



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS - CCET
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EDIVÂNIA CASTELO GOMES FERRES

**UM ESTUDO SOBRE A APLICABILIDADE DE SOFTWARES E
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END)
EM EDIFICAÇÕES DO CENTRO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS – MA**

São Luís – MA
2024

EDIVÂNIA CASTELO GOMES FERRES

UM ESTUDO SOBRE A APLICABILIDADE DE SOFTWARES E
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END)
EM EDIFICAÇÕES DO CENTRO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS – MA

Trabalho apresentado à Universidade
Federal do Maranhão como requisito para
conclusão do curso de Bacharelado em
Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof.^a Esp. Ana Elizabeth
Angelim Cunha

São Luís - MA
2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Castelo Gomes Ferres, Edivânia.

Um estudo sobre a aplicabilidade de softwares e equipamentos utilizados para ensaios não destrutivos em edificações do centro histórico de São Luís - MA / Edivânia Castelo Gomes Ferres. - 2024.

53f.

Orientador(a): Ana Elizabeth Angelim Cunha.

Cursode Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - Ma, 2024.

1. Engenharia Diagnóstica. 2. Patrimônio
Arquitetônico. 3. Ferramentas Diagnósticas. 4.
Softwares de Diagnóstico. 5. . I.
Angelim Cunha, Ana Elizabeth.

II. Título.

EDIVÂNIA CASTELO GOMES FERRES

UM ESTUDO SOBRE A APLICABILIDADE DE SOFTWARES E
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END)
EM EDIFICAÇÕES DO CENTRO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS – MA

Trabalho apresentado à Universidade
Federal do Maranhão como requisito para
conclusão do curso de Bacharelado em
Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof.^a Esp. Ana Elizabeth
Angelim Cunha

Aprovada em: ____/____/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Esp. Ana Elizabeth Angelim Cunha (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dr. Marcos Aurélio Araújo Santos
Universidade Federal do (UFMA)

Prof. Dr. Wener Miranda Teixeira dos Santos
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

A Deus.

À minha família, em especial, aos meus pais,
Edimar (in memoriam) e Maria do Carmo, e
ao meu filho Carlos Rogério.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço a Deus, pelo dom da vida, por todas as oportunidades que me concedeu e que continua me concedendo, bem como pela sua luz divina que me guia.

Aos meus pais Edimar (in memorian) e Maria do Carmo, pela paciência e apoio que me dedicaram durante minha vida e pela tolerância com todas as renúncias que precisaram ser compartilhadas em família por conta dos compromissos estudantis surgidos durante todo o período do curso de Graduação em Engenharia Civil na UFMA, em especial durante esta reta final.

Ao meu filho Carlos Rogério, pela inspiração e pelo apoio e companheirismo incondicionais, que ao longo dessa jornada fora colega de curso, e em muitas oportunidades, também de turma, fora ainda, meu monitor, consultor e porta-voz me auxiliando nas aprendizagens e compartilhando os desafios e conquistas, notadamente durante esta reta final.

À Prof.^a, Ana Elizabeth Angelim Cunha, pela disponibilidade, pela confiança, pela cortesia, pelos momentos de tolerância e de compreensão, bem como pelas várias trocas de experiência durante o curso e, principalmente, durante o período de orientação.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil da UFMA, pelo profissionalismo, pela disponibilidade, pela empatia, pela tolerância, bem como pelos valiosos conhecimentos compartilhados.

A todos os colegas das várias turmas pelas quais passamos no curso de Graduação em Engenharia Civil da UFMA, pelos exemplos de dedicação e pela motivação compartilhada, bem como pelas parcerias, reflexões, críticas e sugestões recebidas.

RESUMO

O centro histórico de São Luís do Maranhão, situado na região nordeste do Brasil, possui conjunto arquitetônico de aproximadamente 5.600 imóveis tombados, sendo 1.400 inscritos, em dezembro de 1997, na Lista de Patrimônio Mundial da UNESCO (s.d.). este conjunto arquitetônico carece de manutenção e cuidados especiais para sua preservação. O objetivo da presente revisão bibliográfica é abordar a relevância da Engenharia Diagnóstica com foco na cidade de São Luís, que em sua singularidade, caracteriza-se como campo de estudo e trabalho multidisciplinar e muito especialmente de Engenharia Civil, e mais especificamente da Engenharia Diagnóstica. A análise pretende demonstrar, através de revisão bibliográfica como a Engenharia Diagnóstica pode auxiliar na preservação e manutenção de construções, tanto antigas quanto modernas, garantindo a integridade estrutural e preservando o valor histórico desses imóveis. Para tanto são abordadas as tecnologias como softwares e equipamentos utilizados para Ensaio Não Destrutivo (END) no diagnóstico e monitoramento das edificações para tomada de decisão sobre a melhor abordagem construtiva a ser utilizada . O estudo se torna particularmente relevante em cidades como São Luís, onde o patrimônio arquitetônico necessita de atenção constante ao longo do tempo de forma a preservar a beleza, a história e garantir a memória e identidade culturais do povo que nela vive.

Palavras-chave: Engenharia Diagnóstica. Patrimônio Arquitetônico. Ferramentas Diagnósticas. Software de Diagnóstico.

ABSTRACT

The historical center of São Luís do Maranhão, located in the northeastern region of Brazil, consists of an architectural ensemble with approximately 5,600 listed buildings, 1,400 of which were inscribed on the UNESCO World Heritage List in December 1997. This architectural complex requires special maintenance and care for its preservation. This bibliographic review aims to discuss the relevance of Diagnostic Engineering, focusing on São Luís, a unique field of multidisciplinary study, particularly in Civil Engineering and more specifically in Diagnostic Engineering. The analysis demonstrates how Diagnostic Engineering can assist in the preservation and maintenance of both ancient and modern constructions, ensuring structural integrity and preserving the historical value of these buildings. The review explores the technologies, such as software and Non-Destructive Testing (NDT) tools, used in the diagnosis and monitoring of buildings to determine the best constructive approach. This study is particularly relevant in cities like São Luís, where the architectural heritage requires constant attention over time to preserve its beauty, history, and to guarantee the cultural memory and identity of its people.

Keywords: Diagnostic Engineering. Architectural Heritage. Diagnostic Tools. Diagnostic Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organograma das etapas do trabalho.	3
Fonte: Castelo, 2024	
Figura 2 - Diagrama Diagnóstico.	7
Fonte: Gomide e Flora (2018).	
Figura 3 - Visão sistêmica	8
Fonte: Gomide e Flora (2018).	
Figura 4 - Principais regramentos sobre atributos e responsabilidade do Engenheiro.	8
Fonte: Gomide e Flora (2018).	
Figura 5 - Ferramentas e Instrumentos da ED e sua relação com o Tetra IN	10
Fonte: Gomide e Flora (2018).	
Figura 6 - Fluxograma da sequência de utilização das ferramentas da engenharia diagnóstica	17
Fonte: Gomide e Flora (2018).	
Figura 7 - Ensaio de compressão de concreto.	19
Fonte: Helene (2011).	
Figura 8 - Ensaio de tração de aço.	19
Fonte: Helene (2011).	
Figura 9 - Círculo Cromático.	21
Fonte: Gomide e Flora (2018).	
Figura 10 - Prédio histórico modelado em Revit	23
Fonte: Tolentino (2018).	
Figura 11 - Cortes e Fachadas de prédio histórico desenhados em AutoCAD.	24
Fonte: Bibliocad.	

Figura 12 - Simulação de esforços em uma viga no ANSYS.	24
Fonte: Computational Skills (YouTube).	
Figura 13 - Modelagem no ArcGIS	25
Fonte: ESRI.	
Figura 14 - Termografia de fachada de prédio histórico.	27
Fonte: Raposo (2017).	
Figura 15 - Boroscópio em utilização para verificar o interior de uma tubulação.	28
Fonte: Triplett.	
Figura 16 - Drone para filmagem aérea	29
Fonte: UOL (2015).	
Figura 17 - Ensaio de Ultrassom	29
Fonte: DSP Engenharia & Inspeções.	
Figura 18 - Ensaio de carbonatação	30
Fonte: Mapa da Obra (2018).	
Figura 19 - Ensaio de esclerometria	30
Fonte: Bungenstab (2019).	
Figura 20 - Demonstração de Mapeamento com Laser Scanner 3D	31
Fonte: Fusos Engenharia.	

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(IBAPE/SP) - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas

ED – Engenharia Diagnóstica

ED – Ensaio Destrutivo

END – Ensaio Não Destrutivo

IPHAM – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PPEEURD – Planejamento, Projeto, Exceção, Entrega da Obra, Uso, Reabilitação e
Reconstrução

Tetra IN – Inferência, Inter-Relação, Intuição, Informação

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA.....	2
3. ENGENHARIA DIAGNÓSTICA	4
3.1 Origens.....	4
3.2 No Brasil	4
4. O CONTEXTO DE SÃO LUÍS – MA.....	5
4.1 Desafios na Engenharia Diagnóstica em São Luís do Maranhão	5
4.1.1 Degradação Natural e Climática	5
4.1.2 Manutenção Insuficiente.....	5
4.1.3 Intervenções Inadequadas	5
4.1.4 Conflitos entre Modernização e Preservação	5
4.1.5 Falta de Tecnologias Apropriadas	6
4.1.6 Capacitação Técnica	6
5 PRINCIPAIS CONCEITOS ENGENHARIA DIAGNÓSTICA.....	7
5.1 Diretrizes principais da NBR 5674 – Manutenção de Edificações	9
5.1.1 Responsabilidade pela manutenção.....; ; ; ;	9
5.1.2 Plano de Manutenção	9
5.1.3 Vistorias e Inspeções.....;	9
5.1.4 Registro das Intervenções	9
5.1.5 Adequação ao Uso.....; ...	10
5.2 Ferramentas e Técnicas da Engenharia Diagnóstica.....	10
5.2.1. Ferramentas Diretas ABNT NBR 13752 - Norma de Perícias de Engenharia	11

5.2.1.1. Vistoria - ABNT NBR 16747/2020 – Inspeção Predial.....	11
5.2.1.1.1. Tipos de vistorias	11
5.2.1.2 Inspeção Predial - ABNT NBR 16747.....	11
5.2.1.2.1. Níveis de inspeção predial	12
5.2.1.2.2 Classificação do Grau de Risco	13
5.2.1.3. Auditoria - ABNT NBR 16747.....	14
5.2.1.3.1. Tipologias das Auditorias	14
5.2.1.3.2 Documentação.....	14
5.2.1.3.3 Tópicos Do Laudo De Auditoria.....	15
5.2.1.4 Perícia - ABNT NBR 13752	16
5.2.1.4.1 Classificação	16
5.2.1.4.2 Tipos de Perícia.....	16
5.2.2 Ferramentas Diretas	16
5.2.2.1 Consultoria.....	16
5.2.3 Campos De Ação	17
6. MÉTODOS DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA.....	18
6.1. Métodos Destrutivos	18
6.1.1 Ensaio de compressão de concreto	18
6.1.2 Ensaio de tração em aço.....	19
6.2 Métodos Não Destrutivos	20
6.2.1 Ultrassom.	20
6.2.2 Termografia.....	21
6.2.3 Ensaio de Emissão Acústica.....	22
6.2.4 Esclerometria	22

6.2.5 Monitoramento Estrutural.....	23
7. SOFTWARES E DISPOSITIVOS UTILIZADOS EM ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS UTILIZADOS NA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA	23
7.1 <i>Softwares</i>	23
7.2 Equipamentos.....	26
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
8.1 Câmeras Termográficas	27
8.2. Boroscópios.....	28
8.3 Drones	29
8.4 Ensaio Não Destrutivo (END) – Ultrassom	29
8.5 Ensaio de Carbonatação	30
8.6 Esclerometria	30
8.7 Laser Scanner 3D.....	31
8.8 Monitoramento Estrutural Contínuo	32
9 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

A Engenharia Diagnóstica é uma área da Engenharia Civil dedicada à identificação e solução de patologias em edificações, sendo uma ferramenta essencial para garantir a manutenção preventiva e corretiva de construções. Gomide, Neto, Gullo (2015, p. 17) definem a Engenharia Diagnóstica como “a arte de criar ações proativas por meio dos diagnósticos, prognósticos e prescrições técnicas, visando a qualidade total”.

Em cidades como São Luís, no Maranhão, onde há um vasto patrimônio histórico e Arquitetônico, a aplicação dessa especialidade se mostra indispensável para a identificação da melhor abordagem construtiva para esses espaços, garantindo a integridade dos processos e técnicas utilizados para a preservação e segurança de construções antigas e de edificações modernas que também sofrem com as agressividades do clima e da característica insular da Capital.

A preservação de edifícios históricos é fundamental para a continuidade da memória cultural de uma região. As edificações desempenham um papel vital na identidade urbana, e sua conservação depende de um diagnóstico técnico eficaz. A cidade de São Luís, possui características climáticas que representam alto índice de agressividade para construções tais como a alta umidade e salinidade e por possuir um acervo com características arquitetônicas singulares há uma necessidade de manutenção contínua e meticulosa para evitar descaracterização e outros danos.

A análise pretende demonstrar, através de revisão bibliográfica como a Engenharia Diagnóstica pode auxiliar na preservação e manutenção de construções, tanto antigas quanto modernas, garantindo a integridade estrutural e preservando o valor histórico desses imóveis. Para tanto são abordadas as tecnologias como softwares e equipamentos utilizados para Ensaio Não Invasivo (END) no diagnóstico e monitoramento das edificações para tomada de decisão sobre a melhor abordagem construtiva a ser utilizada.

2. METODOLOGIA

O presente estudo baseou-se em uma revisão bibliográfica, fundamentando-se em uma pesquisa abrangente que envolveu tanto fontes bibliográficas quanto documentais. Para a coleta de informações, foram utilizadas diversas fontes, como livros, artigos científicos, monografias de literatura nacional, além de pesquisas realizadas no Google Acadêmico. Neste contexto, foram empregados os termos "engenharia diagnóstica" e "manutenção de edifícios" como palavras-chave, o que resultou em um retorno de aproximadamente 21 mil resultados. No entanto, para garantir a relevância dos dados, foi utilizado o critério de proximidade temporal, priorizando materiais publicados entre os anos de 2019 e 2024. Apenas os 30 primeiros resultados, que mantinham estreita relação com o objeto de estudo, foram considerados para análise.

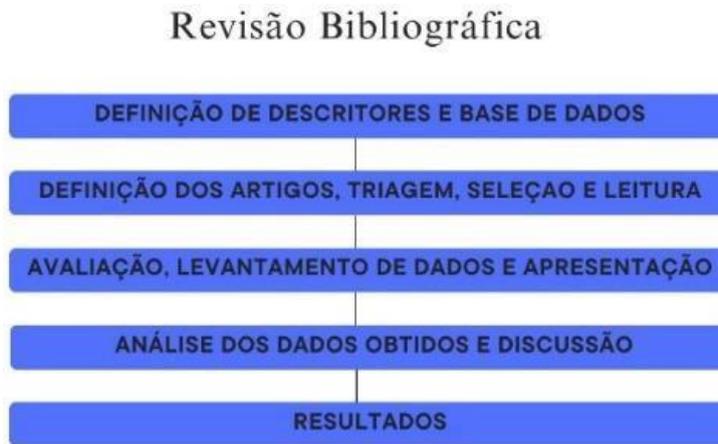
A partir da seleção dos materiais relevantes, deu-se início ao processo de análise, síntese e fichamento das obras consultadas. Essa etapa foi fundamental para estruturar o trabalho, consolidando as informações e fornecendo uma visão abrangente e profunda do tema. Esse aprofundamento é essencial em estudos bibliográficos, conforme indicado por Marconi e Lakatos (2001), que afirmam que a pesquisa bibliográfica possibilita ao pesquisador uma maior proximidade com o tema escolhido. Tal abordagem o insere em um contexto teórico que abrange conceitos amplos e interconectados, indo além da simples coleta de dados.

Após a análise detalhada das fontes, o estudo prosseguiu com uma discussão sobre o material encontrado. Essa fase do trabalho permitiu ao autor levantar os pontos importantes presentes na literatura acerca do tema e expô-los de forma coesa. Em seguida, as conclusões foram elaboradas com base nas reflexões obtidas ao longo do processo de revisão e análise bibliográfica, fornecendo uma síntese das principais contribuições teóricas e práticas.

No âmbito metodológico, o estudo seguiu o enfoque bibliográfico, uma abordagem amplamente reconhecida por sua capacidade de proporcionar uma base sólida para o desenvolvimento de pesquisas. Como destacado por Gil (2008), esse tipo de investigação é desenvolvido a partir de materiais já elaborados, sobretudo livros e artigos científicos, permitindo ao pesquisador acessar um corpo teórico consolidado. Esse método oferece uma plataforma robusta para a compreensão das contribuições teóricas existentes, além

de servir como fundamento para a formulação de novas hipóteses e para a realização de estudos empíricos futuros.

Figura 1: Organograma das etapas do trabalho



Fonte: Castelo, 2024.

3. ENGENHARIA DIAGNÓSTICA

3.1 Origens

A prática de diagnosticar estruturas remonta aos tempos antigos, com registros de inspeções em construções feitas por arquitetos romanos e gregos. No entanto, foi a partir do século XX que a Engenharia Diagnóstica começou a se consolidar como uma disciplina técnica. O avanço dos materiais de construção e a necessidade de maior segurança estrutural impulsionaram o desenvolvimento dessa especialidade, especialmente em países da Europa Ocidental e nos Estados Unidos.

A formalização de técnicas diagnósticas ocorreu nos anos 1970, quando começaram a ser incluídas em códigos de construção e regulamentos de segurança. Esses métodos são hoje utilizados para preservar tanto construções modernas quanto patrimônios históricos, garantindo a longevidade das edificações e evitando falhas estruturais graves.

3.2 No Brasil

No Brasil, a Engenharia Diagnóstica ganhou força nos anos 1990, motivada pelo envelhecimento das construções e pela necessidade de aplicar métodos mais eficazes de monitoramento. A Engenharia Diagnóstica (ED) foi conceituada, historicamente no Brasil, em 2005 no I Seminário de Inspeção e Manutenção predial promovido pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE/SP) tendo o engenheiro Gomide como precursor desta disciplina. Este autor a aborda como uma área voltada a vertente técnica/anomalias construtivas, de uso/anomalias funcionais e de manutenção/falhas; com o trabalho direcionado a análises documentais e recomendações. A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) desempenhou um papel central ao estabelecer normas como a **NBR 5674**, que define as diretrizes para a manutenção predial. As grandes cidades, como São Paulo e Rio de Janeiro, foram pioneiras na aplicação dessas técnicas devido ao elevado número de construções de grande porte, mas sua aplicação tem se expandido para outras regiões do país, como o Norte e Nordeste.

4. O CONTEXTO DE SÃO LUÍS – MA

No contexto da engenharia diagnóstica em São Luís do Maranhão, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) tem um papel fundamental na classificação e preservação do patrimônio histórico. O centro histórico de São Luís é reconhecido pela UNESCO como Patrimônio Mundial desde 1997, o que reforça a importância de sua conservação e proteção. O IPHAN classifica os imóveis e áreas protegidas com base em sua relevância histórica, artística e arquitetônica, e sua responsabilidade envolve garantir que as intervenções realizadas sigam normas rigorosas para preservar as características originais das edificações.

4.1 Desafios na Engenharia Diagnóstica em São Luís do Maranhão

4.1.1 Degradação Natural e Climática

São Luís está localizada em uma região tropical, o que significa que os edifícios históricos estão sujeitos a um clima de alta umidade, fortes chuvas e variações de temperatura. Isso acelera a degradação dos materiais, como a infiltração de água e a corrosão das estruturas de ferro e aço.

4.1.2 Manutenção Insuficiente

Muitos imóveis no centro histórico enfrentam a falta de manutenção contínua. A falta de recursos financeiros e técnicos limita as intervenções preventivas, o que resulta em problemas estruturais mais graves ao longo do tempo.

4.1.3 Intervenções Inadequadas

Outro desafio significativo é a execução de obras e reformas inadequadas, muitas vezes sem seguir as normas do IPHAN ou sem a devida supervisão técnica. Isso pode resultar em danos irreversíveis aos elementos históricos e arquitetônicos.

4.1.4 Conflitos entre Modernização e Preservação

O equilíbrio entre a modernização das estruturas (para atender às demandas de segurança e funcionalidade atuais) e a preservação dos aspectos históricos é um grande

desafio. Intervenções mais invasivas podem prejudicar o valor patrimonial, enquanto intervenções mais conservadoras podem limitar a utilidade do edifício.

4.1.5 Falta de Tecnologias Apropriadas

Embora haja avanços na engenharia diagnóstica, como o uso de drones, câmeras termográficas e ultrassom, muitas vezes os recursos disponíveis localmente são limitados. Há um desafio logístico e financeiro em trazer essas tecnologias de ponta para a preservação de patrimônio em larga escala.

4.1.6 Capacitação Técnica

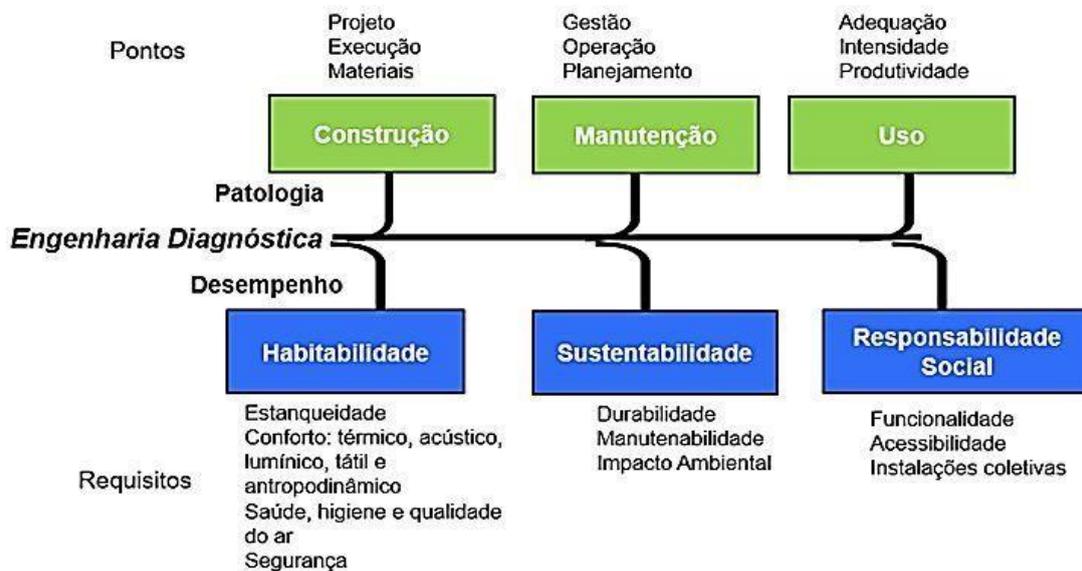
A falta de profissionais especializados em engenharia diagnóstica e restauração de patrimônio histórico também é uma barreira. A atuação de equipes técnicas que conheçam tanto as exigências do IPHAN quanto as técnicas avançadas de diagnóstico é fundamental para intervenções apropriadas.

Esses desafios destacam a importância de um planejamento criterioso e de parcerias entre o IPHAN, instituições acadêmicas e profissionais especializados para garantir que o patrimônio de São Luís seja adequadamente protegido para as gerações futuras.

5. PRINCIPAIS CONCEITOS ENGENHARIA DIAGNÓSTICA

A Engenharia Diagnóstica envolve um conjunto de atividades técnicas cujo objetivo principal é prevenir, identificar e corrigir falhas nas edificações, garantindo sua durabilidade e segurança. Segundo Gomide e Flora (2018, p.11): “Disciplina das investigações técnicas para determinar os diagnósticos de manifestações patológicas e níveis de desempenho das construções, visando aprimorar Qualidades ou apurar Responsabilidades”. O Engenheiro diagnóstico, desenvolve suas atividades estudando a Patologia e o Desempenho, conforme o Diagrama diagnóstico representado na Figura 2.

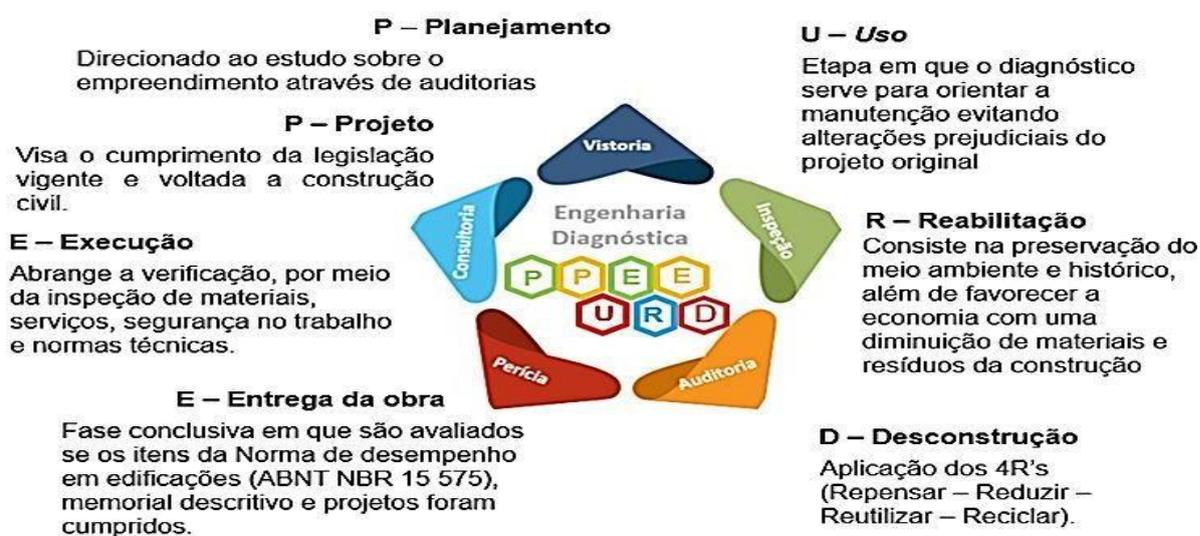
Figura 2: Diagrama Diagnóstico



Fonte: Gomide e Flora, 2018.

Gomide e Flora (2018), destacam na Figura 2, a visão sistêmica simbolizadas por PPEEURD da aplicabilidade da Engenharia Diagnóstica suas etapas, nomes e definições.

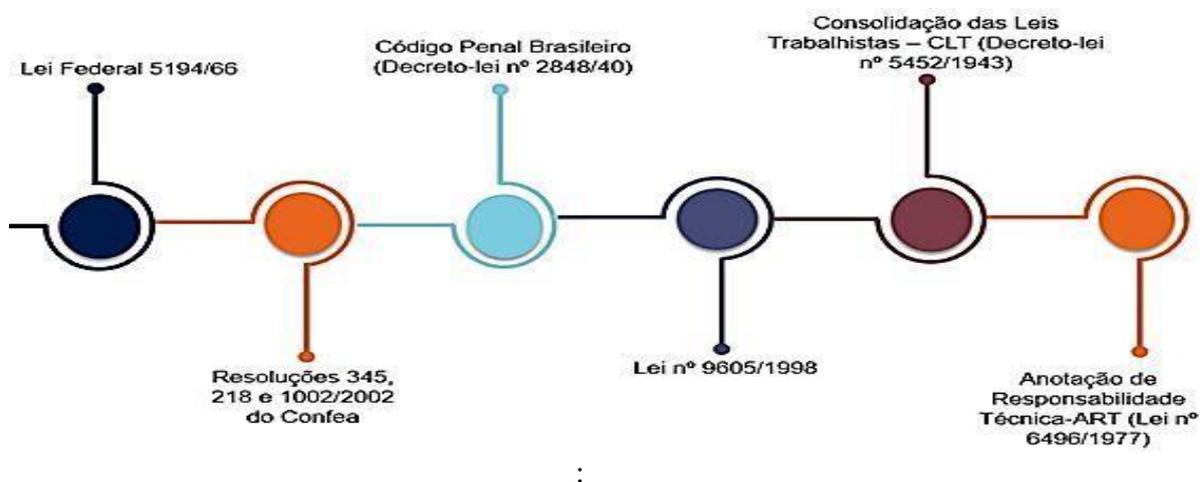
Figura 3: Visão sistêmica



Fonte: Gomide e Flora, 2018.

A atribuição e responsabilidade profissional no exercício da Engenharia Diagnóstica são apresentados por Gomide; Fagundes Neto; Gullo (2015, p.27-30) em que principais regramentos estão indicados na Figura 4:

Figura 4: Principais regramentos sobre atributos e responsabilidade do Engenheiro



Fonte: Gomide e Flora, 2018.

Essas atividades são regulamentadas por normas técnicas, como a ABNT NBR 5674 (Manutenção de Edificações - Requisitos para o Sistema de Gestão de Manutenção).

A norma estabelece os critérios para a manutenção de edificações, visando assegurar o desempenho adequado dos componentes e sistemas construtivos ao longo de sua vida útil.

De acordo com a **NBR 5674**, a manutenção predial deve ser conduzida com base em diretrizes que garantam a preservação da segurança, funcionalidade e valor das edificações. A norma enfatiza a importância de estabelecer um plano de manutenção preventiva e corretiva, com a finalidade de minimizar os custos operacionais e evitar problemas graves nas estruturas. Além disso, ela prevê a necessidade de inspeções regulares e o uso de técnicas adequadas para o diagnóstico de problemas, alinhando-se perfeitamente ao contexto da Engenharia Diagnóstica.

5.1 Diretrizes principais da NBR 5674 – Manutenção de Edificações

5.1.1 Responsabilidade pela manutenção

A norma especifica que o proprietário ou gestor do imóvel é o responsável pela manutenção adequada da edificação, devendo garantir que todas as ações necessárias sejam tomadas para preservar a segurança, o desempenho e a durabilidade da construção.

5.1.2 Plano de Manutenção

A norma exige a elaboração de um plano de manutenção que inclua a definição dos serviços necessários, a periodicidade das intervenções e os métodos de controle. O plano deve contemplar tanto ações preventivas para evitar o surgimento de patologias, quanto ações corretivas, para corrigir problemas já identificados.

5.1.3 Vistorias e Inspeções

A norma estabelece que as vistorias periódicas são fundamentais para a identificação de anomalias que possam comprometer o desempenho da edificação. As inspeções podem ser visuais ou complementadas por ensaios e testes específicos, dependendo da complexidade do problema.

5.1.4 Registro das Intervenções

A norma também recomenda que todas as intervenções de manutenção sejam registradas de forma organizada, permitindo um histórico detalhado de todas as ações

realizadas na edificação. Esse registro é essencial para o monitoramento do desempenho da edificação ao longo do tempo.

5.1.5 Adequação ao Uso

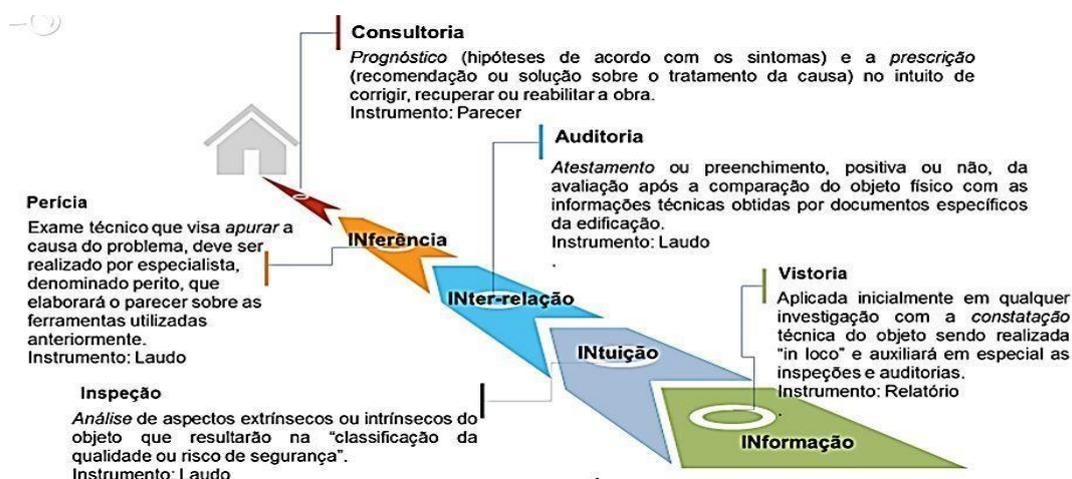
A norma destaca a importância de realizar manutenções que garantam a adequação da edificação ao uso a que ela se destina, visando prolongar sua vida útil e preservar seu valor. Para edificações históricas, como é o caso do centro de São Luís, isso significa que a manutenção deve respeitar a originalidade dos materiais e técnicas construtivas utilizadas.

Essas diretrizes são especialmente relevantes no contexto do trabalho, pois cidades com patrimônio histórico e arquitetônico, como São Luís, requerem atenção especial à manutenção predial, considerando o valor cultural e histórico das construções. A aplicação dessas diretrizes ajuda a preservar o valor arquitetônico das edificações e garantir sua longevidade, reduzindo os riscos de danos estruturais, descaracterização e deterioração precoce.

5.2 Ferramentas e Técnicas da Engenharia Diagnóstica

As ferramentas utilizadas para realizar o Diagnóstico nas edificações servem como orientação técnica e atualmente são classificadas em Vistoria, Inspeção, Auditoria, Perícia e Consultoria, que serão descritas na Figura 5:

Figura 5: Ferramentas e Instrumentos da ED e sua relação com o Tetra IN



Fonte: Gomide e Flora, 2018.

Essas ferramentas são divididas em diretas e indiretas, onde as diretas são as investigações técnicas realizadas dentro da construção caracterizada pela informação, intuição, inter-relação e inferência. A investigação técnica indireta é realizada em laboratório ou através de estudos e especificações ou projetos de construção. São consideradas diretas: vistoria, inspeção, auditoria e perícia. E considerada indireta a consultoria (GOMIDE et al., 2021).

5.2.1. Ferramentas Diretas ABNT NBR 13752 - Norma de Perícias de Engenharia

5.2.1.1. Vistoria - ABNT NBR 16747/2020 – Inspeção Predial

Segundo o instituto de Engenharia, é a constatação técnica de determinado fato, condição ou direito relativo a um edifício. Em um relatório é apresentada constatações através de fotos da edificação que apresenta problemas ou comprova a ausência deles. Nessa ferramenta não se faz análise ou diagnóstico e não precisa ser feito por profissional especializado. É uma análise preliminar realizada por meio de observação visual, com o objetivo de verificar as condições gerais de uma edificação. A vistoria não requer o uso de equipamentos avançados e se limita a identificar sinais aparentes de problemas, como trincas e infiltrações. Essa etapa inicial é fundamental para determinar a necessidade de inspeções mais detalhadas.

5.2.1.1.1. Tipos de vistorias

- Vistoria Cautelar De Vizinhança
- Vistoria De Conclusão De Obra
- Vistoria De Recebimento De Obra
- Vistoria De Imóveis Locativos

Um relatório de vistorias não apresenta conclusões, uma vez que é apenas constatação de fatos, dessa forma é apresentada as considerações finais e não podendo opinar sobre risco e qualidade.

5.2.1.2 Inspeção Predial - ABNT NBR 16747

Segundo o instituto de Engenharia, é a análise técnica de determinado fato, condição ou direito relativo a um edifício, com base em informações genéricas e interpretação baseada na experiência do engenheiro diagnóstico. É um procedimento técnico que envolve a análise isolada ou combinada das condições técnicas de uso e manutenção de uma edificação, podendo incluir o uso de equipamentos específicos para identificar possíveis patologias. Complementam essas definições, outras contidas nas normas ABNT NBR 5674, ABNT NBR 15575 e ABNT NBR 14037. A inspeção pode ser preventiva, como parte de um plano de manutenção periódica, ou corretiva, quando há suspeita de problemas estruturais). Inspeções regulares são essenciais para garantir a segurança e a durabilidade das construções. Exemplos deste tipo de ferramentas são: inspeção de recebimento de obra, inspeção de edifícios em garantia e inspeção predial.

Dentro das ferramentas da engenharia diagnóstica, alguns métodos de análise facilitam o trabalho. Um desses métodos é a matriz GUT, que é capaz de identificar todas as anomalias encontradas e classificá-las por ordem de gravidade, urgência e tendência facilitando o processo de manutenção de uma edificação. É importante esclarecer no laudo, as condições de uso, segurança e conservação que esse tipo de laudo não tem a obrigatoriedade de indicar terapia corretiva adequada, esse tipo de serviço é de responsabilidade de outro tipo de ferramenta que é a consultoria (PIRES,2023).

A Norma De Inspeção Predial NBR 16747, define a inspeção predial como a análise isolada ou combinada das condições técnicas, de uso e de manutenção da edificação. Além disso, classifica a inspeção quanto a sua complexidade e elaboração de laudo, consideradas as características técnicas da edificação, manutenção e operação existentes e necessidade de formação de equipe multidisciplinar para execução dos trabalhos. De acordo com a Norma, os níveis de inspeção predial podem ser classificados em nível 1, nível 2 e nível 3.

5.2.1.2.1. Níveis de inspeção predial

- Nível 1: Realizada em edificações com baixa complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos e sistemas construtivos. Comumente empregada em edificações com planos de manutenção muito simples ou inexistentes. Nesse nível, a inspeção predial é elaborada por profissionais habilitados em uma especialidade.

- Nível 2: Inspeção Predial realizada em edificações com média complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos e sistemas construtivos, de padrões construtivos médios e com sistemas convencionais. Normalmente empregada em edificações com vários pavimentos, com ou sem plano de manutenção, mas com empresas terceirizadas contratadas para execução de atividades específicas como: manutenção de bombas, portões, reservatórios de água, dentre outros. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados em uma ou mais especialidades.
- Nível 3: Inspeção Predial realizada em edificações com alta complexidade técnica, de manutenção e operação de seus elementos e sistemas construtivos, de padrões construtivos superiores e com sistemas mais sofisticados. Normalmente empregada em edificações com vários pavimentos ou com sistemas construtivos com automação. Nesse nível de inspeção predial, obrigatoriamente, é executado na edificação um Manutenção com base na ABNT NBR 5674. Possui, ainda, profissional habilitado responsável técnico, plano de manutenção com atividades planejadas e procedimentos detalhados, software de gerenciamento, e outras ferramentas de gestão do sistema de manutenção existente. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados e de mais de uma especialidade. Nesse nível de inspeção, o trabalho poderá ser intitulado como de Auditoria Técnica.

5.2.1.2.2 Classificação do Grau de Risco

A classificação quanto ao grau de risco de uma anomalia ou falha deve sempre ser fundamentada, conforme limites e os níveis da Inspeção Predial realizada, considerado o grau de risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio. Pode ser classificado como:

- Crítico - Risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralisações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível de vida útil.

- Médio - Risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação sem prejuízo à operação direta de sistemas, e deterioração precoce.
- Mínimo - Risco de causar pequenos prejuízos à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou sem a probabilidade de ocorrência dos riscos críticos e regulares, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor imobiliário.

5.2.1.3. Auditoria - ABNT NBR 16747

Segundo o Instituto De Engenharia é o atestado técnico de conformidade, ou não, isolado ou combinado, das condições técnicas, de uso e de manutenção de uma edificação. Essa ferramenta verifica se as práticas de manutenção estão sendo conduzidas de acordo com os padrões e normas estabelecidos. Ela é realizada por meio da análise de registros e relatórios de manutenção, comparando-os com as exigências técnicas da ABNT e outros órgãos reguladores. Auditorias prediais são fundamentais para assegurar a conformidade com as normas de segurança e evitar riscos futuros.

5.2.1.3.1. Tipologias das Auditorias

- Auditoria Legal - É aquela embasada em legislações;
- Auditoria Normativa - É aquela embasada em normas técnicas;
- Auditoria Contratual - É aquela embasada em contrato;
- Auditoria De Especificação - É aquela embasada em especificação técnica ou memorial descritivo;
- Auditoria De Projeto - É aquela embasada em projetos;
- Auditoria De Obra - É aquela embasada no manual de serviços de execução – projetos executivos e/ou memoriais.

5.2.1.3.2 Documentação

Exemplos de alguns documentos administrativos, técnicos e legais usualmente averiguados nas auditorias, conforme:

- Administrativa - Notas Fiscais; Regulamentos; Livros de Anotações; Recibos; Outros.
- Técnica - Memoriais descritivos; Projetos; Manuais técnicos; Especificações; Contratos; Outros.
- Legal - Legislações federais, estaduais e municipais; Normas e Regulamentos federais, estaduais e municipais; Provimientos dos poderes públicos e autarquias; Outros.

5.2.1.3.3 Tópicos Do Laudo De Auditoria

Os laudos devem conter:

- Identificação do solicitante;
- Classificação do tipo de vistoria;
- Localização;
- Data da diligência;
- Descrição técnica do objeto;
- Documentação analisada;
- Critério e metodologia adotada;
- Das informações; Roteiro da diligência;
- Check-list;
- Anotações dos Atestamentos de conformidades e não conformidades;
- Anexos;
- Data do laudo;

- Assinatura do(s) profissional (ais) responsável (eis), acompanhado do número de seu registro profissional;
- Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) ou RRT.

5.2.1.4 Perícia - ABNT NBR 13752

Segundo a norma, é a atividade que envolve apuração de causas que motivaram determinado evento ou da asserção de direitos.” É a apuração técnica da origem, causa e mecanismo de ação de um fato, condição ou direito relativo a um edifício. É um procedimento técnico e investigativo realizado por um perito, onde o objetivo é identificar as causas e responsabilidades por danos ou falhas em edificações. A perícia é frequentemente utilizada em contextos judiciais, quando há disputas sobre a origem de um problema, como defeitos de construção ou uso inadequado do imóvel.

5.2.1.4.1 Classificação

- quanto a sua espécie;
- conforme o objeto, objetivo;
- e a finalidade do trabalho;

5.2.1.4.2 Tipos de Perícia

- Avaliação de bens, de seus frutos e direitos (ABNT NBR 14653);
- Exame;
- Vistoria de causalidade;
- Possessória e dominial;
- Avaliação de impactos em contratos de obras e serviços de construção civil.

5.2.2 Ferramentas Diretas

5.2.2.1 Consultoria

Segundo o instituto de Engenharia o prognóstico e a prescrição técnica a respeito de um fato, condição ou direito relativo a um edifício. É o serviço prestado por especialistas que orientam sobre as melhores práticas para prevenir ou corrigir problemas

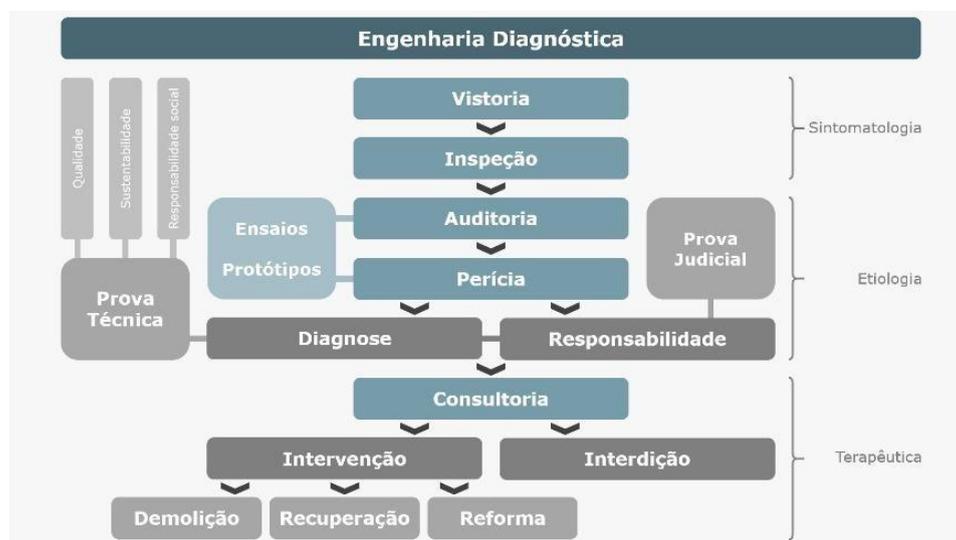
em edificações. O consultor, com base em sua expertise, recomenda metodologias diagnósticas, materiais e técnicas construtivas para a solução de patologias detectadas.

Estas ferramentas ainda enquadram-se em três campos de ação, que também estão hierarquicamente estruturados: sintomatologia, etiologia e terapêutica. (GOMIDE; FAGUNDES NETO; GULLO, 2013)

5.2.3 Campos De Ação

- **Sintomatologia** envolve a observação e análise dos sintomas e das condições físicas das anomalias construtivas e falhas de manutenção. Nesse campo, são aplicadas a vistoria e a inspeção.
- **Etiologia** diz respeito à identificação dos efeitos, origens, causas, mecanismos de ação, agentes e fatores que contribuem para o agravamento das anomalias construtivas e falhas de manutenção. Aqui, utilizam-se a auditoria e a perícia.
- **Terapêutica** compreende os estudos e a definição das medidas de reparação das anomalias construtivas e falhas de manutenção. Nesse âmbito, a consultoria é a ferramenta empregada.

Figura 6 - Fluxograma da sequência de utilização das ferramentas da engenharia diagnóstica



Fonte: Gomide e Flora, 2018.

6. MÉTODOS DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA

6.1. Métodos Destrutivos

Consistem em ensaios que exigem a remoção ou danificação de uma parte da estrutura para que seja possível avaliar a integridade dos materiais ou componentes. Esses métodos são normalmente utilizados quando é necessário um exame mais detalhado e direto das propriedades físicas dos materiais, como sua resistência, composição e comportamento sob carga.

Os métodos destrutivos consistem em ensaios que exigem a remoção ou danificação de uma parte da estrutura, permitindo a avaliação direta e precisa das propriedades físicas dos materiais, como a resistência e o comportamento sob carga. Conforme descrito por Helene (2011), esses métodos são amplamente utilizados para garantir que as estruturas atendam às exigências normativas e de segurança. No entanto, sua aplicação precisa ser cuidadosamente planejada para evitar a perda irreparável da integridade da edificação.

6.1.1 Ensaio de compressão de concreto

O ensaio de compressão de concreto é um dos métodos destrutivos mais frequentes na engenharia civil, conforme Helene (2011) descreve em suas análises. Neste método, um corpo de prova de concreto é submetido à compressão até o ponto de ruptura. Esse ensaio é essencial para determinar a resistência à compressão do material, um parâmetro crucial para a segurança estrutural. Contudo, ele exige a extração de uma amostra da estrutura, o que pode comprometer sua integridade se não for adequadamente reparado (Helene, 2011). Esse tipo de ensaio permite determinar a resistência do material, mas exige a retirada de uma parte da estrutura, o que pode comprometer sua integridade caso não seja devidamente reparada.

Figura 7: Ensaio de compressão de concreto



Fonte: Helene, 2011.

6.1.2 Ensaio de tração em aço

Outro método destrutivo importante é o ensaio de tração em aço, no qual uma amostra do aço utilizado na estrutura é submetida a esforços de tração até sua ruptura. Segundo Helene (2011), este ensaio permite avaliar o comportamento do aço sob tensão, fornecendo dados sobre sua resistência e ductilidade. Tal como o ensaio de compressão, esse método exige a extração de uma amostra da estrutura, o que também pode afetar a integridade da construção se não houver um plano de recuperação adequado (Helene, 2011). Apesar de fornecer dados valiosos, esse método também é invasivo e requer a extração de uma amostra da estrutura.

Figura 8: Ensaio de tração de aço



Fonte: Helene, 2011.

Os métodos destrutivos, embora ofereçam dados extremamente precisos, devem ser aplicados com cautela para evitar danos irreparáveis às edificações, especialmente em construções históricas ou de valor patrimonial. A precisão dos dados fornecidos por esses ensaios justifica seu uso, mas a decisão de aplicá-los deve sempre considerar a integridade da estrutura a longo prazo (Helene, 2011).

6.2 Métodos Não Destrutivos

São ensaios que permitem a avaliação da integridade de materiais e estruturas sem causar danos permanentes ou comprometer sua funcionalidade. Esses métodos são amplamente utilizados em edificações onde a preservação da estrutura é essencial, como em prédios históricos ou monumentos, onde em muitos casos, os materiais são únicos, muitas vezes insubstituíveis ou possuem um custo muito alto para aquisição de réplicas que são, em sua maioria, importadas da Europa, em especial de Portugal, bem como em construções modernas que não podem ser danificadas durante o processo de diagnóstico.

Entre os métodos não destrutivos mais utilizados estão:

6.2.1 Ultrassom

É uma técnica que utiliza ondas sonoras de alta frequência para detectar falhas internas, vazios, fissuras e discontinuidades em materiais, como concreto e aço. O dispositivo de ultrassom emite ondas que atravessam o material e retornam com variações na sua velocidade e amplitude, dependendo das características do material analisado. O ultrassom é comumente utilizado para avaliar a integridade de vigas de concreto armado,

onde pode detectar fissuras internas ou áreas de baixa densidade que não são visíveis a olho nu. O ultrassom é uma técnica confiável e amplamente empregada para diagnosticar falhas estruturais sem a necessidade de remover partes da edificação.

6.2.2 Termografia

É um método que utiliza câmeras infravermelhas para medir a temperatura superficial dos materiais. Através da variação de temperatura, a termografia pode identificar áreas de umidade, infiltrações, falhas no isolamento térmico e sobreaquecimento em sistemas elétricos e hidráulicos. É um método bastante utilizado por sua capacidade de fornecer diagnósticos rápidos e não invasivos. Em um edifício histórico de São Luís, a termografia pode ser usada para identificar infiltrações nas paredes sem a necessidade de perfurações.

A câmera térmica capta áreas onde há perda de calor ou umidade, indicando os pontos exatos que necessitam de reparos. Raposo (2017, p. 12) aborda esta técnica como “análise com carácter não destrutivo” permitindo avaliações detalhadas quanto ao estado de conservação do edifício e identificação de patologias em que uma das principais limitações é que a determinação da profundidade e da espessura da anomalia localizada necessitam de um acompanhamento e ensaios mais específicos.

Kramer e Marques (2018) classificam as cores aquelas pertencente à família quente como vermelho, laranja e amarelo, localizadas no lado direito do círculo, enquanto à fria, o roxo, o azul e o verde, situadas do lado esquerdo. Como é possível observar na figura a seguir:

Figura 9: Círculo Cromático



Fonte: Gomide e Flora, 2018.

6.2.3 Ensaio de Emissão Acústica

Envolvem o uso de sensores que captam ondas acústicas geradas por deformações ou microfissuras em materiais. Quando um material é submetido a tensões ou impactos, ele emite sinais acústicos que podem ser monitorados para identificar o início de falhas ou pontos críticos de tensão. Em edifícios com estrutura de concreto, como prédios antigos do centro histórico de São Luís, a emissão acústica pode ser usada para monitorar o comportamento das fundações e prever o surgimento de rachaduras antes que elas se tornem visíveis, isso ajuda a evitar colapsos estruturais, oferecendo um monitoramento contínuo e eficaz.

6.2.4 Esclerometria

A esclerometria, ou ensaio de esclerômetro, é utilizada para medir a dureza e resistência superficial do concreto. O esclerômetro é um dispositivo que aplica um impacto controlado na superfície do material e mede o rebote desse impacto. A dureza medida é então correlacionada com a resistência do concreto. O ensaio esclerométrico é frequentemente utilizado para avaliar a resistência superficial de colunas e vigas em concreto armado, sem a necessidade de extração de amostras. o ensaio é simples e rápido, permitindo a avaliação em campo de grandes áreas em pouco tempo.

6.2.5 Monitoramento Estrutural

Além dos ensaios descritos acima, o monitoramento estrutural contínuo por meio de sensores é uma técnica avançada que permite acompanhar o comportamento das edificações ao longo do tempo. Sensores de deslocamento, aceleração e vibração são instalados nas estruturas para medir variações como deformações, vibrações e inclinações. Em um edifício histórico, por exemplo os sensores de monitoramento podem ser instalados para acompanhar a evolução de fissuras ou rachaduras, registrando dados em tempo real que ajudam na tomada de decisões sobre intervenções. O monitoramento contínuo é especialmente útil em construções que estão expostas a variações climáticas intensas ou em áreas de risco sísmico.

Os métodos destrutivos e não destrutivos da Engenharia Diagnóstica são ferramentas fundamentais para garantir a integridade e durabilidade das edificações, tanto antigas quanto modernas. Enquanto os métodos destrutivos fornecem informações detalhadas e precisas sobre os materiais, que, se tratando de edifícios históricos, são muito diferentes dos atuais e os métodos não destrutivos são indispensáveis para preservar a integridade estrutural durante o diagnóstico, especialmente em patrimônios históricos que demandam cuidado especial. A combinação dessas técnicas permite um diagnóstico completo, contribuindo para a manutenção e segurança das edificações.

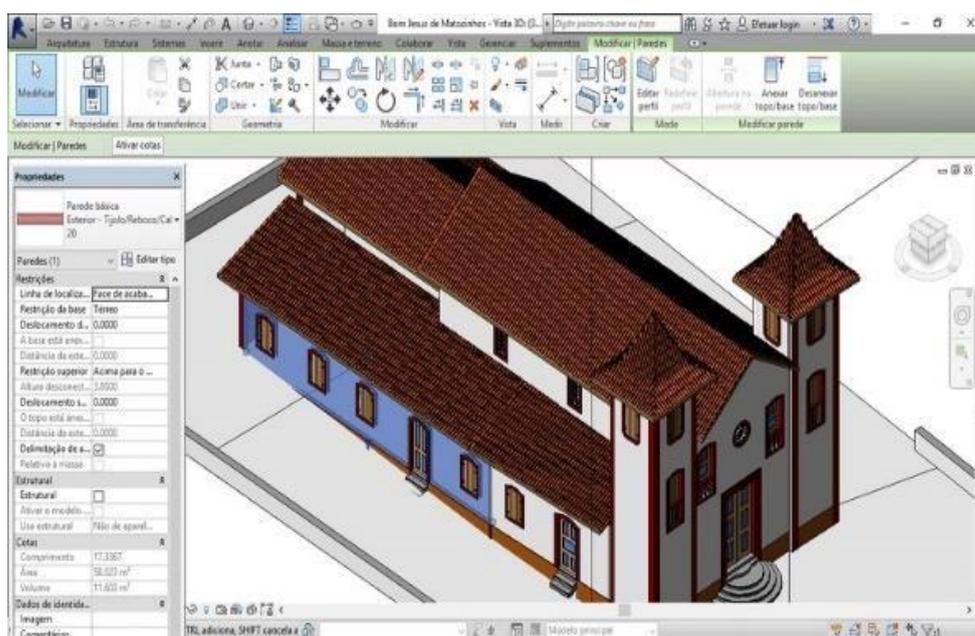
7. SOFTWARES E DISPOSITIVOS UTILIZADOS EM ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS UTILIZADOS NA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA.

7.1 Softwares

A utilização de softwares no diagnóstico de edificações tem se expandido rapidamente, com ferramentas como o **AutoCAD**, **Revit**, **SAP2000** e **BIM** desempenhando papéis fundamentais na análise e modelagem de estruturas. O **BIM**, em particular, permite a criação de modelos tridimensionais que integram todas as etapas da construção, facilitando a identificação de problemas e a simulação de soluções

- **AutoCAD e Revit:** amplamente usados para modelagem 2D e 3D de edificações. O Revit oferece funcionalidades para sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos, facilitando o planejamento e monitoramento de projetos complexos.

Figura 10: Prédio histórico modelado em Revit



Fonte: Tolentino, 2018.

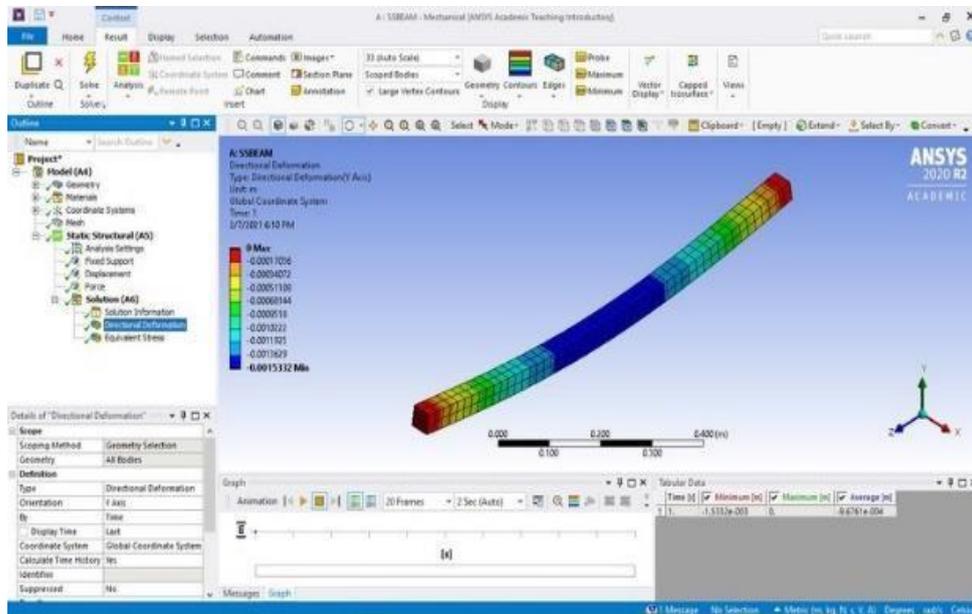
Figura 11: Cortes e Fachadas de prédio histórico desenhados em AutoCAD



Fonte: Bibliocad, 2016.

- **ANSYS:** usado para simulações de comportamento estrutural em diferentes condições.

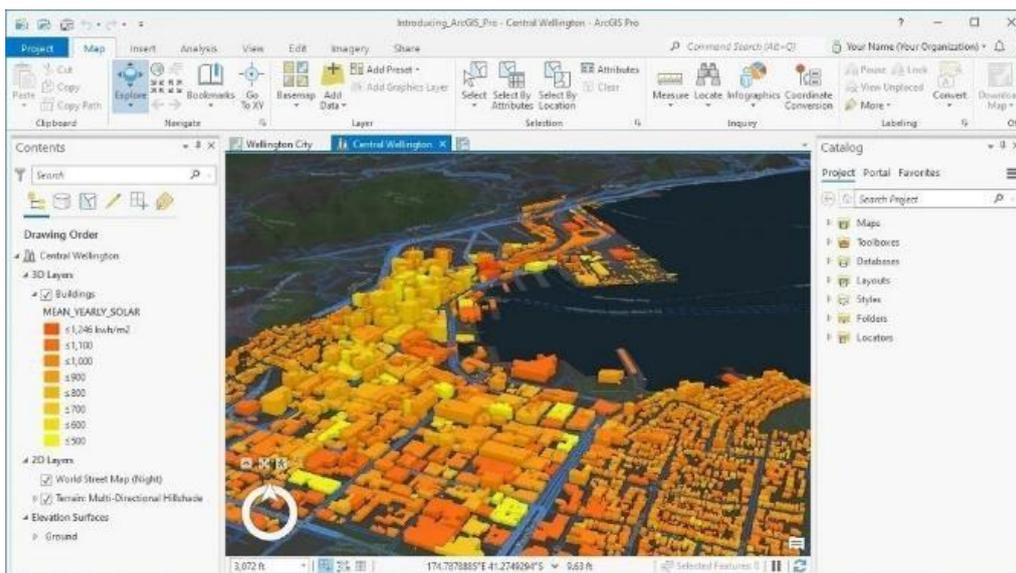
Figura 12: Simulação de esforços em uma viga no ANSYS



Fonte: Computational Skills (Youtube), 2018.

- **ArcGIS:** essencial para mapeamento e análise geoespacial, sendo amplamente utilizado em áreas extensas ou de difícil acesso.

Figura 13: Modelagem no ArcGIS



Fonte: ESRI, 2020.

O uso de drones, associados a softwares como **DroneDeploy** e **Pix4D**, facilita a inspeção de áreas de difícil acesso, capturando imagens detalhadas e gerando modelos 3D para análise. Em edificações históricas essas ferramentas são fundamentais para garantia da edificação, em sua maioria tridentenária, durante o processo de diagnóstico.

7.2 Equipamentos

Entre os equipamentos usados para a realização de diagnósticos estão as **câmeras termográficas**, que identificam falhas no isolamento térmico e infiltrações através da radiação térmica; os **esclerômetros**, utilizados para medir a dureza do concreto; e o **LiDAR**, que, por meio de feixes de luz, gera modelos tridimensionais detalhados das edificações. Essas tecnologias ajudam a identificar de forma precisa e não invasiva os problemas nas estruturas.

Na engenharia diagnóstica, diversos softwares e equipamentos são utilizados para realizar análises detalhadas das condições estruturais de edificações, garantindo diagnósticos precisos e soluções eficazes. Entre os principais softwares, destacam-se:

Além dos softwares, o uso de equipamentos físicos específicos é fundamental para diagnósticos eficazes, tais como:

- **Câmeras Termográficas:** utilizadas para detectar variações de temperatura em estruturas, identificando infiltrações, falhas de isolamento térmico e sobreaquecimento em sistemas elétricos.
- **Boroscópios:** sondas com câmeras para inspeção visual de áreas de difícil acesso, como tubulações e dutos.
- **Drones:** empregados em inspeções aéreas, permitindo a visualização de telhados e áreas inacessíveis sem a necessidade de andaimes ou plataformas.

Ensaio Não Destrutivo (END): como o ultrassom, utilizado para verificar a integridade de materiais como concreto armado e aço, sem causar danos físicos às estruturas.

- **Ensaio de Carbonatação:** usados para avaliar a extensão da carbonatação em estruturas de concreto, que ocorre quando o concreto é exposto ao dióxido de carbono, facilitando a corrosão das armaduras de aço. Esse ensaio é crucial para garantir a durabilidade de edificações antigas, especialmente em áreas urbanas

Esses recursos são fundamentais para preservar a integridade de edificações históricas e modernas, além de produzir laudos técnicos e auditorias que asseguram a segurança e a durabilidade das construções.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível observar que aplicar os conhecimentos da Engenharia Diagnóstica, em todas as fases da edificação proporciona a eficácia na qualidade predial devendo ser compromisso assumido, em conjunto, pelos responsáveis do projeto, da execução, do empreendimento, síndicos e do proprietário para que seja atendida as exigências da norma de desempenho, do usuário, da sociedade e ambientais e da manutenção.

A aplicação da Engenharia Diagnóstica em São Luís é essencial para a preservação de suas construções históricas. A alta umidade e a falta de manutenção periódica resultam em patologias como infiltrações, descolamento de revestimento em azulejos, e corrosão de armaduras.

Na engenharia diagnóstica, diversos softwares e equipamentos são empregados para realizar análises detalhadas das condições estruturais de edificações, proporcionando diagnósticos precisos e soluções eficazes. No contexto de edificações históricas, como as do centro histórico de São Luís do Maranhão, a aplicação dessas tecnologias é crucial para preservar a integridade estrutural sem causar danos. A seguir, abordo como algumas dessas ferramentas podem ser utilizadas:

8.1 Câmeras Termográficas

As câmeras termográficas são uma ferramenta não destrutiva amplamente usada para detectar variações de temperatura em edifícios, como infiltrações ou áreas com defeitos de isolamento térmico. Em São Luís, onde as construções históricas são vulneráveis à umidade devido ao clima tropical, a termografia é fundamental para identificar infiltrações sem a necessidade de perfurações. A câmera térmica capta as diferenças de temperatura nas superfícies, revelando áreas onde há perda de calor ou acúmulo de umidade.

Figura 14: Termografia de fachada de prédio histórico



Fonte: Raposo, 2017.

8.2. Boroscópios

Os boroscópios permitem inspecionar locais de difícil acesso, como tubulações ou cavidades internas em paredes grossas, comuns em edifícios históricos. Com esse equipamento, é possível visualizar e gravar imagens em tempo real de áreas internas sem causar danos físicos à estrutura. Isso é particularmente útil em edifícios antigos de São Luís, onde as intervenções precisam ser mínimas para preservar a integridade arquitetônica.

Figura 15: Boroscópio em utilização para verificar o interior de uma tubulação



Fonte: Triplett, 2021.

8.3 Drones

Os drones proporcionam uma maneira eficiente de inspecionar telhados e fachadas em construções históricas. Edifícios altos e de difícil acesso, como igrejas e casarões do centro histórico de São Luís, podem ser inspecionados com drones, que capturam imagens de alta resolução para monitorar a condição dessas áreas. Essa técnica é especialmente útil para detectar danos em telhados sem a necessidade de andaimes ou intervenções que possam danificar a estrutura;

Figura 16: Drone para filmagem aérea



Fonte: UOL,2015.

8.4 Ensaios Não Destrutivos (END) – Ultrassom

O ultrassom é uma técnica essencial para avaliar a integridade estrutural de vigas e colunas de concreto em construções antigas, permitindo a detecção de fissuras internas ou áreas de baixa densidade. Em São Luís, onde muitas edificações históricas têm fundações de concreto, o ultrassom pode ser usado para detectar falhas ocultas sem remover partes da edificação.

Figura 17: Ensaio de Ultrassom



Fonte: DSP Engenharia & Inspeções, 2020.

8.5 Ensaio de Carbonatação

O ensaio de carbonatação é crucial para avaliar a corrosão em estruturas de concreto. Em construções históricas, onde o concreto pode estar exposto a dióxido de carbono por longos períodos, a carbonatação reduz o pH, facilitando a corrosão das armaduras de aço. Esse ensaio é feito utilizando soluções químicas que indicam o nível de carbonatação, sendo essencial para garantir a longevidade das estruturas de concreto expostas ao ambiente.

Figura 18: Ensaio de carbonatação



Fonte: Mapa da Obra, 2018.

8.6 Esclerometria

A esclerometria é amplamente utilizada para medir a resistência superficial do concreto em construções históricas. Com um ensaio simples e rápido, esse método permite avaliar a dureza e a resistência de vigas e colunas sem a necessidade de perfuração ou extração de amostras. Isso é vital para garantir que as intervenções de reparo sejam feitas em áreas específicas, preservando o máximo da estrutura original.

Figura 19: Ensaio de esclerometria

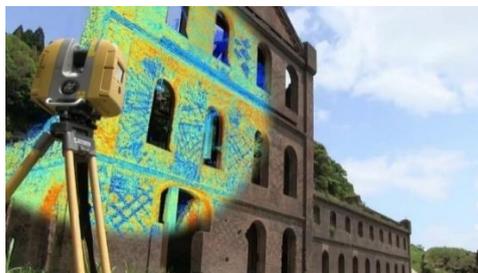


Fonte: Bungenstab, 2019.

8.7 Laser Scanner 3D

Para a preservação e documentação de edificações históricas, o Laser Scanner 3D é uma tecnologia essencial. Ele permite criar modelos tridimensionais detalhados de edifícios, auxiliando na análise de deformações e na restauração das estruturas. Em São Luís, essa técnica pode ser usada para monitorar o estado de edifícios ao longo do tempo e facilitar as intervenções necessárias

Figura 20: Demonstração de Mapeamento com Laser Scanner 3d



Fonte: Fusos Engenharia, 2017.

8.8 Monitoramento Estrutural Contínuo

Em edificações históricas, como as do centro histórico de São Luís, o monitoramento estrutural contínuo com sensores é uma ferramenta valiosa para acompanhar o comportamento das estruturas ao longo do tempo. Sensores de deslocamento, vibração e deformação podem ser instalados para monitorar o surgimento de rachaduras ou deformações, permitindo intervenções preventivas e garantindo a preservação contínua do patrimônio.

Esses métodos e equipamentos são fundamentais para a preservação das construções históricas de São Luís, permitindo diagnósticos precisos e intervenções minimamente invasivas, o que garante a integridade estrutural e o valor histórico dessas edificações.

9 CONCLUSÃO

Este trabalho destacou a relevância da Engenharia Diagnóstica para a preservação e manutenção de edificações históricas no Centro Histórico de São Luís do Maranhão. A pesquisa evidenciou que o uso de técnicas de diagnóstico, tanto destrutivas quanto não destrutivas, é essencial para identificar e solucionar patologias construtivas, garantindo a integridade dessas construções sem comprometer seus valores culturais e arquitetônicos.

A análise das ferramentas, como câmeras termográficas, ultrassom e software de modelagem, reforça a importância da tecnologia no diagnóstico preciso e na prevenção de danos maiores. Além disso, o estudo abordou os desafios locais, como a degradação acelerada pelo clima e a falta de manutenção adequada, ressaltando a necessidade de intervenções criteriosas.

Conclui-se que a aplicação consistente da Engenharia Diagnóstica contribui para a preservação do patrimônio arquitetônico e para a segurança das edificações, sendo fundamental para garantir a longevidade desses bens. É imperativo que haja investimento contínuo em tecnologias avançadas e capacitação profissional, assegurando a sustentabilidade do patrimônio histórico em São Luís e em outras regiões com características semelhantes.

REFERÊNCIAS

ALVES, Elson. F. **Engenharia Diagnóstica: ferramentas, conceitos e normas.** Inteligência Urbana, 2021. Disponível em:

<https://www.inteligenciaurbana.org/2021/02/engenharia-diagnostica-ferramentas.html>

.Acesso em 22 agosto 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.752: Perícias de Engenharia na Construção Civil. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14718: Guarda-corpos para edificações. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16280: Reforma em Edificações — Sistema de Gestão de Reformas — Requisitos. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16747: Inspeção Predial - Diretrizes. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 5492. Análise sensorial — Vocabulário. Rio de Janeiro, 2017;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.752. Perícias de engenharia na construção civil. Rio de Janeiro, 1996 ;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14.037. Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2014 ;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575-1. Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.280. Reforma em edificações — Sistema de gestão de reformas — Requisitos. Rio de Janeiro, 2020;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.747. Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020 ;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674. Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012;

BIBLIOCAD. Cortes e Fachadas de prédio histórico desenhados em AutoCAD. Disponível em: https://www.bibliocad.com/pt/biblioteca/centro-historico_37122/. Acesso em: 08/09/2024.

BUNGENSTAB, Felipe C. **Ensaio de esclerometria - O que é preciso saber?**. LinkedIn, 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/ensaio-de-esclerometria-o-que-%C3%A9-preciso-saber-felipe-c-bungenstab/>. Acesso em: 08/09/2024

CARVALHO, D. G. S. Patologia das Estruturas. Apostila do curso de Pós-Graduação em engenharia diagnóstica: patologia, desempenho e perícias na construção civil da Faculdade Unyleya. Brasília, 2020.

CBIC. Guia nacional para a elaboração de manual de uso, operação e manutenção das edificações. Fortaleza: Gadioli Cipolla Branding e Comunicação, 2014. Disponível em https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia_de_Elaboracao_de_Manuais_2014.pdf. Acesso em 10/07/2024.

COMPUTATIONAL SKILLS. **Simply Supported Beam With UDL Load ANSYS Analysis in URDU.** Youtube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=EcFQZNR8nyM>. Acesso em: 11/09/2024

[Conceitos da Engenharia Diagnóstica em Edificações - Esclarecimentos - Instituto de Engenharia](#) Acesso em: 07/09/2024.

CONFEA. Resolução nº 1137 de 31 de março de 2023. Dispõe sobre a Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, o Acervo Técnico-Profissional e o Acervo Operacional, e dá outras providências.

Disponível em:

<<https://normativos.confea.org.br/Ementas/Visualizar?id=76099>>. Acesso em 29/05/2024.

DEUTSCH, Simone Feilgelson. **Perícias de Engenharia: A apuração dos fatos.** São Paulo: Leud, 2019;

DSP Engenharia & Inspeções. **Guia Completo de Ensaios Destrutivos e Não Destrutivos em Concreto: O que Você Precisa Saber.** Disponível em: <https://dspinspecoes.com.br/ensaios-destrutivos-e-nao-destrutivos-concreto/>. Acesso em: 06/09/2024

ESRI. **Introducing ArcGIS Pro.** Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/get-started/introducing-arcgis-pro.htm>. Acesso em: 02/09/2024

FIALHO, R. F.; SEIBT, B. H.; CARRIJO, S. A. Um estudo sobre a despassivação da armadura com ênfase na causada por carbonatação do concreto. In: Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. 2019. Disponível em: <<https://www.unifimes.edu.br/ojs/index.php/coloquio/article/view/844/831>>. Acesso em 27/05/2024.

FREITAS, A. P. A. Engenharia Diagnóstica e Perícias de Engenharia – Documentação e Redação Técnica. Apostila do curso de Pós-Graduação em engenharia diagnóstica: patologia, desempenho e perícias na construção civil da Faculdade Unyleya. Brasília, 2020.

Fusos Engenharia. **Serviço de escaneamento 3d.** Disponível em: <https://www.fusosengenharia.com.br/servico-escaneamento-3d>. Acesso em: 07/09/2024

GOMIDE, T. L. F. Diretrizes técnicas de Engenharia Diagnóstica em edificações - DT 001/14 DTPC. Instituto de Engenharia, 2016. Disponível em: < <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp->

<content/uploads/2017/10/arqnot8482.pdf>>. Acesso em 19/05/2024.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira. **Engenharia Legal: Novos estudos.** São Paulo: Leud, 2008;

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; FAGUNDES NETO, Jerônimo Cabral P.; GULLO, Marco Antônio. **Normas Técnicas Para Engenharia Diagnostica em Edificações .** São Paulo: Pini, 2013;

GOMIDE; T. L. F.; FLORA, S. M. D.; BRAGA, A. G. M.; GULLO, M. A.; FAGUNDES NETO, J. C. P. (orgs.). Manual de Engenharia Diagnóstica: desempenho, manifestações patológicas e perícias na construção civil. 2. ed. São Paulo: Leud, 2021.

IBAPE. **Inspeção Predial: Checkup predial: Guia da boa manutenção.** São Paulo: Leud, 2012;

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS. **Norma de Inspeção Predial Nacional.** São Paulo, 2012;

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **Diretrizes Técnicas de Engenharia Diagnóstica em Edificações.** São Paulo: Leud, 2016;

Mapa da Obra. **Veja a recuperação de estruturas de concreto armado.** 2018.

Disponível em: https://www.mapadaobra.com.br/negocios/veja-a-recuperacao-de-estruturas-de-concreto-armado/?doing_wp_cron=1726171318.7701659202575683593750. Acesso em: 10/09/2024

MARQUES, José. **Perícias em Edificações: Teoria e Prática.** São Paulo: Leud, 2015;

PUJADAS, Flávia Zoéga Andreatta. **Inspeção Predial: Ferramenta de Avaliação da Manutenção.** Artigo - XIV Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias. Salvador, 2007

RAPOSO, N. M. R. **Diagnóstico de Patologias na Construção Apoiada na Análise Termográfica.** Dissertação de Mestrado, ISEL. Lisboa, 2017.

ROSA, A. D. A. Perícias na engenharia diagnóstica. In: Apostila do curso de Engenharia diagnóstica: patologia, desempenho e perícias na construção civil da Faculdade Unyleya. Brasília, 2020.

SANTOS, Y. D. L. Estudo de falhas na fiscalização da execução que interferem na qualidade das obras de edificações. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica – UFRJ. Orientador: Jorge dos Santos. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023209.pdf>>. Acesso em: 29/06/2024.

SHELMAN, C. A Importância dos Ensaios não Destrutivos para Diagnóstico de Corrosão nas Estruturas de Concreto Armado. CONPAR POLI/UPE, 2017, v. 1, n. 1, 2017. Disponível em: <<http://revistas.poli.br/index.php/CONPAR/article/view/613>>. Acesso em 27/06/2024 UNESCO. **Patrimônio Mundial - Centro Histórico de São Luís**. Disponível em: <https://whc.unesco.org/en/list/821>. Acesso em: 02/09/2024.

TOLENTINO, Monica M. A. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico**. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Murici Disponível em: (PDF) [A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 04/09/2024.

TRIPLETT. **High Definition Borescope Inspection Camera (360° rotating Dual Cameras), 8.5mm, 5M Cable- (BR400A)**. Disponível em: <https://www.triplett.com/products/br400a>. Acesso em: 02/09/2024

UOL. **Incorporadora usa drone para mostrar visão que morador terá de prédio**. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/empreendedorismo/noticias/redacao/2015/01/14/incorporadora-usa-drone-para-mostrar-visao-que-morador-tera-de-predio.htm>. Acesso em: 07/09/2024