automaticamente essas características em imagens.

O exemplo utilizado para treinar a rede de segmentação semântica foi o *Deeplab v3+*, uma rede neural convolucional projetada especificamente para segmentação de imagens semânticas. Outros tipos de redes, como *Fully Convolutional Networks* (FCN), *SegNet* e *U-Net*, também podem ser usados para essa tarefa. O treinamento da rede foi realizado utilizando o conjunto de dados públicos.

Após a criação da rede *Deeplab v3+* e o carregamento dos pesos pré-treinados do modelo *Resnet-18*, foi realizada uma análise estatística do conjunto de dados. Verificou-se que as classes no conjunto de dados não estão balanceadas, ou seja, algumas classes têm mais exemplos do que outras. Essa desigualdade pode prejudicar o processo de aprendizado da rede, levando a um viés em favor das classes dominantes. Para contornar esse problema, foi aplicada a técnica de *class weighting*, na qual os pesos das classes são ajustados para equilibrar a influência das classes desbalanceadas durante o treinamento da rede.

Em seguida, o conjunto de dados foi dividido em conjuntos de treinamento, validação e teste. 80% das imagens foram utilizadas para treinamento, enquanto os 20% restantes foram divididos igualmente entre os conjuntos de validação e teste. A rede foi treinada utilizando o algoritmo de otimização *Stochastic Gradient Descent with Momentum* (SGDM) e foram ajustados os hiperparâmetros para esse algoritmo. Além disso, técnicas de *data augmentation* foram aplicadas durante o treinamento para aumentar o tamanho do conjunto de dados e melhorar a generalização da rede.

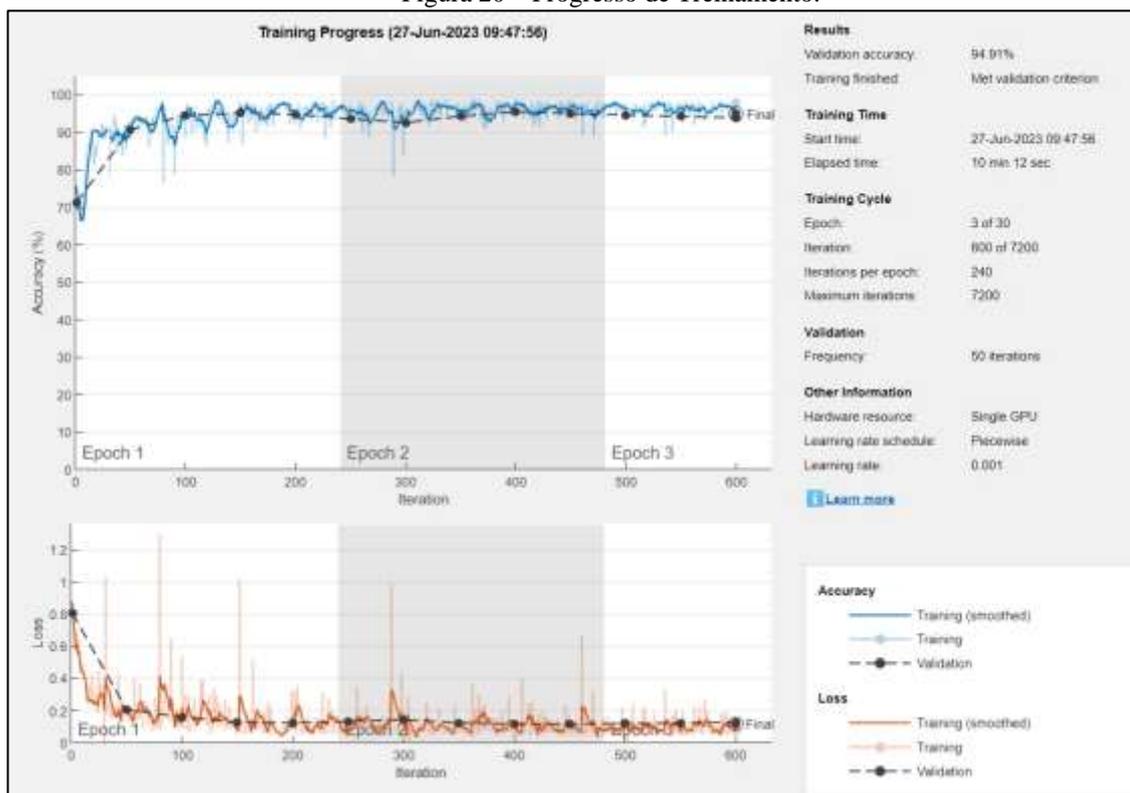
Após o treinamento da rede, foi realizada uma avaliação da sua precisão utilizando imagens de teste. A segmentação semântica foi aplicada às imagens de teste e os resultados foram comparados com os rótulos de pixel esperados.

Em resumo, os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a segmentação semântica automatizada utilizando redes neurais convolucionais profundas é uma abordagem promissora.

### 6.6.2 Acurácia da Segmentação

A acurácia é uma métrica fundamental para avaliar a qualidade dos resultados obtidos na identificação automatizada de fissuras, rachaduras, trincas e fendas por meio de segmentação semântica. Sendo que, tivemos uma precisão da validação de 94,91% e tempo de treino de 10 minutos e 12 segundos, conforme demonstrado na Figura 20.

Figura 20 – Progresso de Treinamento.



Fonte: Autor (2023).

### 6.6.3 Aplicação da segmentação semântica nas manifestações estudadas

Para a aplicação da segmentação semântica na análise das manifestações escolhidas para estudo, foi necessário primeiro fotografar três locais de cada manifestações de forma bem próximo, onde obteve-se três imagens de cada, conforme demonstrado a seguir.

Na Tabela 18 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 1, vale ressaltar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

Tabela 18 – Imagens para análise da manifestação 1.



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 19 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 2, é importante frisar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

Tabela 19 – Imagens para análise da manifestação 2.



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 20 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 3, vale destacar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

Tabela 20 – Imagens para análise da manifestação 3.



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 21 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 4, vale ressaltar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

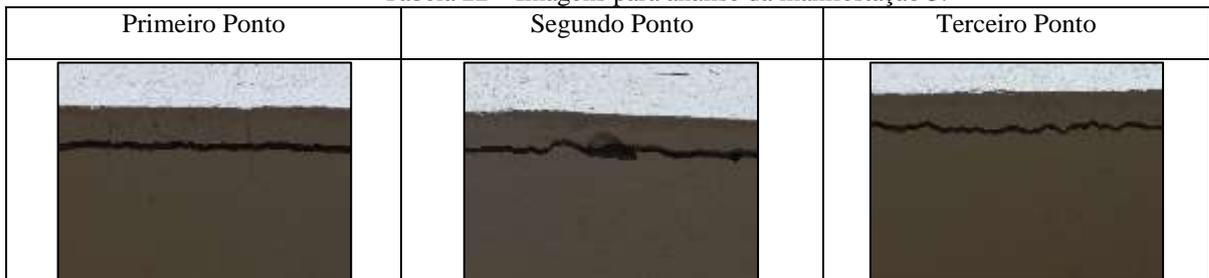
Tabela 21 – Imagens para análise da manifestação 4.



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 22 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 5, é importante frisar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

Tabela 22 – Imagens para análise da manifestação 5.



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 23 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 6, vale destacar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

Tabela 23 – Imagens para análise da manifestação 6.



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 24 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 7, vale ressaltar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

Tabela 24 – Imagens para análise da manifestação 7.

Primeiro Ponto	Segundo Ponto	Terceiro Ponto
		

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 25 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 8, é importante frisar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

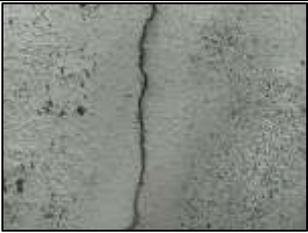
Tabela 25 – Imagens para análise da manifestação 8.

Primeiro Ponto	Segundo Ponto	Terceiro Ponto
		

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 26 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 9, é importante destacar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

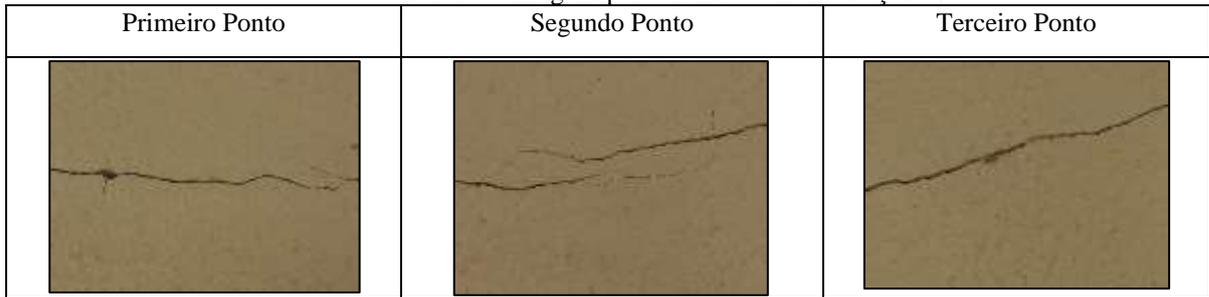
Tabela 26 – Imagens para análise da manifestação 9.

Primeiro Ponto	Segundo Ponto	Terceiro Ponto
		

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 27 é demonstrado as três imagens utilizadas para análise da manifestação 10, vale destacar que as três foram fotografadas de diferentes localizações dessa mesma manifestação.

Tabela 27 – Imagens para análise da manifestação 10.



Fonte: Autor (2023).

As métricas obtidas após os estudos das 30 imagens das manifestações, indicam uma maior eficácia da rede na identificação da parede. No entanto, quando se trata da identificação de rachaduras, observa-se uma acurácia relativamente baixa, o que sugere a necessidade de um novo treinamento utilizando uma base de dados mais ampla. A seguir serão apresentadas algumas imagens (Figura 21, Figura 22, Figura 23) da aplicação que reforçam essa discussão.

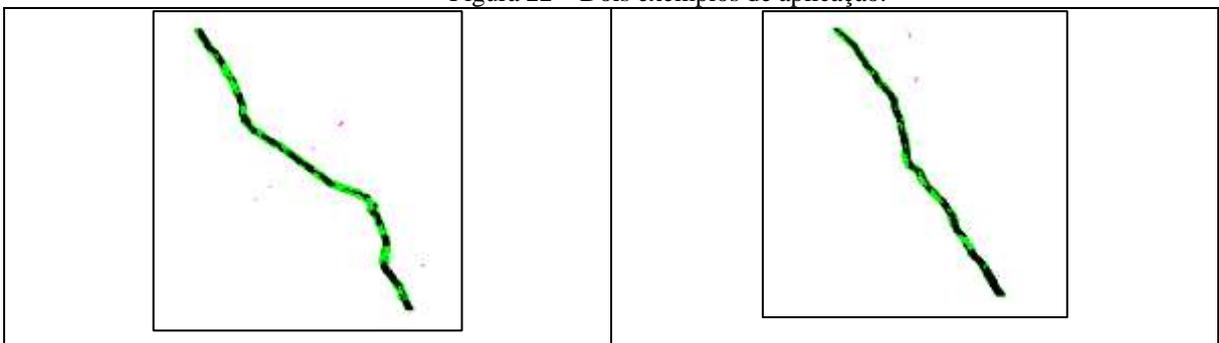
Figura 21 – Métricas do estudo.

	Accuracy	IoU	MeanBFScore
Rachaduras	0.66315	0.26544	0.52346
Parede	0.94303	0.9311	0.73926

Fonte: Autor (2023).

Na Figura 22 os pontos verdes representam os erros na identificação das rachaduras, os pontos pretos indicam as identificações corretas das rachaduras, os pontos magentas representam os erros na identificação da parede e os pontos brancos indicam as identificações corretas da parede. Nas duas primeiras imagens, há pouquíssimos erros na identificação da parede, mas muitos erros na identificação das rachaduras.

Figura 22 – Dois exemplos de aplicação.

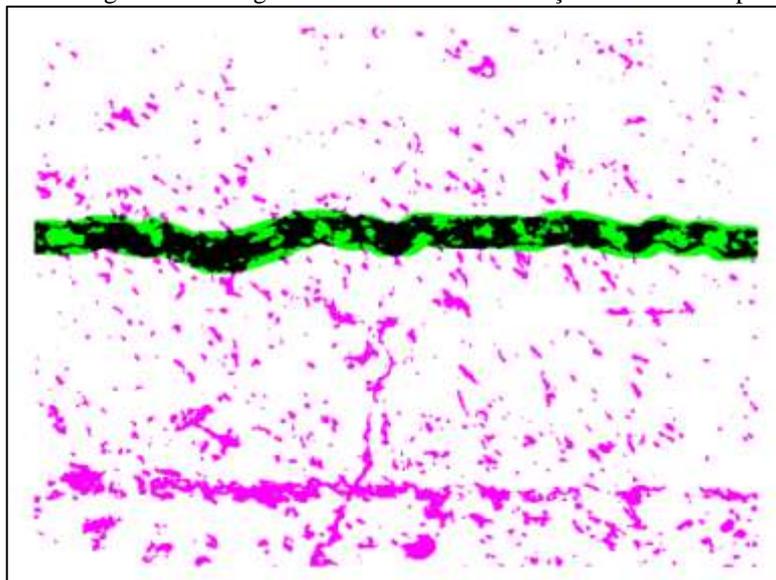


Fonte: Autor (2023).

Ao analisarmos a Figura 23, fica evidente a presença significativa de erros na identificação da parede, o que merece nossa atenção. No entanto, o ponto central de interesse está na identificação das rachaduras. Nesse contexto, ainda é possível observar uma quantidade

considerável de erros na tarefa de identificação dessas rachaduras. Para superar essas limitações, uma abordagem eficaz seria realizar um novo treinamento da rede, utilizando uma quantidade maior de imagens.

Figura 23 – Imagem com erros na identificação de fissuras e paredes.



Fonte: Autor (2023).

### **6.7 Comparação de tempo entre a identificação visual e segmentação semântica**

Neste tópico realizou-se uma análise comparativa do tempo necessário para realizar a identificação visual e a pôr segmentação semântica. Nessa avaliação, foram considerados dois modos distintos de abordagem. Os resultados obtidos revelam diferenças significativas nos tempos de execução dessas duas técnicas. A identificação visual demandou um tempo médio de 12,8 minutos, enquanto a segmentação semântica exigiu 52 segundos para realizar a identificação. Essas informações são de grande relevância para a seleção da metodologia mais adequada em cenários que requerem a análise de grandes volumes de dados.

É importante ressaltar que, embora o treinamento da rede tenha exigido um tempo total de 10 minutos e 12 segundos, além de 52 segundos adicionais para a identificação das 30 imagens analisadas, esse fator não exerce uma influência significativa. Isso se deve ao fato de que o treinamento da rede ocorre apenas uma vez, enquanto a inspeção manual demanda sempre um considerável tempo por fissura, mesmo que, com a prática do inspetor, esse tempo possa ser reduzido.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, o objetivo é automatizar o processo de identificação de fissuras, trincas, rachaduras e fendas, visando uma abordagem mais eficiente em termos de velocidade, devido à frequente ocorrência dessas manifestações patológicas em edificações no Brasil. Para alcançar esse objetivo, foi conduzida uma inspeção manual *in loco*, onde foram escolhidas 10 manifestações para serem objetos de estudo, sendo que, foi realizado também o monitoramento das manifestações durante um período de 4 semanas. Além disso, foi realizada o treinamento da rede convolucional *Deeplab v3+*, onde foram utilizadas 300 imagens de um banco de dados públicos para treinamento da mesma. Posteriormente, realizou-se uma comparação entre os métodos de identificação.

Os resultados obtidos com a inspeção manual demonstraram-se importantes para determinar o estado de algumas localizações do campus universitário estudo, pois a partir dele descobriu-se já se tem fendas nas estruturas e há rachaduras ativas, exigindo uma intervenção para sanar esses problemas. Com relação aos resultados obtidos das manifestações analisadas, constatou-se que 60% delas são classificadas como rachaduras, 10% como trincas, 10% como fissuras e 20% como fendas

Com a realização da inspeção manual, concluiu-se que esse processo é trabalhoso e demanda tempo. No entanto, observou-se que, com a prática contínua, os tempos foram reduzidos. O treinamento da rede neural exigiu o praticamente o mesmo tempo que a análise de uma manifestação, porém é importante ressaltar que o tempo para rotulagem das imagens para treinamento da rede exigiu um tempo médio de 4 horas para rotulagem de 100 imagens. No entanto, esse tempo não tem grande relevância levando em consideração que esse processo só será feito uma vez.

A identificação das 30 imagens estudadas nos mostrou um tempo muito pequeno para essa identificação. Porém, conforme demonstrado nos resultados teve-se uma baixa acurácia na identificação de fissuras, já na identificação das partes onde não havia fissuras tivemos resultados melhores nesse processo. Para melhorar essas limitações é necessário um novo treinamento da rede neural utilizando uma quantidade maior de imagens, pois assim irá se obter um resultado mais preciso.

A utilização de segmentação semântica se mostrou um processo promissor na área de inspeção de fissuras, trincas, rachaduras e fendas. Sendo que, é importante destacar que a

inspeção manual realizada nos mostrou resultados importantes para o campus universitário estudado, servindo como alertar para a diretoria.

### **7.1 Trabalhos Futuros**

No contexto de trabalhos futuros, considerando as limitações e as possibilidades de expansão da pesquisa realizada neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), abre-se um horizonte promissor para investigações adicionais. A seguir, são apresentadas sugestões de direções que podem ser exploradas para aprofundar o conhecimento e contribuir para o desenvolvimento do campo de estudo abordado. Essas recomendações buscam preencher lacunas identificadas, fornecer novas perspectivas e aprimorar as metodologias empregadas. Por meio dessas futuras investigações, espera-se obter insights valiosos e alcançar avanços significativos que ampliem o entendimento e as aplicações práticas no domínio em questão.

1. Treinar a rede neural artificial com um banco de dados maior;
2. Treinar a rede neural artificial para diferenciar fissuras, rachaduras, trincas e fendas;
3. Treinar a rede neural artificial para monitorar se as fissuras, rachaduras, trincas e fendas estão ativas ou não;
4. Treinar a rede neural artificial para identificar o tamanho e profundidade das fissuras, rachaduras, trincas e fendas.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA CBIC. **A importância da construção civil para a economia nacional.** Disponível em: <https://cbic.org.br/a-importancia-da-construcao-civil-para-a-economia-nacional/#:~:text=A%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%2C%20por%20ser,capaz%20de%20proporcionar%20desenvolvimento%20social>. Acesso em: 9 fev. 2023.
- ALI, Luqman.; Alnajjar, Fady; Jassmi, Hamad Al; Gochoo, Munkhjargal; Khan, Wasif; Serhani, M. Adel. Performance evaluation of deep CNN-based crack detection and localization techniques for concrete structures. **Sensors**, v. 21, n. 5, p. 1–22, 1 mar. 2021.
- AMORIM, G. M.; QUINTAO, E. C. V.; MARTELLI JUNIOR, H.; MARTELLI JUNIOR, H.. Prestação de Serviços de Manutenção Predial em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. **Ciênc. saúde coletiva [online]**, v. 18, p. 145–158, 2013.
- ARAÚJO, N. M. C.; MEDEIROS, M. O.; SILVA, M. R. Um estudo multicaso quanto à relação entre os Manuais do Usuário e a legislação vigente. **HOLOS**, v. 7, p. 1–9, 29 dez. 2019.
- ASSIS, R. C. T.; HIPPERT, M. A. S. A GESTÃO DA MANUTENÇÃO PREDIAL E SUA CONTRIBUIÇÃO À VIDA ÚTIL DAS EDIFICAÇÕES: UMA REVISÃO. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 10, p. 22–29, jul. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Disponível em: [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1 — Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Disponível em: [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9575 - Impermeabilização - Seleção e projeto.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010. Disponível em: [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747:2020 Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br).
- BARBOSA, F. M.; OSÓRIO, F. S. Um estudo comparativo de métodos de deep learning aplicados à segmentação semântica de obstáculos, zonas seguras e não seguras para navegação a partir de dados RGB-D. 73ª Reunião Anual da SBPC. **Anais...2021.** Disponível em: [https://reunioes.sbpcnet.org.br/73RA/inscritos/resumos/10285\\_146ba9f2a6976570b0353203ec4474217.pdf](https://reunioes.sbpcnet.org.br/73RA/inscritos/resumos/10285_146ba9f2a6976570b0353203ec4474217.pdf) . Acesso em: 19 abr. 2023
- BENTO, Adegilson; NEVES, Daniely; PIRES, Juliane; OLIVEIRA, Mayara; SILVA, Dione. **A influência da NBR 15575 (2013) na durabilidade e vida útil das edificações**

**residenciais. SEMINÁRIO DE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL. Anais...2016.**

BENTO, M. A. R.; PARREIRA, M. B. **Monitoramento e identificação de causas de fissuras, trincas e rachaduras em alvenaria.** FACULDADE UNA DE CATALÃO, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/21256/1/Monitoramento%20e%20identifica%c3%a7%c3%a3o%20de%20causas%20de%20fissuras%2c%20trincas%20e%20rachaduras%20em%20alvenaria.pdf> . Acesso em: 1 abr. 2023.

BRASIL, T. L. **Avaliação de manifestações patológicas através da ferramenta gut – estudo de caso.** Mossoró, 2019.

BRITO, T. F. **Análise de manifestações patológicas na construção civil pelo método gut: estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior.** João Pessoa, 2017.

CARDOSO, M. S. **Segmentação de veias do pulso com uso de redes neurais convolucionais.** GOIÂNIA, 2020.

CERRI, R.; CARVALHO, A. C. P. DE L. F. DE. Aprendizado de máquina breve introdução e aplicações. **Cadernos de Ciência & Tecnologia, Br**, v. 34, p. 297–313, 2017.

CONTO, V. DE; OLIVERIA, M. L. DE; RUPPENTHAL, J. E. Environmental certifications: contribution to sustainability in construction in Brazil. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 12, n. 4, p. 100–127, 1 nov. 2017.

CORTEZ, S. V. **Análise das manifestações patológicas de uma edificação pública - estudo de caso.** Caraúbas, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/8152> . Acesso em: 18 maio. 2023.

CREMONINI, R. A. **Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares na região de porto alegre - recomendações para projeto, execução e manutenção.** Porto Alegre, 1988. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1420/000124337.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em: 9 fev. 2023.

CUNHA, L. C. **Redes neurais convolucionais e segmentação de imagens–uma revisão bibliográfica.** Ouro Preto, 2020. Disponível em: [https://sei.ufop.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_imprimir\\_web&acao\\_origem=arvore\\_visualizar&id\\_documento=124149&infra\\_sistema=1](https://sei.ufop.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=124149&infra_sistema=1) . Acesso em: 18 maio. 2023.

DAUDT, J. et al. Vida útil em estrutura de concreto armado: estudo de caso em edificação de interesse histórico-cultural na região da serra gaúcha. **XVI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y XVIII DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN**, p. 1312–1324, 2021.

FERREIRA, A. DOS S. **Redes Neurais Convolucionais Profundas na Detecção de Plantas Daninhas em Lavoura de Soja.** Campo Grande, 2017.

FERREIRA, G. H. **Fissuras em edificações de concreto armado: revisão e estudo de caso.** Ouro Preto, 2020.

FERREIRA, J. B.; LOBÃO, V. W. N. Manifestações patológicas na construção civil. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 5, p. 71–80, 2018.

FLECK, Leandro; TAVARES, Maria Hermínia Ferreira; EYNG, Eduardo; HELMANN, Andrieli Cristina; ANDRADE, Minéia Aparecida de Moares. Redes neurais artificiais: princípios básicos. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, p. 47–57, 2016.

FRANÇA, Alessandra A. V.; MARCONDES, Carlos Gustavo N.; ROCHA, Francielle C. da; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; HELENE, Paulo R. L.. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **Téchne**, v. 19, n. 174, p. 72–77, 2011.

GERHARDT, T. E.; SILVERIA, D. T. **Métodos de pesquisa.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GOMES, D. DO S. Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações. **Revista Olhar Científico – Faculdades Associadas de Ariquemes**, v. 1, n. 2, 2010.

GRÜNBERG, P. R.; MEDEIROS, M. H. F. DE; TAVARES, S. F. Certificação ambiental de habitações: comparação entre leed for homes, processo aqua e selo casa azul. **Ambient. soc. [online]**, v. 17, p. 195–214, 2014.

JURASZEK, G. DE F. **RECONHECIMENTO DE PRODUTOS POR IMAGEM UTILIZANDO PALAVRAS VISUAIS E REDES NEURAI CONVOLUCIONAIS.** Joinville, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275958578>.

LUDERMIR, T. B. Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina: estado atual e tendências. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 101, p. 85–94, 1 jan. 2021.

MARÇAL, G. **Vídeo: muro desaba em condomínio de luxo em SP e assusta moradores.** Disponível em: <https://www.metropoles.com/sao-paulo/video-muro-desaba-em-condominio-de-luxo-em-sp-e-assusta-moradores> . Acesso em: 2 abr. 2023.

MARTINS, N. P.; PESSOA, R.; NASCIMENTO, R. Priorização na Resolução de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado: Método GUT. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, 28 ago. 2017.

MILNITZ, Dr. Diego; ORTEGA, André Luís Souza; ROSA, Jackson Alves da; RETKVA, Stefany Louise. Análise de manifestação patológica - fissuras: um estudo de caso em um residencial em Camboriú/SC. **REVISTA DE EXTENSÃO E INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIOCIESC**, 2021.

MITZSUZAKI, Caio Yukio Yasuda; SILVA, Alessandro Barbosa da; JESUS, Victor Almeida de; AMARANTE, Mayara do Santos. Patologias na construção civil. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 5, p. 132–145, 5 dez. 2019.

MONARD, M. C.; BARANAUSKAS, J. A. Capítulo 4 Conceitos sobre Aprendizado de Máquina. Em: **Sistemas inteligente para engenharia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999. p. 39–56.

NÓBREGA, N. P. DA; DELGADO, R. C. DE O. B. **Patologias na construção civil - análise das principais manifestações patológicas em residências do município de Paraú - RN**. Mossoró, 2019.

NOVAES, I. M. M.; POZNYAKOV, K. Patologias em Estruturas de Concreto Armado. **Revista Boletim do Gerenciamento nº**, v. 22, 2021.

OLIVEIRA, J. P. DE. **Metodologia de fusão de dados usando aprendizado profundo para segmentação semântica de usos de solo na Amazônia**. Manaus, 2021.

OLIVEIRA, Raianny Proença C. de; MAURICIO, Claudio Roberto M.; SANTOS, Valéria Nunes dos; PERES, Fabiana Frata F.. Detecção de Fissuras utilizando Redes Neurais Convolucionais. **Sociedade Brasileira de Computação**, 2021.

ÖZGENEL, Ç. F. **Concrete Crack Images for Classification**. Disponível em: <https://data.mendeley.com/datasets/5y9wdsg2zt/1> . Acesso em: 25 jun. 2023.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, Durabilidade e Vida Útil das Edificações: Abordagem Geral. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, p. 01–14, 2013.

RAUBER, T. W. **Redes Neurais Artificiais**. Vitória, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228686464> . Acesso em: 2 abr. 2023.

REZENDE, G. B. M.; BRITO, A. L. C.; FREITAS, L. S. A prática do ecodesign na construção civil e a busca pelo direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. **HOLOS**, v. 4, p. 266–281, 19 set. 2017.

SILVA, I. N. DA; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas: curso prático. **Revista Controle & Automação**, v. 23, n. 5, 2012.

SILVA, J. A. S. DA; MAIRINK, C. H. P. Inteligência artificial: aliada ou inimiga. **LIBERTAS: Rev. Ciênci. Soc. Apl.**, v. 9, n. 2, p. 64–85, 2019.

SILVA, P. A.; JONOV, P. M. C. **Patologia nas Edificações**. Curso de Aperfeiçoamento e Gestão na Construção Civil Pública. **Anais...**Belo Horizonte: UFMG, 2014.

SOUZA, M. M. DE. Principais patologias estruturais e atuais metodologias de controlena construção civil. **INTER-AMERICAN JOURNAL of Developpment and Research**, v. 2, p. 57–73, 2019.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia e reforço de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

STANGE, R. L. **Adaptatividade em Aprendizagem de Máquina: Conceitos e Estudo de Caso**. ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo, 2011.

TEIXEIRA, F. DOS S.; TEIXEIRA SANTOS, P. C.; ROCHA, C. A. Estudo Prospectivo Sobre Inteligência Artificial Aplicada ao Setor da Construção Civil. **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 4, p. 1134–1146, set. 2020.

TINOCO, J. E. L. **Mapa de danos - recomendações básicas**. Olinda: Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada, v. 43, 2009.

VALÉRIO, J. S. **Trincas e fissuras em estrutura de alvenaria: estudo de caso em uma residência em Ariquemes-RO**. Ariquemes, 2022.

VARGAS, A. C. G.; PAES, A.; VASCONCELOS, C. N. **Um estudo sobre Redes Neurais Convolucionais e sua aplicação em detecção de pedestres**. CONFERENCE ON GRAPHICS. **Anais...**São José dos Campos: Sociedade Brasileira de Computação, 2016. Disponível em: <http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGPAW/3ME3L2P> . Acesso em: 24 abr. 2023.

WAZIRI, B. S.; BALA, K.; BUSTANI, S. A. Artificial Neural Networks in Construction Engineering and Management. **International Journal of Architecture, Engineering and Construction**, v. 6, n. 1, 1 mar. 2017.

ZHANG, L. et al. **Road crack detection using deep convolutional neural network**. 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). **Anais...**Phoenix: IEEE, set. 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7533052/authors#authors> . Acesso em: 25 jun. 2023